



Universidad Nacional Autónoma de México
Programa de Posgrado en Ciencias de la
Administración

Tesis

Administración de Riesgos: Una aplicación del Valor en Riesgo en el
mercado cambiario, 2008-2011

Que para obtener el grado de:

Maestra en Finanzas

Presenta: Lic. Clara Arechiga Alvarado

Tutor: Dr. Arturo Morales Castro

México D.F. 25 de julio del 2012



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.

Gracias Dios por tu Amor y tu Guía.

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Estudios de Posgrado, Programa de Becas para Estudios de Posgrado, por su apoyo económico para poder realizar mis estudios de Posgrado en Finanzas Bursátiles y a quienes contribuyeron a que esta Tesis de Maestría fuera una realidad.

Dedico esta Tesis de Maestría, con todo mi amor a mi Hijo Sebastián.

Clara Aréchiga

Resumen

La metodología del Valor en Riesgo (VaR por su traducción de Value at Risk) no otorga certidumbre con respecto a las pérdidas que se podrían sufrir en una inversión, sino una expectativa de resultados basada en estadística (series de tiempo) y en algunos supuestos de los modelos o parámetros que se utilizan para su cálculo. En la práctica se ha observado que la mayoría de los activos financieros no siguen un comportamiento estrictamente normal, sino que son aproximados a la curva normal y por tanto, los resultados que se obtienen al medir el riesgo son una aproximación, por qué en las series financieras se observa el fenómeno de colas gruesas, que corresponde a una mayor densidad probabilística en las colas de la distribución. Este solo hecho es bastante relevante a efectos de evaluar el riesgo, pues justamente lo que deseamos cubrir es la posibilidad de grandes pérdidas, las cuales se ubican en las colas de distribución.

La teoría de valores extremos es aplicada desde hace varios años en hidrología como también por actuarios en la industria de seguros. Independientemente de que se esté tratando con movimientos de precios de mercado adversos, entonces uno de los mayores desafíos es el de implementar modelos que contemplen estos eventos y permitan la medición de sus consecuencias. Es en este terreno en el cual la teoría de valor extremo (TVE ó EVT del inglés *Extreme Value Theory*) proporciona las herramientas necesarias.

Por lo anterior en ésta investigación se realizará una aplicación del TVE al VaR en el período de crisis del 2008 al 2011, con las monedas: el Real de Brasil, el Dólar de Canadá, el Peso Chileno y el Peso Mexicano, al tipo de cambio del Dólar de estadounidense. Con el fin de poder observar más claramente lo que ocurre en las colas de la distribución en las series financieras.

Palabras clave: Valor en Riesgo (VaR por su traducción del inglés *Value at Risk*), Teoría de Valor Extremo (TVE ó EVT del inglés *Extreme Value Theory*), Riesgo Financiero.

Índice

Índice	3
Índice de cuadros.....	8
Índice de diagramas.....	8
Índice de gráficas.....	9
Introducción	10
Metodología de la Investigación	16
Planteamiento del Problema.....	18
Justificación.....	20
Objetivos de la Investigación.....	21
Hipótesis.....	22
Cuadro de congruencia.....	22
Marco teórico.....	22
Valor en Riesgo (VaR).....	23
Teoría del Valor Extremo (TVE).....	25
Capítulo1. La Administración del Riesgo	27
1.1. El Riesgo.....	28
1.2. Clasificación de Riesgos.....	32
1.3. La Administración de Riesgos.....	36
1.4. Administración de Riesgos Financieros en Instituciones no Financieras.....	38
1.5. Evolución de la Administración de Riesgos Financieros en las Instituciones Financieras.....	40
1.6. Regulación ó Supervisión del Riesgo.....	42
1.6.1. Comité de Basilea.....	48
1.6.2. Comité de Basilea I, II y III.....	48
1.6.3. Marco de riesgo de mercado Basilea II.....	50

1.6.4. Basilea III.....	51
1.7. Administración de Riesgos de Mercado.....	54
1.8. Mercados Internacionales.....	57
1.9. Los derivados y la administración de riesgos.....	59
1.10. Mercado Forex.....	64
1.11. Tipo de cambio y riesgos cambiarios.....	66
1.12. Crisis Mundiales.....	69
1.13. Riesgo Financiero.....	73
1.14. Medición del Riesgo Financiero.....	74
1.14.1. Distribución de Frecuencias.....	74
1.14.2. Distribución normal o de campana.....	75
1.14.3. El Sesgo y la Kurtosis.....	79
1.14.4. Intervalos de Confianza.....	80
1.14.5. Correlación.....	81
1.14.6. Volatilidad.....	82
1.15. Funciones comunes para medir riesgo.....	84
1.15.1. Beta.....	84
1.15.2. Varianza y Desviación Estándar.....	86
1.15.3. Coeficiente de variación.....	87
1.15.4. Desviación Absoluta.....	88
1.15.5. Cuantiles.....	88
1.15.6. Duración.....	89
1.15.7. Convexidad.....	89
Capítulo 2. Valor en Riesgo.....	90
2.1. Definición del valor en Riesgo (VaR).....	90
2.2. Ventajas y Desventajas del Valor en Riesgo.....	96
2.3. Aproximaciones para la medición del VaR.....	100
2.4. Valor en Riesgo no paramétrico.....	102

2.5. Valor en Riesgo paramétrico.....	103
2.6. Métodos del Valor en Riesgo y sus Características.....	104
2.6.1. Método de Simulación Monte Carlo.....	105
2.6.2. Método de Simulación Histórica Tradicional.....	107
2.6.3. Método de Simulación Histórica Híbrida.....	110
2.6.4. Método de Simulación Histórica ajustada por Volatilidad.....	111
2.6.5. Otros Métodos o Modelos.....	113
2.6.6. Importancia de la Interpretación del Valor en Riesgo.....	117
Capítulo 3. El Control Integral de Riesgos.....	122
3.1. Pruebas de Estrés.....	123
3.2. Back-Testing (contrate histórico).....	127
3.3. Test de proporción de fallas.....	129
3.4. Distribución t-Student.....	131
3.5. Teoría de Valor Extremo.....	132
3.5.1. Familia de Distribuciones de Valor Extremo.....	139
3.5.2. Medidas VaR y CVaR basadas en la Teoría de Valor Extremo.....	148
3.6. Sistema Integral de Indicadores de Riesgo.....	155
Capítulo 4. Estudios relacionados que analizan el impacto y la aplicación de la Teoría del Valor Extremo al Valor en Riesgo.....	157
Capítulo 5. Aplicación del Valor en Riesgos y la Teoría del Valor Extremo.....	170

5.1. Descripción de datos.....	170
5.2. Descripción de método utilizado para el cálculo del VaR.....	172
5.3. Descripción de método utilizado para el cálculo TVE.....	176
Capítulo 6. Conclusiones.....	185
Bibliografía.....	195
Anexo I.....	199

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Estudio del Valor en Riesgo vs. Teoría del valor Extremo.....	15
Cuadro 2. Congruencia de la Investigación.....	22
Cuadro 3. Características de los Principales Riesgos.....	35
Cuadro 4. Reforma Basilea III. Capital.....	52
Cuadro 5. Reforma Basilea III. Capital y Liquidez.....	53
Cuadro 6. Cumplimiento Basilea III.....	54
Cuadro 7. Nomenglaturas Mercados Internacionales.....	59
Cuadro 8. Modelos de Pronóstico de Volatilidad.....	83
Cuadro 9. Interpretación de Resultados de la Beta.....	86
Cuadro 10. Factores de Riesgo.....	91
Cuadro 11. Modelos Fundamentales del Valor en Riesgo I.....	114
Cuadro 12. Modelos Fundamentales del Valor en Riesgo II.....	115
Cuadro 13. Modelos más precisos del Valor en Riesgo.....	116
Cuadro 14. Resultados VaR. Modelo de Simulación Histórica.....	173
Cuadro 15. Verificación del Modelo.....	175
Cuadro 16. Estadísticas Rendimientos Diarios de la Monedas. 2008-2011.....	178
Cuadro 17. Regresión Rendimientos Monedas. 2008-2011.....	181
Cuadro 18. Resultados Estimadores Distribución de Valor Extremo Generalizada.....	182
Cuadro 19. Resultados VaR estimado Modelo Histórico vs. Modelo TVE.....	183
Cuadro 20. Valor en Riesgo estimado y observado.....	186
Cuadro 21. Correlación Conclusiones I.....	193
Cuadro 22. Correlación Conclusiones II.....	194

Índice de Diagramas

Diagrama 1. Proceso de la Metodología de la Investigación.....	18
Diagrama 2. La función de Cuantificación del Riesgo.....	57
Diagrama 3. Modelos de Valor en Riesgo.....	101
Diagrama 4. Teoría del Valor Extremo. Clasificación de Modelos.....	133

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Distribución Normal.....	76
Gráfica 2. Probabilidad de Ocurrencia.....	77
Gráfica 3. Dos distribuciones de Probabilidad Normal con diferente Dispersión..	78
Gráfica 4. Función de Densidad Normal.....	78
Gráfica 5. Intervalo de Confianza.....	80
Gráfica 6. Desviaciones Estándar.....	81
Gráfica 7. Relación cambio de Factores de Riesgo y cambio en el valor del Portafolio.....	93
Gráfica 8. Distribución de Frecuencias.....	94
Gráfica 9. Valor en Riesgo Estimado.....	96
Gráfica 10. Distribución de la Probabilidad.....	99
Gráfica 11. Distribución t-Student.....	131
Gráfica 12. Cuantil Normal y Cuantil t-Student.....	132
Gráfica 13. Tipos de Distribuciones del Valor Extremo.....	143
Gráfica 14. Sistema Integral de Riesgos.....	155
Gráfica 15. Valores del Tipo de cambio 2008-2011.....	170
Gráfica 16. Resultados VaR, Modelos de Simulación Histórica.....	174
Gráfica 17. Gráfica Pérdida y Ganacias VaR, Modelo Simulación Histórica.....	174
Gráfica 18. Rendimientos del Tipo de Cambio. 2008-2011.....	177
Gráfica 19. Gráficos QQ para Rendimientos del Tipo de Cambio. 2008-2011.....	179
Gráfica 20. Rendimientos del Tipo de Cambio. 2008-2011.....	180

Introducción

En la actualidad, el riesgo financiero es una de los temas que más preocupa a empresas, gobiernos e inversionistas a tal grado que su administración se ha convertido en un desafío, debido a las diferentes formas en las que se manifiesta el comportamiento de los mercados financieros. Por lo anterior el estimar las pérdidas o ganancias potenciales de los rendimientos de los activos financieros es una tarea prioritaria para la toma de decisiones.

En cuanto a la administración de riesgos, una de las herramientas estadísticas más populares que ha recibido gran atención por parte de las autoridades reguladoras y de las instituciones financieras es la metodología valor en riesgo (VaR, por sus siglas en inglés *Value at Risk*). Desde que el Acuerdo de Basilea I propuso el uso de la medida VaR, no sólo ha mostrado ser una herramienta robusta en la determinación de los requerimientos de capital en riesgo, sino también eficiente en la selección de las preferencias de inversión bajo condiciones normales. El valor en riesgo se define como la máxima pérdida estimada de una posición de mercado, de un activo financiero o de un portafolio de inversión, que puede enfrentar una institución financiera o inversionista durante un horizonte de tiempo específico dado un nivel de confianza. La especificación del periodo de tiempo y el nivel de confianza para la estimación del VaR es arbitraria. El intervalo de tiempo apropiado para cuantificar el VaR generalmente depende del grado de negociabilidad a través de la bolsa de los instrumentos financieros y de la frecuencia con que se negocia; significa la posibilidad de encontrar compradores y vendedores del mismo con relativa facilidad.

La transformación e innovación en la administración y medición del riesgo en el sector financiero alentó a las instituciones financieras a desarrollar varios métodos internos para la estimación del VaR, los cuales se clasifican en dos grupos: los métodos paramétricos y no paramétricos o modelos de simulación, que

son técnicas indispensables sugeridas por las autoridades reguladoras para controlar y cuantificar el riesgo de mercado en un contexto internacional. Sin embargo, los periodos de inestabilidades financieras a nivel mundial, han mostrado las limitaciones de las medidas convencionales VaR en el proceso de la predicción y cuantificación de los eventos de pérdidas grandes con probabilidad baja de ocurrencia. Cabe mencionar que no hay que perder de vista el pronóstico de los eventos de grandes ganancias con probabilidad baja de ocurrencia, no todos los días se reportan rendimientos o pérdidas considerables en los portafolios de inversión, más bien éstos se presentan ocasionalmente.

En el contexto de la teoría económica se ha demostrado que el comportamiento complejo de los precios en los mercados financieros es un claro reflejo del flujo continuo de la información, la cual es analizada e interpretada por una multitud de inversionistas, analistas y operadores.

La existencia de noticias o información que no influyen en los precios de los mercados financieros (variables exógenas), crean fuertes incrementos en la volatilidad y en la especulación de los mercados financieros.

En consecuencia, uno de los propósitos esenciales de la administración de riesgos es explorar, analizar y comprender los datos históricos, con el fin de obtener información adicional que permita a los inversionistas calcular con exactitud la magnitud y la probabilidad de pérdidas potenciales futuras que pueden ocurrir como resultado de los movimientos extremo de mercado.

Esta magnitud y probabilidad, en términos estadísticos, son representadas por los percentiles altos y las probabilidades de las colas de la distribución de pérdidas y ganancias. La identificación de movimientos extremos o movimientos límite en los precios de las series financieras suelen ser raros, pero de vital importancia para los participantes en los mercados financieros; además reflejan información fundamental para una administración del riesgo financiero más consistente, una medición del riesgo coherente y toma de decisiones acertiva.

En este contexto, se han buscado medidas de riesgo alternativas o complementarias más consistente que calculen mejor la severidad de las pérdidas potenciales que exceden el nivel del VaR. Estudios empíricos han confirmado y demostrado que los rendimientos de las series financieras se caracterizan por los hechos de exceso de curtosis o apuntamiento -cuan puntiaguda es una distribución respecto de un estándar- lo que se conoce como efecto de colas pesadas o gruesas; por lo que, varias distribuciones alternativas han sido propuestas en la literatura para resolver el problema de las colas pesadas en los instrumentos financieros. En respuesta a las inconsistencias y desventajas que presentan los modelos tradicionales VaR para capturar la magnitud y la probabilidad de los eventos extremos, la Teoría de Valor Extremo (TVE) proporciona un conjunto de herramientas sólidas para entender el comportamiento estadístico de los eventos extremos capturados en las colas de las distribuciones empíricas. Cabe señalar que la TVE ha sido aplicada desde hace varios años para la solución de problemas en los campos de hidrología, climatología y seguros. El uso de la TVE en la finanzas ha crecido significativamente en años recientes, a tal grado que un gran número de estudios desarrollados resalta su potencial para analizar el impacto de los eventos de la cola de los instrumentos financieros y los portafolios de inversión, derivados de las devaluaciones, los desplomes en los índices accionarios, los colapsos en los mercados financieros, los atentados terroristas e incluso los auges económicos. Ejemplos de éstos estudios se encontrarán en el capítulo número cuatro titulado revisión de la literatura y están citados en la bibliografía.

Para alcanzar el objetivo general propuesto en esta Tesis, el cual es:

- Estimar la aplicación de la TVE (teoría del valor extremo) al VaR (valor en riesgo) en el mercado cambiario, 2008-2011.

Y así, validar las hipótesis generales que son:

- El VaR histórico sobre valúa las pérdidas reales
- El VaR al aplicar TVE sobre valúa las pérdidas reales

La Tesis está estructurada de la siguiente forma: se inicia con la Introducción, enseguida se describe la Metodología de la Investigación y a continuación se describe el contenido de cada capítulo que la conforma.

Capítulo 1. La Administración de Riesgos. Este capítulo se organiza de la siguiente manera:

Primero, se define el riesgo y su clasificación; posteriormente se describe la función y el proceso de la administración de riesgos; así como los riesgos que se enfrenta las instituciones financieras y no financieras. También se presentan las principales medidas regulatorias del riesgo instrumentadas por las autoridades mexicanas y las realizadas por el Comité de Basilea.

Segundo, se abordan cuatro temas desde el punto de vista de la administración de riesgos: riesgo de mercado, mercados internacionales, mercado de derivados, mercado FOREX (tipo de cambio y riesgos cambiarios); además de describir brevemente las crisis importantes que han afectado a la economía internacional desde 1929.

Por último se definen los principales elementos para medir el riesgo financiero desde el punto de vista matemático y estadístico, para entender los modelos que miden el riesgo; los cuales serán presentados en el capítulo 2.

Capítulo 2: Valor en Riesgo.

En este capítulo se define la medida Valor en Riesgo ó VaR (por sus siglas en inglés *Value at Risk*), se describen los principales elementos de la metodología del VaR y se destacan las razones de por qué el desarrollo, la aceptación y difusión del VaR como el modelo para estimar el riesgo financiero.

También se describen diferentes métodos o modelos estadísticos del VaR, así como sus características más importantes. Cabe mencionar que para abordar

los métodos del VaR se clasifican en dos grandes grupos: paramétricos y no paramétricos, ésta clasificación está en función de los supuestos realizados y alcance deseado. Entre los métodos presentados en ésta investigación están: Simulación Monte Carlo, Simulación Histórica Tradicional, Híbrida y ajustada por Volatilidad.

Por último se presentan las limitaciones de las medidas del VaR, así como la importancia de la interpretación del Valor en Riesgo.

Capítulo 3: El Control Integral de Riesgos.

El propósito de éste capítulo es presentar metodologías que permitan analizar y controlar de manera integral los riesgos financieros tanto en condiciones de normalidad, como en presencia de eventos extremos, éstas metodologías pueden ser un complemento útil para el VaR.

Entre las metodologías presentadas están: Pruebas de Estrés, *Back-Testing* o Contraste Histórico, Test de proporción de fallas, Distribución t-Student y la Teoría del Valor Extremo.

En la parte final del capítulo se presenta la Teoría del Valor Extremo (TVE), en el siguiente orden: su definición, la clasificación de los modelos utilizados, los procedimientos estadísticos para la identificación de eventos extremos (técnica de picos sobre un umbral y procedimiento de bloque máximo), la familia de distribuciones de valor extremo (Weibull, Fréchet, Gumbel) y las medidas del Valor en Riesgo basadas en la TVE. Se concluye con los elementos de un sistema integral de riesgo.

Capítulo 4. Estudios relacionados que analizan el impacto y la aplicación de la Teoría del Valor Extremo al Valor en Riesgo.

En esta apartado se da cuenta del estado del arte del tema de investigación, en este se revisaron un total de 16 Investigaciones todas estas aplicadas al mercado financiero internacional del año 2001 al 2011. La intención es dar a

conocer metodologías empleadas en diferentes mercados, con diferentes instrumentos financieros y plazos analizados. Estos estudios lo encontré en la biblioteca digital de la Universidad Nacional Autónoma de México, en la sección de revistas especializadas y a manera de síntesis los trabajos encontrados se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Estudio del Valor en Riesgo vs. Teoría del Valor Extremo

Cuadro de Estudio Valor en Riesgo vs. Teoría del Valor Extremo				
	Año	Autor	Título del Estudio	Revista Especializada
1	2001	Veronica Balzarotti	Teoría de valores extremos aplicada a la medición de riesgos de mercado en Argentina	Gerencia de Investigación y Planificación Normativa en Argentina
2	2003	Anthony J. Seymour	A Coupling of Extreme-Value Theory and Volatility Updating with Value-at-Risk Estimation in Emerging	Multinational Financial Journal, University of Cape Town and Cadiz Holdings, South Africa
3	2004	Yu Chuan Huang	Value-at-Risk Analysis for Taiwan Stock Index Futures: Fat Tails and Conditional Asymmetries and Return Innovations	Review of Quantitative Finance and Accounting, 22: 79-95, 2004 Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands
4	2005	Christian A. Johnson	Métodos alternativos de evaluación del riesgo para portafolios de inversión	Revista Latinoamericana de Administración, escuela de Negocios Universidad Adolfo Ibanéz, Santiago de Chile
5	2005	Federico Alcalde Bessia	La Teoría de los Eventos Extremos, aplicación para evaluación de riesgos	Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos Aplicados a la Economía y Gestión, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires
6	2007	Mauricio Zevallos	Estimación de riesgo en carteras de inversión	UNICAMP Departamento de Estatística, Universidade Estadual de Campinas, Brasil
7	2008	Aragónés Ramón	Crisis Financieras y Gestión del Riesgo de Mercado	Business Review-Actualidad Económica, Universidad Complutense de Madrid
8	2008	Reza Noubary	It is Time to Include Extremes in Statistics Curriculum	Northeast Decision Sciences Institute Proceedings
9	2009	Pilar Abad	Accurate of VaR Calculated Using Empirical Models of the Term Structure	International Journal of Theoretical and Applied Finance, World Scientific Publishing Company, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) de Madrid
10	2010	Christian L. Dunis	Modelling commodity value at risk with order neural networks	Center for International Banking, Economics and Finance (CIBEF), Liverpool Business School, UK
11	2010	Houduo Qi	Correlation stress testing for value-at-risk: an unconstrained convex optimization approach	Springer Science Business, National University of Singapore
12	2010	Peter Julian A. Cayton	Estimating Value.At-Risk (VaR) Using Tivex-Pot Models	Journal of Advanced Studies in Finance, Universidad de Filipinas
13	2010	A. Ravi Ravindran	Risk Adjusted multicriteria supplier selection models with applications	International Journal of production Research, Pennsylvania State University, USA
14	2010	Xupeng Wang	Risk Measure estimation in Finance	Revista Risk Measure Estimation in Finance, University of Alberta, Canada
15	2011	Chaitip Arreyah	The Value at Risk of South East Asian Countries	Business Review, Chiang Mai University, China
16	2011	Cesar C Rufino	Empirical Comparison of Extreme Value Theory	DLSU Business & Economics Reviews, De la Salle University, Philippines

Fuente: Biblioteca Digital UNAM, sección revistas especializadas

Capítulo 5. Aplicación del Valor en Riesgos y la Teoría del Valor Extremo. En este capítulo se presenta el siguiente orden:

- a) Descripción de los datos de las series financieras de las monedas Real de Brasil, Dólar de Canadá, Peso de Chile y Peso de México al tipo de cambio del Dólar estadounidense del 2008 al 2011;
- b) Descripción del modelo de simulación histórica utilizado para el cálculo del Valor en Riesgo
- c) Descripción del método utilizado para el cálculo de la Teoría del Valor en Riesgo

Se concluye éste capítulo con la comparación de los resultados obtenidos del VaR, TVE y los datos observados.

Capítulo 6. Conclusiones

En éste capítulo se presentan las contribuciones de la tesis: explicando los datos obtenidos, describiendo los hallazgos encontrados y se concluye comparando los resultados obtenidos con los diferentes estudios presentados en el capítulo cuatro.

En seguida se presenta la Bibliografía, dando crédito a cada uno de los Autores de los estudios, investigaciones y libros que contribuyeron a la realización de la tesis.

Finalmente se presentan el anexo con los datos de las series financieras utilizadas en el capítulo 5.

Metodología de la investigación

Ésta investigación es no experimental por que toma escenarios y datos existentes a través del tiempo, para describir la comparación entre dos metodologías de valuación del riesgo que apoyará a la toma de decisiones.

Ésta investigación correlaciona el estimar la aplicación de TVE al VaR, en donde se realizará una comparación de las dos metodologías para estimar el riesgo, evaluando las consecuencias en la toma de decisiones entre la aplicación del VaR y después agregando la aplicación de TVE.

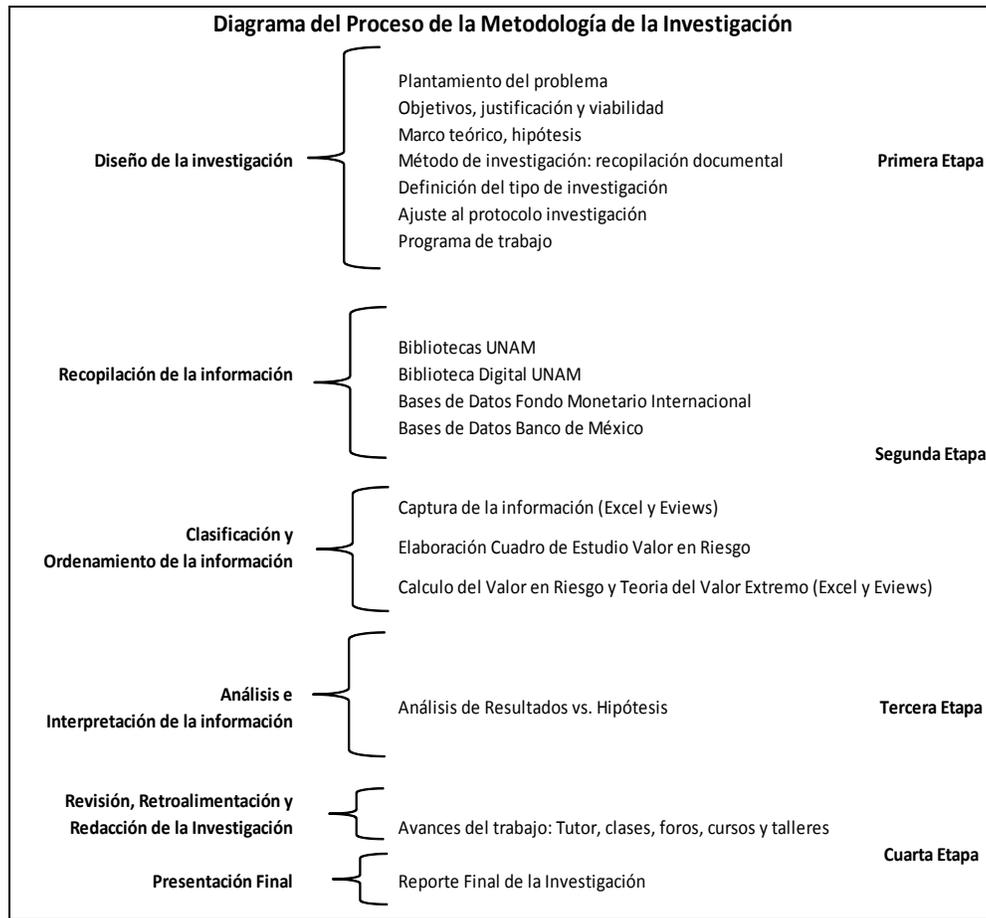
Se utiliza el método deductivo por que partimos de datos generales aceptados como válidos, llegando a identificar una explicación particular, es decir, a partir de la aplicación convencional del VaR, se podrá realizar una comparación al aplicar la Teoría del Valor Extremo al Valor en Riesgo (VaR), con los siguientes apartados:

- a. Planteamiento del Problema
- b. Justificación
- c. Objetivos de la Investigación
- d. Hipótesis
- e. Cuadro de congruencia
- f. Marco teórico

El siguiente diagrama presenta el proceso de la investigación, el cual es:

1. Diseño de la investigación
2. Recopilación de la información
3. Clasificación y ordenamiento de la información
4. Análisis e interpretación de la información
5. Redacción
6. Revisión y Retroalimentación
7. Presentación Final

Diagrama 1. Proceso de la Metodología de la Investigación



Fuente: Elaboración propia con datos de: Dra. Hortensia Lacayo, 2007

Planteamiento del Problema

La posibilidad de contar con más instrumentos y acceso a mercados financieros internacionales, ha incrementado el apetito por riesgo de los inversionistas en general. El común denominador en estos desastres fue la falta de políticas y sistemas de administración de riesgos que permitieran medir y monitorear efectivamente las pérdidas potenciales de las posiciones en que estaban involucradas corporaciones (Alfonso De Lara, 2011, p. 21). Cabe mencionar que el comportamiento de precios y rendimientos de los instrumentos financieros, hace necesario utilizar otras técnicas de valuación que sean complemento a las ya existentes.

Un paradigma es un modelo que se convierte en norma. El valor en riesgo, conocido como VaR, es el paradigma en la medición de los riesgos de mercado. Es un concepto que se propuso en la segunda mitad de la década de los noventa y hoy lo aplican una cantidad importante de instituciones en México y en el ámbito internacional. (Alfonso de Lara Haro, 2011, p. 57)

J.P. Morgan en 1996 difundió los modelos de Valor en Riesgo (VaR por su traducción de Value at Risk), con el propósito de estimar el riesgo de los portafolios de inversión con bases probabilísticas, aunque cabe mencionar que otras instituciones desarrollaron modelos de manera independiente bajo denominaciones similares al valor en riesgo. El objetivo común es estimar el riesgo de capital, de los portafolios y de los instrumentos financieros.

En la última década se han desarrollado bastantes propuestas tanto teóricas como aplicadas en la industria financiera, algunas de ellas en los acuerdos de Basilea I, Basilea II y Basilea III, donde se cimentaron las bases para la administración integral de riesgos. A partir de dichos acuerdos las instituciones bancarias, en todo el mundo, empezaron a desarrollar modelos estadísticos o matemáticos para el control del riesgo en los mercados financieros.

El Comité de Basilea adoptó la metodología del Valor en Riesgo para determinar los requerimientos de capital de las instituciones financieras por concepto del riesgo de mercado, regulación que entró en vigor en diciembre de 1997.

El Valor en Riesgo no otorga certidumbre con respecto a las pérdidas que se podrían sufrir en una inversión, sino una expectativa de resultados basada en estadística (series de tiempo) y en algunos supuestos de los modelos o parámetros que se utilizan para su cálculo. Por lo que las instituciones deben en adición al cálculo del VaR, complementar su medición de riesgos con otras metodologías, porque en la práctica se ha observado que la mayoría de los activos no siguen un comportamiento estrictamente normal, sino que son aproximados a

la curva normal y por tanto, los resultados que se obtienen al medir el riesgo son una aproximación.

La distribución normal no aproxima en forma correcta las series de activos financieros. Sin embargo esta ha sido la única distribución teórica parecida a la distribución real que ha permitido hallar expresiones paramétricas simples. Justamente a ese hecho se debe en parte la gran popularidad de las medidas de Valor en Riesgo. Básicamente en series financieras se observa el fenómeno de colas gruesas, que corresponde a una mayor densidad probabilística en las colas de la distribución. Este solo hecho es bastante relevante a efectos de evaluar el riesgo, pues justamente lo que deseamos cubrir es la posibilidad de grandes pérdidas, las cuales se ubican en las colas. Sin embargo, parece ser conveniente no compensar una deficiencia con una omisión, dada la aparición en los últimos años de distribuciones que aproximan las colas mucho mejor, y que adicionalmente permiten expresiones paramétricas del VaR y de CVaR ("*Conditional Value at Risk*" por sus siglas en inglés y definido como la pérdida esperada, dado que se excedió el VaR). (Raúl de Jesús Gutierrez, 2008)

La teoría de valores extremos es aplicada desde hace varios años en hidrología como también por actuarios en la industria de seguros. Independientemente de que se esté tratando con movimientos de precios de mercado adversos, riesgo operativo, riesgo crediticio o riesgo de aseguramiento, uno de los mayores desafíos es el de implementar modelos que contemplen estos eventos y permitan la medición de sus consecuencias. Es en este terreno en el cual la teoría de valores extremos (EVT del inglés "Extreme Value Theory") proporciona las herramientas necesarias.

Uno de los principales intereses en la modelación actual de la administración de riesgos es el de buscar robustecer los modelos ya existentes.

Justificación de la Investigación

Desde principios de siglo se sabe que la distribución normal no aproxima en forma correcta las series de activos financieros. Sin embargo esta ha sido la única

distribución teórica parecida a la distribución real que ha permitido hallar expresiones paramétricas simples. Justamente a ese hecho se debe en parte la gran popularidad de las medidas de VaR (valor en riesgo). Básicamente en series financieras se observa el fenómeno de colas gruesas, que corresponde a una mayor densidad probabilística en las colas de la distribución. Este solo hecho es bastante relevante a efectos de evaluar el riesgo, pues justamente lo que deseamos cubrir es la posibilidad de grandes pérdidas, las cuales se ubican en las colas de la distribución.

La Teoría del Valor Extremo (TVE) se concentra en la estimación de las probabilidades de los eventos que se ubican en las colas de la distribución, por lo que provee una cobertura mucho más adecuada que la forma de cálculo tradicional, siendo uno de tantos posibles complementos a la predicción que realiza el VaR.

Por lo anterior en ésta investigación se realizará una aplicación del TVE al VaR en el período de crisis del 2008 al 2011 -con el fin de observar más claramente lo que ocurre en las colas de la distribución- y con las monedas: el Real de Brasil, el Dólar de Canadá, el Peso Chileno y el Peso Mexicano, al tipo de cambio del Dólar de estadounidense. Cabe mencionar que se han realizado estudios sobre el tema y para otros grupos de monedas los cuales se encuentran citados en la bibliografía; un ejemplo es el estudio realizado al grupo de monedas de Asia, del autor Cesar Rufino, en el 2011, publicado en la revista DLSU Business & Economics Review.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

- Estimar la aplicación de la TVE (teoría del valor extremo) al VaR (valor en riesgo) en el mercado cambiario, 2008-2011

Objetivos Específicos

- El VaR es una herramienta eficiente en la medición del riesgo en el mercado cambiario
- Comprobar las dos metodologías para estimar el riesgo en el mercado cambiario

Hipótesis de la Investigación

Hipótesis Generales

- El VaR histórico sobre valúa las pérdidas reales
- El VaR al aplicar TVE sobre valúa las pérdidas reales

Hipótesis Secundarias

- La predicción que el VaR puede hacer sobre el riesgo en el mercado cambiario es suficiente para la toma de decisiones
- Esta limitado el VaR para estimar el riesgo en el mercado cambiario

Cuadro de Congruencia de la Investigación

Cuadro 2. Congruencia de la Investigación

Cuadro de Congruencia de la Investigación		
Pregunta principal	Objetivo general	Hipótesis principales
¿Cuál es el impacto en la estimación de aplicar la TVE en el cálculo del VaR en el mercado cambiario?	Estimar la aplicación de TVE (teoría del valor extremo) al VaR (valor en riesgo) en el mercado cambiario 2008 - 2011	El VaR histórico sobre o sub-valúa las pérdidas reales
		El VaR al aplicar TVE sobre o sub-valúa las pérdidas reales
Pregunta secundaria	Objetivos específicos	Hipótesis secundaria
¿ Es acertada la predicción que el VaR hace sobre el riesgo en el mercado cambiario ?	El VaR es una herramienta eficiente en la medición del riesgo en el mercado cambiario	La predicción que el VaR puede hacer sobre el riesgo en el mercado cambiario es suficiente para la toma de decisiones
¿Cuál es el impacto en la estimación de aplicar la TVE en el cálculo del VaR ?	Comparar las dos metodologías para estimar el riesgo en el mercado cambiario	Esta limitado el VaR para estimar el riesgo en el mercado cambiario
Fuente: elaboración propia con datos de: Dra. Hortensia Lacayo, 2007		

Marco Teórico

La Tesis está sustentada en una amplia búsqueda y selección de material bibliográfico, que va desde tesis que tocan el tema, libros, páginas web, apuntes de clases de materias relacionadas con el tema, bases de datos de información, así como opiniones de Maestros(as) de la Maestría en Finanzas. La fuente de información fue de forma digital y escrita en las distintas bibliotecas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

A continuación se presenta un resumen del marco teórico, de manera introductoria, en forma de preguntas y respuestas básicas. Cabe mencionar que el marco teórico se desarrollará profundamente en los capítulos 2, 3 y 4 de ésta Tesis.

Valor en Riesgo (VaR)

¿Qué es?

- El VaR resume la pérdida máxima esperada (o peor pérdida) a lo largo de un horizonte de tiempo objetivo dentro de un intervalo de confianza dado. (Philippe Jorion, 2010)
- El valor en riesgo es una medida estadística de riesgo de mercado que estima la pérdida máxima que podría registrar un portafolio en un intervalo de tiempo y con cierto nivel de probabilidad o confianza. (Alfonso de Lara Haro, 2011)

¿Quién la postulo y en qué año?

- El libro de matemáticas más importante que escribió Cardano se denominó Ars Magna (El gran arte). Fue publicado en 1545 y se concentró en álgebra. En él, Cardano propone la solución a polinomios de segundo y tercer grado. Sin embargo, el libro que desarrolla los principios de la teoría de la probabilidad se denominó Liber de Ludo Aleae (libro de juegos de azar),

publicado en 1663, después de que Cardano murió. En esta obra propuso el término “probable” que se refiere a eventos cuyo resultado es incierto. Por ello, Cardano se puede considerar como la primera persona que se refirió al riesgo mediante la probabilidad como medida de frecuencia relativa de eventos aleatorios.

- En 1730, Abraham de Moivre propuso la estructura de la distribución de probabilidad normal (conocida como distribución de campana) y el concepto de desviación estándar.
- En 1994, el banco estadounidense JP Morgan propuso, en su documento técnico denominado Riskmetrics, el concepto de “valor en riesgo” como modelo para medir cuantitativamente los riesgos de mercado en instrumentos financieros o portafolios con varios tipos de instrumentos. El valor en riesgo VaR) es un modelo estadístico basado en la teoría de la probabilidad.

¿En qué se fundamenta?

- En la distribución normal – los parámetros más importantes que la definen son la media y la desviación estándar y los indicadores que la definen son el sesgo y la kurtosis- , en el valor de confianza que desean tener y en el horizonte de tiempo con que se va a medir.
- La volatilidad es la variable más importante para determinar el valor en riesgo (VaR) y es la desviación estándar o raíz cuadrada de la varianza. Representa una medida de dispersión de los rendimientos con respecto al promedio o la media de los mismos en un periodo determinado.
- La mayor parte de los rendimientos se sitúan alrededor de un punto (generalmente el promedio de los rendimientos) y poco a poco se van dispersando hacia las colas de la curva de distribución normal. Ésa es la medida de la volatilidad.

¿Qué propone?

- Éste método propone cuantificar la exposición al riesgo de mercado por medio de técnicas estadísticas tradicionales.
- Es importante destacar que es válida en condiciones normales de mercado, ya que en momentos de crisis y turbulencia la pérdida esperada se define por pruebas de stress o valores extremos.

Expresión Matemática Básica

El Valor en Riesgo de un activo individual

Bajo el supuesto de normalidad y de media de rendimientos igual a cero, el modelo paramétrico que determina el valor en riesgo de una posición es el siguiente:

$$VaR = F \times S \times \sigma \times \sqrt{t}$$

Donde:

F = factor que determina el nivel de confianza del cálculo. Para un nivel de confianza de 95%, F=1.65 y para un nivel de confianza de 99%, F=2.33

S = el monto total de la inversión o la exposición total en riesgo

σ = desviación estándar de los rendimientos del activo

t = horizonte de tiempo en que se desea calcular el VaR

(un año consta de 252 días de operación en el mercado aproximadamente)

Teoría del Valor Extremo (TVE)

¿Qué es?

- Es una técnica que se concentra en la estimación de las probabilidades de los eventos que se ubican en las colas de la distribución.
- Consiste en crear escenarios que respondan a la pregunta “qué pasaría si...”, que obliga a los administradores de riesgos a predecir pérdidas en condiciones de desastres financieros o de crisis provocadas por problemas

políticos o desequilibrios en la economía de algún país con el que se tenga relación comercial o financiera. Cabe señalar que esta prueba es un complemento del valor en riesgo.

- Los valores extremos se pueden definir como las observaciones máximas y las observaciones mínimas que pueden ocurrir durante un periodo de tiempo fijo.

¿Quién la postulo y en qué año?

- El desarrollo sistemático de la teoría de valor extremo se le atribuye a Von Borkiewicz (1922), quien analizó la distribución sobre la media y varianza de una muestra de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas normalmente. La contribución de su investigación fue esencial para el desarrollo de la teoría general, puesto que por primera vez fue introducido claramente el concepto de distribución para valores grande.
- Un trabajo de mayor relevancia que trata de las propiedades de las distribuciones asintóticas de valores extremos incluyen a Fréchet (1927). En esta investigación, el autor identificó una posible distribución asintótica para estadísticas de orden extrema (la estadística de orden cuenta con las herramientas matemáticas necesarias para estudiar las propiedades estadísticas de los valores extremos máximos y mínimos de muestras tanto grandes como pequeñas).
- La contribución de Borkiewicz (1922) del problema para estimar las probabilidades de valores extremos, Fisher y Tippett (1928) hace una importante aportación a la teoría, demostrando que las distribuciones de valor extremo pueden clasificarse en técnicas de picos sobre un umbral y procedimiento de bloque máximo.
- Ganedenko (1943) establece las bases sólidas para el desarrollo de la teoría de valor extremo, proporcionando condiciones suficientes y necesarias para la convergencia débil de las estadísticas de orden extremas para cada una de las tres clases de distribuciones de valor extremo establecidas por Fisher y Tippett (1928).

- Gumbel (1941, 1958) puede ser considerado como el principal autor que ha hecho diversas aportaciones significativas a la teoría y el primero que ha llamado la atención de los ingenieros y los estadísticos mediante la aplicación formal de la teoría del valor extremo a ciertas distribuciones que previamente habían sido tratadas empíricamente.

¿En qué se fundamenta?

- Es a fin con el teorema del límite central. Toma en cuenta el comportamiento asintótico de las variables aleatorias para obtener resultados independientes de la distribución inicial.
- Análisis de la masa probabilística que se encuentra en las colas de la distribución de probabilidad.

¿Qué propone?

- La modelación y cuantificación del comportamiento estocástico de un proceso de valores extremos para muestras de tamaño específico que se distribuyen independientemente e idénticamente.
- Se interesa principalmente en el análisis de la masa probabilística que se encuentra en las colas de la distribución de probabilidad.
- Estimar las pérdidas máximas en el caso del evento extremo.

Expresión Matemática Básica

$$\Pr(P > VaR) = 1 - f(VaR_\alpha) = \alpha$$

Donde:

P= Pérdidas (mercado, crédito u operativas)

α = Nivel de confianza con base en la cual se estimó VaR (mercado, crédito u operativo)

f= Distribución de frecuencia desconocida que corresponde a la secuencia de P

Capítulo 1. La Administración del Riesgo

Resumen Capitular:

Este capítulo se organiza de la siguiente manera:

Primero se define el riesgo y su clasificación; posteriormente se describe la función y el proceso de la administración de riesgos; así como los riesgos que se enfrenta las instituciones financieras y no financieras. También se presentan las principales medidas regulatorias del riesgo instrumentadas por las autoridades mexicanas y las realizadas por el Comité de Basilea.

Segundo, se abordan cuatro temas desde el punto de vista de la administración de riesgos: riesgo de mercado, mercados internacionales, mercado de derivados, mercado FOREX (tipo de cambio y riesgos cambiarios); además de describir brevemente las crisis importantes que han afectado a la economía internacional desde 1929.

Por último se definen los principales elementos para medir el riesgo financiero desde el punto de vista matemático y estadístico, para entender los modelos que miden el riesgo; los cuales serán presentados en el siguiente capítulo de ésta investigación.

1.1. El Riesgo

La connotación moderna del riesgo se refiere a las posibles pérdidas por resultados desfavorables que puede generar una decisión o la evolución adversa del entorno. De esta manera, se define al riesgo en función de dos características principales: la probabilidad de ocurrencia y la intensidad de los resultados negativos, es decir, la incertidumbre y la exposición.

Sin embargo una definición general de riesgo debe enfocarse en la incertidumbre de las consecuencias de una decisión y no en el carácter positivo o negativo del posible resultado. Con base en este enfoque es posible afirmar que existe el riesgo cuando se puede obtener un resultado no intencionado o inesperado, consecuencia de una decisión o actividad.

El riesgo es una característica inherente de la existencia humana. Los individuos, las organizaciones y las sociedades continuamente enfrentan situaciones que involucran algún tipo de riesgo, por eso es indispensable entender claramente el concepto y no caer en consideraciones erróneas.

La primera consideración es que el riesgo puede presentar una amenaza o una oportunidad. Las situaciones de incertidumbre que experimentan los individuos y organizaciones han generado instrumentos específicos para mitigarlas como son los seguros y los servicios de información. Así, lo que desde un enfoque representa una amenaza desde otro es una oportunidad.

La segunda consideración es que el riesgo se debe medir por la probabilidad de que ocurran los eventos y no únicamente por la magnitud de sus consecuencias, con esto se intenta establecer una relación costo-beneficio por la presencia del riesgo, debido a que la eliminación total de éste puede ser tan costosa que no sea deseable.

La tercera y última consideración indica que mantener una postura conservadora sobre el riesgo no garantiza la decisión más segura, esto significa que tomar una decisión orientada a evitar aceptar un hecho falso puede ser tan inseguro como rechazar un hecho cierto ya que en ambos casos los resultados son adversos y es complicado obtener una cuantificación exacta de los resultados de ambas decisiones. En términos estadísticos esto es la posibilidad de cometer errores de Tipo I (se rechaza la hipótesis nula siendo cierta) y del Tipo II (se acepta la hipótesis nula siendo falsa).

En estricto apego a la teoría, el riesgo es definido como la desviación que resulta entre un valor observado y un valor esperado. La desviación resultante

puede implicar valores mayores o menores con relación al valor esperado. Si el valor esperado es un beneficio económico, cualquier desviación por arriba de él será una ganancia y cualquier valor por abajo será una pérdida, en relación a la expectativa que se tenía.

Es relevante mencionar, que en ocasiones, los inversionistas han observado fuertes ganancias en alguna inversión, lo cual los incentiva a continuar invirtiendo ya que sus expectativas de rendimiento han sido superadas, pero pierden de vista que si existen desviaciones de gran magnitud por arriba del valor esperado, seguramente también existe una probabilidad asociada a obtener valores muy por abajo. Es decir, en ocasiones las grandes ganancias han hecho que se pierda de vista el riesgo de incurrir en una gran pérdida.

Según la teoría de la probabilidad, la desviación con relación al valor esperado de una variable, se denomina volatilidad o desviación estándar y es por lo tanto la manera de como se mide el riesgo.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

σ = *desviación estandar o riesgo de una muestra*

\bar{x} = *valor esperado*

x_i = *valor observado*

n = *número de observaciones*

El riesgo en términos generales puede ser medido y cubierto, y aunque no se logre cubrir en su totalidad, puede ser asignado a quien lo sepa administrar más eficientemente y de ésta manera mitigarlo.

La posición de riesgo de un portafolio se puede minimizar al diversificarlo, lo cual quiere decir estructurarlo con activos cuyo riesgo se comporte de manera opuesta unos de otros (correlación inversa), teniendo como efecto que el riesgo

del portafolio disminuya (mínima σ), ésta es una forma de cobertura de riesgo de mercado; otra manera podría ser a través de productos derivados, los cuales toman este nombre porque su valor se deriva del comportamiento del valor de un subyacente. Aunque existe una gran variedad de productos derivados, de forma muy general se puede decir que son contratos sobre precios y cantidades futuras de los subyacentes, los cuales se pactan a la firma del contrato. De esta manera, al fijarse un precio futuro del bien subyacente, se está cubriendo el riesgo de un cambio inesperado en los precios, tal que pudiera provocar pérdidas. Los mecanismos que utilizan los derivados para cubrir el riesgo del instrumento subyacente, puede generar liquidez y rendimiento, lo que ha provocado que se especule y existan agentes que hacen mal uso de estos instrumentos.

Dependiendo de donde se origina, el riesgo puede clasificarse en riesgo endógeno y riesgo exógeno o sistémico:

- a. El riesgo exógeno o sistémico es aquél sobre el que se tiene influencia muy limitada, ya que generalmente está en función de factores externos al individuo o empresa y no se puede diversificar. Un ejemplo de los factores que influyen sobre el riesgo sistémico es el entorno macroeconómico del país. El riesgo sistémico afecta a los mercados por igual, sin hacer distinción entre bienes o empresas.
- b. El riesgo endógeno se puede cubrir con mayor facilidad, ya que este riesgo depende de factores que la empresa o individuo pueden cubrir, diversificar o minimizar. Este riesgo es el que se busca administrar de manera eficiente al realizar inversiones o desarrollar productos.

Cuando se toman decisiones de inversión no se debe pretender que el riesgo desaparezca, ya que por lo general todo rendimiento conlleva un riesgo, entonces se debe buscar siempre es administrar dicho riesgo de manera eficiente y saber cómo, cuándo y dónde asignarlo.

1.2. Clasificación de Riesgo

Las empresas están expuestas a tres tipos de riesgo en general: riesgo de negocio, riesgo económico y riesgo financiero.

Riesgo de Negocio. Es el que la empresa asume de manera voluntaria para crear una ventaja competitiva y de esta manera agregar valor para los accionistas. El riesgo de negocio o de operación pertenece al mercado del producto en el que una empresa opera, e incluye innovaciones tecnológicas, diseño del producto y marketing. El apalancamiento operacional, que involucra el grado de costos fijos contra los variables, es por lo general una variable de control en este tipo de riesgo. La exposición sensata al riesgo de negocio conforma la esencia de la competitividad, en cualquier actividad de las empresas.

Riesgo Económico. Es aquel que resulta de cambios fundamentales en la economía o el ambiente político. Un ejemplo podría ser el sentimiento negativo hacia los derivados que se comenzó a dar en 1992 y que llevó a una reducción en la actividad de los negocios en la que los operadores de derivados se vieron atrapados. Las expropiaciones y nacionalizaciones también caen dentro del riesgo económico. Es difícil cubrir este tipo de riesgo, a no ser por la diversificación de giros en los negocios y países en los cuales se invierte.

Riesgo Financiero. Es el relacionado a las posibles pérdidas generadas en instrumentos financieros o portafolios de inversión dentro de los mercados financieros, como consecuencia de cambios en los factores de riesgo. Los factores de riesgo se refieren a las variables que influyen de manera esencial, sobre el valor de una posición, instrumento o portafolio.

Dentro del riesgo financiero existen 5 categorías fundamentalmente, de acuerdo con las definiciones establecidas por la Comisión Nacional Bancaria y de Valores:

Riesgo de Crédito. Es el riesgo en el que incurre un agente económico al asumir posiciones financieras con vencimiento futuro y probabilidad implícita de

incumplimiento del titular de la obligación, traducida en que los flujos reales difieren de los esperados. En un sentido más amplio, el riesgo crediticio también puede llevar pérdidas no necesariamente realizadas, cuando los deudores son degradados por las agencias de crédito, lo que generalmente conlleva a una caída en el valor de mercado de sus obligaciones (valor de su papel comercial o emisión de bonos). Entonces, según el tipo de agente económico titular de la obligación, el riesgo de crédito puede clasificarse en: riesgo contraparte, donde la liquidación es responsabilidad directa de un agente específico; y riesgo emisor, que es particular a una emisión bursátil y que depende de la contraparte y del tipo de instrumento.

Riesgo Legal: Es la pérdida potencial por el incumplimiento de las disposiciones legales y administrativas aplicables, o bien, por la suscripción de convenios cuya inexistencia o nulidad pudiera ser declarada judicialmente. También se refiere a no poder aplicar o ejecutar un contrato cuando se pensaba realizar esta acción y a no poder realizar operaciones que tengan algún error de interpretación jurídica o alguna omisión en la documentación. Las principales causas de este tipo de riesgo son los cambios en las leyes y regulaciones, las lagunas legales, la aplicación selectiva de los contratos y las deficiencias judiciales.

Riesgo de Liquidez: Es el riesgo por la imposibilidad de un agente económico para hacer frente a las obligaciones contraídas con los flujos de efectivo generados o acumulados, situación que generalmente requiere que la empresa liquide activos incurriendo en altos costos o que recurra a fondeos que pueden afectar el margen financiero en el futuro. El tipo de riesgo de liquidez relacionado con el fondeo genera desajustes entre los flujos activos y los pasivos en el presente y en el futuro. El riesgo de liquidez también se refiere a la pérdida potencial que se manifieste por la imposibilidad de renovar pasivos o de contratar nuevos en condiciones normales para la institución; por la venta anticipada o forzosa de activos a descuentos inusuales para hacer frente a sus obligaciones de manera oportuna, o bien, por el hecho de que una posición no pueda ser oportunamente adquirida o cubierta mediante el establecimiento de una posición

contraria equivalente. El riesgo de liquidez se refiere también a la imposibilidad de transformar en efectivo un activo o portafolio (imposibilidad de vender un activo en el mercado). Este riesgo se presenta en situaciones de crisis, cuando en los mercados hay únicamente vendedores.

Riesgo Operativo: Es la pérdida potencial por fallas o deficiencias en los sistemas de información, en los controles internos, en la supervisión interna, en errores en el procesamiento de las transacciones o eventos fortuitos como desastres naturales. También se relaciona con pérdidas en que puede incurrir una empresa o institución por la eventual renuncia de algún empleado o funcionario, quien durante el periodo en que laboró en dicha empresa concentró todo el conocimiento especializado en algún proceso clave.

Riesgo de Mercado: Es la pérdida potencial por cambios en los factores de riesgo que inciden sobre la valuación de las posiciones activas, pasivas o causantes de pasivo contingente, tales como tasas de interés, tipos de cambio, índices accionarios e inflacionarios, entre otros. Cada uno de los precios, tasas o índices que pueden generar un impacto en los flujos de efectivo de una posición es llamado factor de riesgo. El riesgo de mercado también se refiere a la posibilidad de que el valor presente neto de un portafolio se mueva adversamente ante cambios en las variables macroeconómicas que determinan el precio de los instrumentos que componen una cartera de valores. Los riesgos de mercado pueden clasificarse por el tipo de instrumento o activo que lo generó: riesgo de tasa de interés, riesgo por el precio de mercancías físicas, riesgo por el precio de acciones, riesgo por tipo de cambio y riesgo en derivados.

Otros riesgos financieros a considerar son:

Riesgo de Reputación. Es el relativo a las pérdidas que podrían resultar como consecuencia de no concretar oportunidades de negocio atribuibles a un desprestigio de una institución por falta de capacitación del personal clave, fraude o errores en la ejecución de alguna operación. Si el mercado percibe que la

institución comete errores en algún proceso clave de la operación, es lógico que los clientes deseen eventualmente cambiar de institución.

Riesgo Intelectual. Es el riesgo de pérdida de personal con conocimientos especializados que pueden dificultar a la institución continuar con la operación o la administración del negocio, incluyendo la administración de riesgos.

Riesgo Global. Si la tarea es estimar los diferentes riesgos es muy compleja, la agregación de los mismos es todavía mayor, y quizás imposible de lograr. A la fecha, lo único claro es que no hay ningún acuerdo de una medida que pueda ser representativa del riesgo global de una institución.

La complejidad de agregar los riesgos se deriva de la diversidad de supuestos, de parámetros y del alcance de los diferentes modelos, como se puede observar en el cuadro 3:

Cuadro 3. Características de los Principales Riesgos

Características de los Principales Riesgos			
Características	Riesgo		
	Mercado	Crédito	Operativo
Principales eventos	Normales	Extremos	Extremos
Supuestos	Mercados completos	Mercados incompletos	No aplica
Distribución	Simétrica y con colas anchas	Colas anchas y asimétricas	Cuando existe, con colas anchas y asimétricas
Horizonte	Diario	Al menos un año	Al menos un año
Correlaciones	Entre dimensiones	Entre posiciones	Cero
Análisis	Estadísticas históricas de mercado disponibles	Análisis de crédito	Análisis de auditoría
Verificación	Back-testing	Verificación de parámetros	Verificación de parámetros

Fuente: Elaboración propia en base de Carlos Sánchez Cerón 2001

La estimación del riesgo de mercado, de crédito y operativo son funciones separadas, sin un sistema o políticas comunes; con un personal con un entrenamiento heterogéneo y en temas muy diversos.

1.3. La Administración de Riesgos

La administración de riesgos es el proceso mediante el cual un individuo y organización se asegura de que los riesgos a los que se encuentra expuesto sea en realidad los riesgos a los que está dispuesto a enfrentarse en la búsqueda de los objetivos particulares, lo que no significa forzosamente reducción de riesgos. En esencia, es el proceso que permite equilibrar los beneficios potenciales de asumir cierto nivel de exposición en un entorno de incertidumbre con los costos de oportunidad de no asumirla.

La administración de riesgos es el conjunto de objetivos, políticas, procedimientos y acciones que se instrumentan para identificar, medir, monitorear, limitar, controlar, reportar y revelar los distintos tipos de riesgo a que se encuentran expuestas las instituciones o empresas. La administración de riesgo implica necesariamente análisis, el cual tiene por objetivo poder determinar las pérdidas potenciales y asignarles una probabilidad.

En un mundo de libre movilidad de capital, flotación de monedas, tasa de interés y apertura económica al comercio internacional de mercancías, bienes y servicios, las tesorerías de las entidades financieras y corporativas están expuestas a las fluctuaciones no anticipadas en variables económico-financieras, tales como: tasas de interés locales e internacionales, tasas de inflación, precios de bienes de consumo, precios de acciones y de carteras de títulos financieros en general.

La administración de riesgos es una herramienta que ayuda en el proceso de toma de decisiones. No sólo convierte la incertidumbre en oportunidad, sino evita catástrofes financieras de graves consecuencias.

La función de la administración de riesgos es en esencia un método racional y sistemático para entender los riesgos, medirlos y controlarlos en un entorno en el que prevalecen instrumentos financieros sofisticados, mercados financieros que se mueven con gran rapidez y avances tecnológicos en los sistemas de información que marcan nuestra era. (Alfonso De Lara, 2011)

Todas las empresas en general tiene que enfrentar riesgos y de alguna manera administrarlos, las que lo saben hacer de manera eficiente prevalecen en el mercado y las que no, corren el riesgo de desaparecer. Mientras algunas empresas aceptan de manera pasiva los riesgos, otras tratan de crear una ventaja competitiva al exponerse a los mismos. En cualquiera de estos casos los riesgos deben ser monitoreados cuidadosamente debido al potencial que tiene de causar daño.

El concepto de riesgo considerado en la Administración abarca tanto los riesgos financieros, como los no financieros.

Los riesgos financieros, son aquello que se encuentran relacionados con las posibles pérdidas en los mercados financieros. Los movimientos en las variables financieras, tales como las tasas de interés, la inflación y los tipos de cambio entre otros.

Los riesgos no financieros, este tipo de riesgos siempre han estado presentes en la operación de mercados financieros y se han incluido para su administración. Estos tipos de riesgos se dividen en dos: los riesgos de operación y los riesgos de control.

El proceso de la administración de riesgos implica: la identificación de riesgos, su cuantificación y control mediante el establecimiento de límites de tolerancia al riesgo con el fin de modificar o nulificar riesgos a través de disminuir la exposición al riesgo o de instrumentar una cobertura.

Podemos conceptualizar a la Administración de Riesgos como un ciclo que inicia con el análisis y determinación de los objetivos en el control de riesgos y termina con un proceso de evaluación y reportes, el cual incluye los siguientes puntos:

- Establecer objetivos y metas de la Institución, empresa o individuo.
- Identificar y cuantificar exposiciones con relación a los objetivos y metas.
- Definir la filosofía para administrar las exposiciones.

- Especificar responsabilidades, autoridades, límites y controles.
- Evaluar el desempeño.
- Revelar e Informar.

Las instituciones financieras son tomadoras de riesgo por naturaleza. En este contexto, aquellas que tienen una cultura de riesgos crean una ventaja competitiva frente a las demás. Asumen riesgos más conscientemente, se anticipan a los cambios adversos, se protegen o cubren sus posiciones de eventos inesperados y logran experiencia en el manejo de riesgos. Por el contrario, las instituciones que no tienen cultura de riesgos, posiblemente ganen más dinero en el corto plazo pero en el largo plazo convertirán sus riesgos en pérdidas importantes que pueden significar, inclusive, la bancarrota. (Alfonso de Lara, 2011).

1.4. Administración de Riesgos Financieros en Instituciones no Financieras

La naturaleza del riesgo financiero en las instituciones no financieras representa una de las principales dificultades en la administración de riesgos. En las empresas no financieras es imposible establecer una equivalencia entre los activos y los pasivos, ya que generalmente uno de ellos tiene un origen financiero mientras que el otro no. Por ejemplo, las corporaciones industriales están conformadas por activos reales, como propiedad, planta y equipo; activos intangibles, como el crédito mercantil, propiedad intelectual y marcas registradas; y activos en inversiones que son financiados con pasivos financieros en forma de deuda bancaria y corporativa, además de capital público y privado.

Para entender la administración de riesgos financieros en instituciones no financieras es indispensable tener en cuenta los aspectos característicos de la relación de los activos y pasivos. A continuación se exponen las tres principales dificultades a las que se enfrenta el administrador de riesgos financieros en este tipo de instituciones:

En primer lugar, se establece la relación de financiamiento de los activos y los pasivos reales de las instituciones no financieras con activos y pasivos financieros que tienen esquemas de flujo de efectivo fijos de pago o cobro.

En segundo lugar, el rendimiento o el valor de los activos y pasivos no financieros no responde a los mismos determinantes que afectan tanto el valor de los activos financieros como el de los pasivos financieros usados en su fondeo.

Finalmente, es imposible implementar metodologías de valuación a precios de mercado para medir el riesgo en las instituciones no financieras para los activos y pasivos no financieros. Existe la posibilidad de generar instrumentos sintéticos que repliquen los flujos de los activos y pasivos no financieros con instrumentos de mercado; sin embargo, estas mediciones son incompletas y pueden llevar a conclusiones erróneas. Por lo que la posibilidad de usar enfoques tipo Valor en Riesgo para la medición de riesgos es reducida.

Los problemas mencionados anteriormente imposibilitan la creación de mediciones de la exposición neta al riesgo y dificultan su cobertura con los instrumentos usados tradicionalmente para estos fines.

Debido a que en las firmas no financieras el riesgo es inherente a fuentes no financieras propias de la actividad empresarial o de la estrategia de negocios, el riesgo financiero para estas instituciones es permanente y no está relacionado con una posición pactada, lo que ocasiona problemas en la realización de coberturas utilizando instrumentos financieros con vencimientos finitos. Adicionalmente la utilización de capital para administrar el riesgo de pérdidas debido al riesgo financiero no puede aplicarse en estas empresas.

La administración corporativa de riesgos busca la manera de reducir la exposición a riesgos financieros y acotar la incertidumbre de los flujos de efectivo. Para esto se ha desarrollado un enfoque basado en los flujos de efectivo que no ha podido resolver el problema de los activos y pasivos no financieros, aunque sí permite definir perfiles de riesgo más completos para las empresas facilitando así la administración de riesgos.

Para medir el riesgo en una empresa no financiera se utiliza lo que se ha denominado modelos de flujo de efectivo en riesgo (FEeR). Conceptualmente el modelo es equivalente al VaR, sin embargo, el propósito del FEeR es construir la distribución de las variaciones del flujo de efectivo, en vez de la distribución de probabilidad de pérdidas y ganancias. A pesar de que el procedimiento es similar al de la estimación del VaR; medir el FEeR es una tarea más compleja, ya que se requiere analizar el estado de resultados y el balance de cada empresa para identificar los factores de riesgo.

En resumen, el riesgo de negocio deber ser la principal preocupación de una empresa, mientras que los riesgos financieros deben permanecer en segundo término. Por ello, los intermediarios financieros encuentran un mercado potencial en la provisión de servicios de administración de riesgos financieros a estas empresas y así, se convierten en los principales usuarios desarrolladores de este tipo de procesos.

1.5. Evolución de la Administración de Riesgos Financieros en las Instituciones Financieras

La intermediación financiera involucra la asimilación, valuación y administración del riesgo. El perfil de riesgo al que se enfrenta una institución financiera concentra todos los tipos de riesgos financieros y de negocio descritos.

La administración del riesgo de mercado generado por las posiciones adquiridas y las transacciones realizadas es sólo una parte del perfil integral de riesgo de una institución financiera, pero es el origen de los modelos de medición de riesgos.

La práctica de la administración de riesgos en las instituciones financieras ha experimentado un importante desarrollo en los últimos años. Los factores que han contribuido a la creciente atención en la administración de riesgos son:

- La desregulación de los mercados financieros.

- La importancia que han adquirido los instrumentos de deuda, capital y derivados en la intermediación financiera.
- El incremento del perfil de riesgo de las organizaciones debido a las actividades que implican asumir riesgos de manera deliberada.
- La volatilidad en los mercados y su impacto en las instituciones financieras.
- La presión de los inversionistas de los mercados de capitales por obtener rendimientos que reflejen el riesgo relativo de sus inversiones.
- Los requerimientos del marco regulatorio para la administración de riesgos.

Algunos de los fenómenos que ha incentivado el desarrollo de la administración de riesgos son:

El proceso de desregulación de los mercados financieros ha impactado la administración de riesgos en dos sentidos: el primero es que las instituciones privadas deciden el nivel de riesgo que están dispuestas a asumir, y el segundo es que existe la posibilidad de cubrir el riesgo de las actividades en los mercados financieros de manera parcial o total, reduciendo los requerimientos de administración de riesgos en las organizaciones individuales. La desregulación enfatiza la responsabilidad y el control de las organizaciones sobre la administración y los niveles de riesgo que asumen.

El incremento en el uso de instrumentos financieros tradicionales y derivados en los mercados afecta los procesos de administración de riesgos debido a que ha dado como resultado que el financiamiento bancario tradicional de las empresas sea sustituido gradualmente por la emisión de bonos y otras obligaciones negociables. Esta tendencia incluye la bursatilización de activos pocos líquidos como los préstamos hipotecarios, las cuentas por cobrar de distintas clases, las deudas de tarjetas de crédito, los préstamos para adquisición de automóviles y obligaciones de arrendamiento, que han requerido la evaluación del riesgo de estas obligaciones mediante valuaciones periódicas de las posiciones utilizando los precios de mercado.

El uso de los instrumentos derivados en la transferencia de riesgos y en la síntesis de la exposición al precio de los activos ha enfocado la atención de clientes, reguladores y administradores en los procesos de administración de riesgos debido a que el valor dinámico de los instrumentos derivados ha creado la necesidad de realizar valuaciones frecuentes a precios de mercado de las posiciones y un monitoreo constante de la evolución del valor de estos productos.

Los factores que han propiciado el aumento en el volumen de transacciones realizadas por los intermediarios son: la disminución de los ingresos de los intermediarios debido al incremento en la competencia provocada por la desregulación de los mercados financieros: la presión de los clientes para realizar operaciones con las instituciones financieras participando como principal; y la ventaja competitiva de la que gozan estas instituciones para la realización de operaciones por economías de escala: la infraestructura con la que cuentan, el acceso a la información y los menores costos de transacción.

Por otro lado las instituciones financieras han sido conducidas hacia la diversificación de las actividades realizadas, que van desde transacciones con todos los tipos de activos e instrumentos financieros, hasta la proveeduría de servicios y productos como la administración de inversiones, servicios de custodia y servicios de administración de efectivos, dando lugar a una forma más amplia de intermediación financiera y toma de riesgos.

Todos los fenómenos expuestos junto con el creciente desarrollo e innovación en los mercados financieros ha forzado la evolución de la administración de riesgos hacia un marco más flexible.

1.6. Regulación o Supervisión del Riesgo

Durante los últimos 30 años el aumento de nuevos instrumentos financieros ha sido notable, así como el incremento en la volatilidad de las variables que afectan el precio de esos instrumentos, tales como tipos de cambio, tasas de interés, etc. En particular, destaca el desarrollo de productos derivados (futuros, opciones y swaps) en este período. El desarrollo más importante se dio en 1973,

con la contribución que hicieron Fisher Black y Myron Scholes al proponer la fórmula para valorar el precio de las opciones financieras.

La preocupación de las autoridades por el riesgo de mercado, se originó principalmente por la falta de adecuación de los sistemas tradicionales de reservas para hacer frente a la frecuencia de las grandes fluctuaciones instantáneas de precios y a los contagios masivos de tendencias a través de los diferentes mercados financieros. El lugar donde estas preocupaciones fueron objeto de análisis y evaluación para la propuesta de medidas reguladoras, fue el Comité de Supervisión Bancaria del Banco de Pagos Internacionales (BIS) de Basilea, conocido de forma abreviada como Comité de Basilea.

La medición de los riesgos logra un gran avance, con la publicación durante la segunda mitad de la década de los 90's de un sistema llamado Riskmetrics del banco estadounidense JP Morgan, el cual mostraba un método con el que era posible cuantificar el riesgo de mercado en instrumentos financieros con sólo un dato, de esta forma es como se dio la aparición del Valor en Riesgo (VaR). El sistema *Riskmetrics* tenía como propósito:

- Promover una mayor transparencia del riesgo de mercado.
- Hacer posible para otros usuarios, el uso de herramientas de administración del riesgo, especialmente para aquellos que no tengan los recursos para el desarrollo de dichos sistemas.
- Establecer dicha metodología como un estándar.

En el caso del sistema financiero mexicano, el Banco de México, la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV), la Comisión de Seguros y Fianzas y la Comisión Nacional del Sistema de Ahorros para el Retiro (CONSAR) al igual que las instituciones reguladoras internacionales, se han adherido al principio de regulación prudencial, en concordancia con los acuerdos de Basilea, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 97 de la Ley de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 97 de la Ley de Instituciones de Crédito, así como el 4, fracciones II y VI, 6, 16,

fracción 1 y 19 de la Ley de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores, emitió las disposiciones de carácter prudencial en materia de administración integral de riesgos aplicables a las instituciones de crédito, con las cuales se establecen las bases de la administración de riesgos en México.

El objetivo principal de la administración de riesgos es asegurar que las actividades de operación e inversión de una institución, no se expongan a pérdidas que puedan amenazar la viabilidad futura de la misma.

Las principales medidas regulatorias que las autoridades han adoptado son:

- 1991 se determinó que el capital neto de los bancos debería ser al menos 8% del total de los activos ponderados por riesgo.
- 1995 el Banco de México en el Anexo 9 de la Circular 2019/85 del 20 de septiembre estableció que la instituciones financieras que pretendan participar en los mercados de coberturas cambiarias, compraventa de dólares a futuro y de opciones de compra y venta de dólares, deberán cumplir con 31 puntos, de los cuales destacan:
 - Se involucra a la Dirección General y al Consejo de Administración de las instituciones financieras, en la definición de la operación, límites de riesgo y aprobación de nuevos productos.
 - Se crea la unidad de control de riesgos, independiente de las áreas de “trading” con la función de medir y de informar diariamente a la dirección general sobre la exposición al riesgo de la institución.
 - Se necesita establecer un código de ética profesional.
 - Se destaca que las unidades de control de riesgos deberán contar con sistemas de estimación y de valuación de riesgos.
 - Los modelos de valuación deberán ser aprobados por consultores externos. La evaluación inicial de los 31 puntos está a cargo de las entidades con experiencia en la supervisión del proceso de administración de riesgos y autorizadas por Banxico.

- El 28 de junio de 1996 la CNBV emitió las “Reglas para los requerimientos de capitalización de las casas de bolsa. Los puntos más destacables son los siguientes:
 - El objetivo es establecer el régimen prudencial en materia de control de riesgos.
 - El riesgo se divide en riesgos de mercado, riesgos de liquidez y riesgo de crédito.
 - El modelo para estimar los riesgos es un “modelo de bloques” similar al modelo propuesto por el Comité de Basilea en 1993, el cual ignora la correlación entre factores de riesgo; pero supone perfecta correlación entre los rendimientos de los instrumentos cuyos plazos son similares.
 - El requerimiento de capital se determina como la suma de requerimientos por cada tipo de riesgo:
 - Riesgo de mercado: 12% del valor de la posición neta de la cartera de inversión + entre 4% y 8% por el riesgo específico de cada tipo de producto.
 - Riesgo de liquidez: 4% del valor absoluto de cada serie accionaria y en función del grado de bursatilización.
- En 1995 la CNBV estableció nuevos criterios contables para las instituciones financieras. Con estas modificaciones se homogenizaron los criterios contables en México con los estándares internacionales. Destacando los siguiente punto:
 - En la valuación de los instrumentos derivados, se distingue entre aquellos que son para fines de negociación y las que son para cubrir posiciones de riesgo. En ambos casos la valuación reconoce el impacto de las fluctuaciones de los precios sobre el valor de mercado de las posiciones.
- En octubre de 1998 el Banco de México indicó la conveniencia de que los bancos homogenicen los 31 puntos que aplican a la operación, negociación y control de riesgo de instrumentos derivados, a todos los

productos y servicios que negocian las mesas financieras de las casa de bolsa y de los bancos.

- En enero de 1999, mediante la Circular 1423, la CNBV emitió las “Disposiciones de Carácter Prudencial en Materia de Administración Integral de Riesgos”. Una de las principales disposiciones es:
 - Para administrar el riesgo de mercado se deberán utilizar modelos de valor en riesgo. mientras la circular establece que se deberá evaluar la diversificación de los riesgos de mercado, y que las unidades de riesgo deberán allegarse de información histórica de los factores de riesgo, no define parámetros, como lo hace Basilea, que deberán considerarse para la estimación del Valor en Riesgo.

En México, las prácticas de regulación y administración de riesgos se diferencian de acuerdo con las actividades de intermediación financiera, esto es con la finalidad de que los intermediarios financieros desempeñen sus funciones de forma especializada a fin de garantizar una adecuada estabilidad y funcionamiento.

La administración de las instituciones en México depende de las prácticas internacionales en cuanto a su definición y desarrollo. Así mismo la globalización del Sistema Financiero Mexicano, en un nivel regulatorio, comenzó con la adopción en 1994 de las recomendaciones del Comité de Basilea de 1988; aunque esto fijo un estándar para medir la solvencia y desempeño de las instituciones mexicanas, esto no fue suficiente para dimensionar y reducir los problemas del sistema que se manifestaron en 1994.

Durante los últimos años el marco regulatorio del Sistema Financiero Mexicano ha sufrido importantes cambios:

En la década de los 80’s la operación de los bancos mexicanos estaba muy regulada.

A partir de 1989 se inició un proceso de desregulación y liberación del sistema financiero; se autorizó la presencia de los grupos financieros con el propósito de orientar a las instituciones hacia el concepto de banca universal.

En 1991 se inició el proceso de privatización de los bancos, se otorgaron concesiones a bancos nuevos y en el marco del Tratado de Libre Comercio se permitió la presencia de bancos extranjeros. Se autorizó la operación de nuevos instrumentos (productos derivados).

La privatización de los bancos trajo consigo posiciones de riesgo elevadas, en este periodo ocurrió la devaluación del peso en diciembre de 1994, el incremento de la inflación y de las tasas de interés.

La internacionalización del sector financiero mexicano es relativamente reciente, ya que se manifestó tras la crisis financiera de 1994 como parte de una estrategia para reorganizar el sistema financiero; el sector bancario se logró el aseguramiento de los depósitos de los clientes, así mismo fue posible el rescate de los bancos y el cambio y retiro de las concesiones de propiedad de los intermediarios.

En México existe un consenso de que la valuación de las carteras de inversión debe hacerse a precios de mercado, debido a que el valor de mercado es el mejor parámetro de referencia para valorar el riesgo de las carteras de inversión de las instituciones.

Por otro lado las autoridades regulatorias mexicanas estiman el Valor en Riesgo con diferente periodicidad, así mismo un gran número de instituciones financieras (bancos, afores y casas de bolsa) realizan las estimaciones en diferentes grados de automatización y cobertura.

Como respuesta a las crisis, se introdujo como requisito el cálculo de un Valor en Riesgo estresado, el cual toma en cuenta datos correspondientes a un periodo de un año relacionado a pérdidas significativas. Esto es debido a que en los periodos de crisis financieras las pérdidas que la mayoría de los bancos han

registrado superan de forma significativa a los requerimientos mínimos de capital. Este documento se emitió para análisis y emisión de comentarios de usuarios e instituciones financieras en enero de 2009 y se publicó la versión definitiva en julio de 2009.

1.6.1 Comité de Basilea

El Banco Internacional de Pagos (BIS) es una organización internacional cuyo propósito es el fortalecimiento de la cooperación monetaria financiera. Asimismo funge como banco para los pagos centrales. En este sentido sus clientes son diversos bancos centrales y organismos internacionales, por lo tanto, no recibe depósitos del sector privado. Fue fundado en 1930 y puede considerarse como el organismo financiero internacional más antiguo del mundo. Tiene su sede en Basilea Suiza.

El Banco de pagos internacionales que tiene funciones tales como: promover la discusión de políticas implementadas para bancos centrales, creó el Comité de Basilea en Supervisión bancaria con el objeto de fortalecer todas las funciones antes mencionadas.

El Comité de Basilea en Supervisión bancaria provee de un foro para la discusión y creación de forma cooperativa, de normas y regulaciones para supervisar las actividades bancarias. Su objetivo principal es mejorar el entendimiento de algunos temas clave y técnicas para la supervisión bancaria, de tal forma que se pueda tener la confianza de que todas las instituciones financieras comerciales actúan de forma tal que cuiden el dinero de inversionistas y ahorradores, así como un desarrollo sano del sector.

El Comité se estableció a finales de 1974, integrado por los directores de los bancos centrales de los países que conforman el Grupo de los Diez (G-10). Este comité sesiona cuatro veces al año, y a pesar de que establecen normas, regulaciones y recomendaciones para las instituciones financieras de los países que integran el comité, este no tiene ninguna autoridad directa sobre las instituciones financieras, ni fuerza legal para actuar contra alguna institución. Toda

norma o recomendación que se emita por el Comité se realiza con la esperanza de que las autoridades locales o nacionales que tengan poder o autoridad legal, realicen lo necesario para implementar dichas recomendaciones o normas.

1.6.2 Comité Basilea I, II y III

Los riesgos resultantes de la globalización financiera, aunados a la crisis de endeudamiento externo de muchos países conllevaron a numerosas quiebras bancarias a nivel internacional.

Fue así que, como una medida preventiva, en 1988 el Comité de Basilea emite un acuerdo en el cual se introduce un sistema de medición de capital, este sistema establecía un tratamiento para la capitalización de riesgos de crédito y mercado, así como para la integración del capital mínimo regulatorio. A este documento se le conoce como “El acuerdo de Basilea I”. Este acuerdo fue progresivamente aplicado por los países miembros del comité e incluso fue adoptado por países ajenos al mismo cuyo sistema financiero incluía bancos con actividad internacional.

En enero de 1999 el comité propuso la revisión y modificación de Basilea I, dando origen al documento conocido como “Basilea II” el cual propone 3 pilares para el manejo de riesgos:

- Requerimientos mínimos de capital

El primer pilar contempla cuales serán los métodos de sensibilidad para el cálculo de los requerimientos mínimos de capital que corresponden a los riesgos de crédito, operativo y de mercado. Para el riesgo de crédito existen 4 enfoques: estándar simplificado, estándar, básico de calificación interna y el avanzado de calificación interna.

- Proceso de Supervisión

El segundo pilar básicamente busca mejorar las capacidades de las entidades supervisoras mediante un análisis de los principios básicos que debe seguir el supervisor de la gestión de riesgos, transparencia y responsabilidad como autoridad regulatoria. Este pilar incluye orientación

para el tratamiento del riesgo de tasas de interés en carteras de inversión. También incluye tratamientos para el manejo de riesgos de crédito, operativo así como la mejora de la comunicación y cooperación entre países.

- **Disciplina de Mercado.**

Este último pilar motiva mejores modelos de adecuación, pertinencia y frecuencia para la divulgación de la información de tal forma que todos los participantes del mercado posean la información necesaria para realizar un análisis y valuación basada en datos veraces de la situación financiera de las instituciones bancarias.

Este nuevo documento conserva el mismo enfoque preventivo de Basilea I, sin embargo da un tratamiento más sensible al riesgo, por lo que permite una administración del riesgo más eficiente.

Posteriormente en septiembre de 2009 se le presenta al Comité de Basilea el marco general propuesto por el Grupo de Gobernadores de Bancos Centrales y Jefes de Supervisión, para elaborar el documento de Basilea III, con el que se busca reforzar el sistema regulador financiero, con el objeto de hacer frente a las crisis financieras. Este documento a su vez está basado en Basilea II y se espera de acuerdo a la calendarización publicada en septiembre de 2010, que las normas contenidas en este documento puedan ser aplicadas de manera paulatina, hasta que sean cubiertas en su totalidad para enero del 2019.

1.6.3 Marco de riesgo de mercado de Basilea II

A raíz de la crisis financiera que comenzó a mediados de 2007, se detectó que un factor que contribuyó a la expansión del problema fue el marco regulatorio de capital para el manejo de riesgos de mercado actual, el cual, estaba basado en un documento emitido en 1996 que no incorporaba algunos riesgos clave. Es por ello que el comité de Basilea, a través de la revisión del marco de riesgos de mercado busco complementar el Valor en Riesgo de forma que incluyera o mitigara el riesgo por impago, migración y productos de crédito.

Además, como respuesta a la crisis se introdujo como requisito el cálculo de un Valor en Riesgo estresado, el cual toma en cuenta datos correspondientes a un periodo de un año relaciona a pérdidas significativas. Esto es debido a que en los periodos de crisis financieras las pérdidas que la mayoría de los bancos han registrado superan de forma significativa a los requerimientos mínimos de capital. Este documento se emitió para análisis y emisión de comentarios de usuarios e instituciones financieras en enero de 2009, y se publicó la versión definitiva en Julio de 2009.

1.6.4 Basilea III

El acuerdo de Basilea III se compone de tres pilares:

- Medición de riesgos
- Actuación de la autoridad supervisora
- Transparencia

Incorpora elementos básicos en la parte de solvencia: coeficiente de apalancamiento, coeficiente mínimo de capital ordinario, colchón de conservación de capital y colchón anti-cíclico; así como algunos elementos nuevos en la parte de liquidez: coeficiente de cobertura de liquidez, coeficiente de financiación estable neta, principios para la adecuada gestión y supervisión del riesgo de liquidez.

En los siguientes tres cuadros se muestran las reformas de Basilea III y las fechas en las que se deben cumplir.

Cuadro 4. Reformas Basilea III. Capital

Reformas del Comité de Supervisión Bancaria de Basilea - Basilea III		
Fortalecen la regulación y supervisión micropudenciales y añaden una dimensión macroprudencial con		
Capital		
Primer Pilar		
Capital	Cobertura del riesgo	Restricción del apalancamiento
Calidad y cantidad del capital	Titulizaciones	Coefficiente de apalancamiento
Mayor énfasis del capital ordinario. El requerimiento mínimo se eleva al 4.5% de los activos ponderados por riesgo, tras las deducciones pertinentes.	Se fortalece el tratamiento de capital para determinadas titulizaciones complejas. Se exige a los bancos realizar análisis más rigurosos de las posiciones de titulización con calificación crediticia externa.	Un coeficiente de apalancamiento no basado en el riesgo que incluye posiciones fuera de balance respalda el requerimiento de capital basado en el riesgo. Además, este coeficiente contribuye a contener la acumulación de apalancamiento en el conjunto del sistema.
Capital con capacidad de absorber pérdidas en el punto de no viabilidad	Cartera de negociación	
Los términos contractuales de los instrumentos de capital incluirán una cláusula que permita - a discreción de la autoridad competente- la amortización o conversión en acciones ordinarias si el banco se considera inviable. Este principio incrementa la implicación del sector privado en la resolución de futuras crisis bancarias, reduciendo así el riesgo moral	Capital considerablemente superior para las actividades de negociación y con derivados, así como titulaciones complejas mantenidas en la cartera de negociación. Introducción de un marco de calor en riesgo en condiciones de tensión a fin de moderar la prociclicidad. Se incorpora un requerimiento de capital para riesgo incremental que estima los riesgos de impago y de migración de productos de crédito sin garantía teniendo en cuenta la liquidez.	
Colchón de conservación del capital	Riesgo de crédito de contraparte	
Comprende Capital ordinario por valor del 2.5% de activos ponderados por riesgo, con lo que el mínimo total de Capital ordinario asciende al 7%. Se limitarán las distribuciones discrecionales de fondos cuando los niveles de capital de la entidad se situen dentro de este rango.	Fortalecimiento sustancial del marco de riesgo de crédito de contraparte con requisitos más estrictos de capital para medir la exposición, incentivos de capital para que los bancos utilicen entidades de contrapartida central al negociar con derivados, y requerimientos de capital más elevados para las exposiciones dentro del sector financiero.	
Colchón anticíclico	Exposiciones bancarias a las entidades de contrapartida central (CCP)	
Impuesto en un rango del 0%-2,5% y formado por Capital ordinario, se aplicará cuando las autoridades consideren que el crecimiento del crédito está ocasionando una acumulación inaceptable de riesgos sistémicos.	El comité ha propuesto una ponderación por riesgo del 2% para las exposiciones comerciales frente a CCP admisibles, así como la capitalización de las exposiciones al fondo de garantía de liquidación frente el riesgo que estima de forma consistente y sencilla el riesgo procedente de dicho fondo.	

Fuente: Elaboración propia en base www.bis.org, 2011

Cuadro 5. Reformas Basilea III. Capital y Liquidez

Reformas del Comité de Supervisión Bancaria de Basilea - Basilea III		
Fortalecen la regulación y supervisión micropudenciales y añaden una dimensión macroprudencial con colchones de capital		
Capital		Liquidez
Segundo Pilar	Tercer Pilar	Normas internacionade de liquidez y seguimiento supervisor
Gestión del riesgo y supervisión	Disciplina de mercado	
Requerimientos complementarios	Requerimientos revisados de divulgación	Coefficiente de cobertura de liquidez
<p>Normas en materia de buen gobierno y gestión del riesgo en el conjunto de la entidad, riesgo de las posiciones fuera de balance y actividades de titulización, gestión de concentraciones de riesgos, incentivos a los bancos para gestionar mejor el riego y los rendimientos a largo plazo, prácticas adecuadas de remuneración, prácticas de valoración, pruebas de tensión, normas de contabilidad para instrumentos financieros, gobierno corporativo, colegios de supervisores.</p>	<p>Los nuevos requisitos están relacionados con las posiciones de titulización y con el patrocinio de vehpiculos fuera de balance. Se exigirá una divulgación más detallada de los componenetes de capital regulador y su conciliación con las cuentas declaradas, así como una explicación pomenorizada sobre cómo calcula el banco sus coeficientres de capital regulador.</p>	<p>El coeficiente de cobertura de liquidez (LCR) exigirá a los bancos mantener suficientes activos líquidos de alta calidad para resistir 30 días en un escenario de financiación bajo tensión especificado por los supervisores</p>
		Coefficiente de financiación estable neta
		<p>El coeficiente de financiación estable neta (NSFR) es un indicador estructural a largo plazo diseñado para paliar desajustes de liquidez. Este coeficiente cubre la totalidad del balance y ofrece incentivos a los bancos para que recurran a fuentes de financiación estables.</p>
		Principios para la adecuada gestión y supervisión del riesgo de liquidez
		<p>Los Principios para la adecuada gestión y supervisión del riesgo de liquidez, publicados por el Comité en 2008, se basan en las lecciones extraídas de la crisis, así como en un examen gundamental de las mejores prácticas en materia de gestión del riesgo de liquidez en las organizaciones bancarias.</p>
		Periodo de seguimiento supervisor
		<p>El marco de liquidez incluye un conjunto común de criterios de seguimiento para ayudar a los supervisores a identificar y analizar las tendencias del riesgo de liquidez a nivel tanto bancario como sistémico.</p>
<p>Además de cumplir los requerimientos de Basilea III, las instituciones financiera de importancia sistémica (SIFI) deben contar con una mayor capacidad de absorción de pérdidas, para reflejar así el mayor riesgo que comportan para el sistema financiero. El Comité ha elaborado una metodología de indicadores cuantitativos y elementos cualitativos que permiten identificar a los bancos de importancia sistémica mundiales (SIB). La abosorción de pérdidas suplementarias se basará en un requerimiento progresivo de Capital ordinario de Nivel 1 (CET1) de entre el 1% y el 2.5%, en función de la importancia sistémica del banco en cuestión. A los bancos que presenten el máximo recargo de SIB se les puede aplicar un 1% adicional de absorción de pérdidas para disuadirles de aumentar significativamente su importancia sistémica en el futuro. Se ha publicado un documento consultivo en cooperación con el Consejo de Estabilidad Financiera, encargado de coordinar el conjunto de medidas de reducción del riesgo moral planteado por las SIFI mundiales.</p>		
<p>Fuente: Elaboración propia en base www.bis.org, 2011</p>		

Cuadro 6. Cumplimiento Basilea III

Cumplimiento disposiciones transitorias, Basilea III (las zonas sombreadas indican periodos de transición; todas las fechas corresponden al 1 de enero)									
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Coefficiente de apalancamiento	periodo de seguimiento supervisor		Periodo de aplicación en paralelo. Comienzo de divulgación 2015					Transposición al Pilar 1	
Coefficiente mínimo de capital Ordinario			3.5%	4.0%	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%	4.5%
Colchón de conservación de capital						0.625%	1.25%	1.875%	2.50%
Coefficiente mínimo de capital Ordinario más colchón de conservación			3.50%	4.0%	4.50%	5.125%	5.75%	6.375%	7.0%
Deducciones transitorias sobre el CET1 (incluye importes por encima del límite para DTAs, MSRs y financieras)				20%	40%	60%	80%	100%	100%
Coefficiente mínimo de capital de Nivel 1			4.50%	5.50%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%
Coefficiente mínimo de capital Total			8.0%	8.0%	8.0%	8.0%	8.0%	8.0%	8.0%
Coefficiente mínimo de capital Total más colchón de conservación			8.0%	8.0%	8.0%	8.625%	9.25%	9.875%	10.50%
Instrumentos que dejan de admitirse como capital de Nivel 1 no Ordinario o de Nivel 2			Eliminación progresiva a lo largo de un horizonte de 10 años a partir de 2013						
Coefficiente de cobertura de liquidez	Inicio del periodo de observación				Introducción de estándar mínimo				
Coefficiente de financiación estable neta	Inicio del periodo de observación							Introducción de estándar mínimo	

Fuente: www.bis.org, 2011

1.7 Administración de Riesgos de Mercado

La inversión, el fondeo, la especulación, la cobertura y el arbitraje son las principales actividades que realizan las instituciones financieras con instrumentos financieros; mediante posiciones de tenencia propia o en nombre de sus clientes. Estas transacciones pueden realizarse con instrumentos tradicionales o derivados. Al realizar este tipo de operaciones en una institución financiera se enfrenta al riesgo de mercado.

Existe una serie de conceptos que cuantifican el riesgo de mercado, entre ellos: valor en riesgo, duración, convexidad, peor escenario, análisis de sensibilidad, beta, delta, etc.

Para poder llevar a cabo la administración de riesgos de mercado es indispensable identificar los factores de riesgo a los que se encuentra expuesta una institución y definir un esquema teórico de medición. Utilizando el modelo de medición de riesgos se llega a una medida de riesgo, con la que se pueden realizar actividades de difusión, administración y control de riesgos.

Asimismo, es necesario contar con la información sobre las transacciones realizadas o las posiciones asumidas que se agregarán en una cartera cuyo

objetivo es combinar transacciones y posiciones similares para obtener una posición de riesgo neta.

El siguiente paso en el proceso es descomponer la cartera en los factores de riesgo que lo afectan. Este proceso implica el desglose de cada instrumento en factores de riesgo puros, es decir se descompone un instrumento en los tipos de cambio, precios de acciones o físicos y niveles de los índices que afectan su precio, además de los nodos específicos de las curvas de tasas que determinan su valor. Dicho proceso es muy importante para la agregación y consolidación de los riesgos por productos y por clases de activo y es esencial para capturar las ventajas de la diversificación de las actividades que involucran la adopción de riesgos dentro de la empresa.

La cartera descompuesta en factores de riesgo puros es utilizada para realizar dos procesos; la valuación y la medición del riesgo. Por un lado, en la valuación se utilizan los precios de mercado y las tasas de interés para determinar el valor de liquidación de la cartera. Con este proceso se obtiene información relevante sobre el desempeño de las transacciones y operaciones realizadas, así como de las ganancias o pérdidas obtenidas. Esta información es necesaria para establecer parámetros para liquidar o realizar operaciones. Además, se utiliza para determinar si una cobertura o arbitraje han tenido el efecto deseado.

Por otro lado, el proceso de la medición del riesgo está enfocado en la valuación de la cartera basada en las proyecciones de los factores de riesgo y tasas de interés relevantes. Por tal motivo, dichas estimaciones ocupan un lugar prominente en el proceso, lo que ha generado una amplia variedad de técnicas diseñadas para estimar los posibles cambios adversos en las condiciones de mercado y su impacto en el valor de la cartera.

Adicionalmente, para realizar una medición del riesgo se requiere estimar la magnitud de los cambios adversos en los factores de riesgo que afectan la cartera y poder cuantificar el monto de las posibles pérdidas. En otras palabras, es necesario calcular la volatilidad de estos factores, además de la relación entre el

cambio de un factor de riesgo con el resto de los factores que afectan el valor de la cartera e incorporar en la medición del riesgo los beneficios de la diversificación.

También es preciso definir el nivel de confianza de la estimación del cambio adverso y el periodo necesario para liquidar eficientemente la cartera.

Los principales usos de las medidas de riesgo de mercado son: información para la toma de decisiones de los administradores del negocio y los reguladores; establecimientos de límites de exposición; creación de controles para la realización de transacciones; evaluación del desempeño de los criterios de riesgo y rendimiento; asignación de activos y capital de las unidades de negocio; y generación de reportes regulatorios y de supervisión.

Se pueden agrupar en tres grupos las medidas de riesgo:

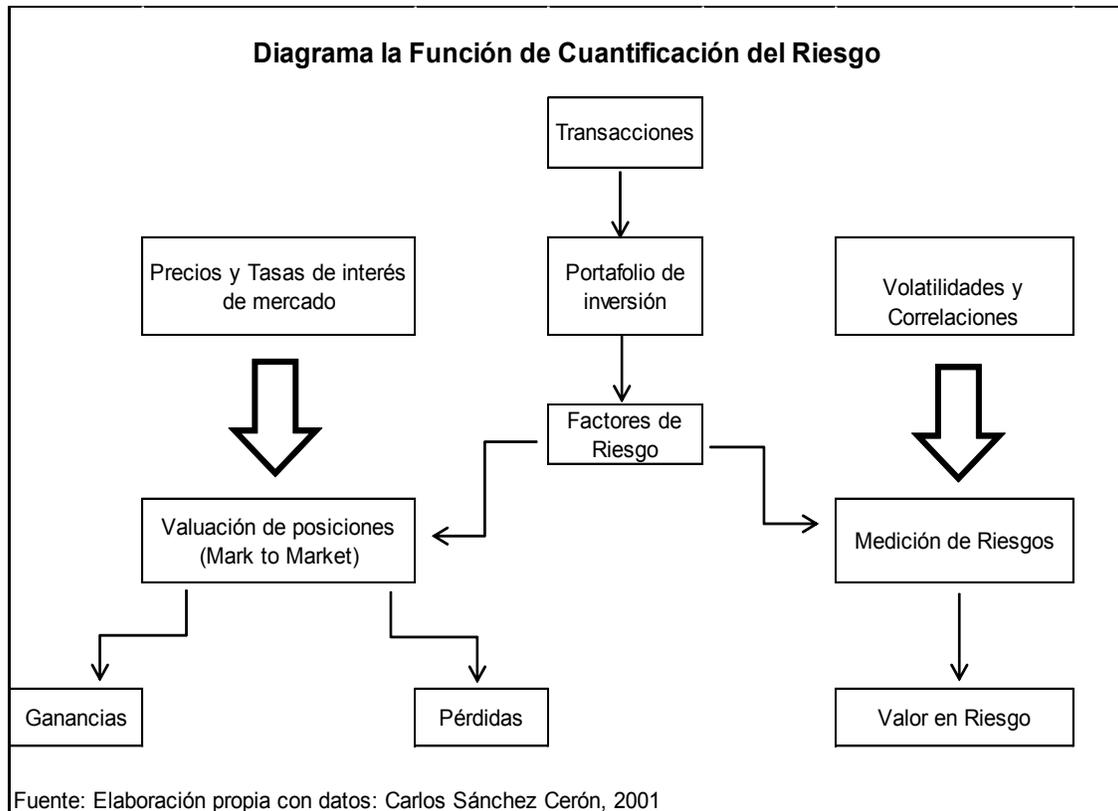
- Medidas de sensibilidad. Calculan el efecto de cambios en los factores de riesgo sobre el valor de una posición o cartera
- Medidas de volatilidad. Calculan el grado de inestabilidad que presenta el valor de una posición o cartera.
- Medidas de extremo. Calculan el grado de inestabilidad de los movimientos adversos que presenta el valor de una posición o cartera.

La medida de riesgo de mercado más utilizada por las instituciones financieras y reguladores es el Valor en Riesgo, que es una medida de extremo y corresponde a un valor crítico específico en la distribución de probabilidad de las ganancias o pérdidas potenciales de una cartera. El Valor en Riesgo se ha convertido en el estándar de la industria para medir el riesgo de mercado de una cartera y es la herramienta principal en la administración de este tipo de riesgos.

Para lograr una efectiva identificación de riesgos es necesario considerar las diferentes naturalezas de riesgos que se presentan en una transacción. Los riesgos de mercado se asocian a la volatilidad, estructura de correlaciones y liquidez, pero estos no pueden estar separados de otros, como riesgos operativos o riesgos de crédito

En el diagrama 2 se muestra la función de cuantificación del riesgo de mercado, por un aparte se debe contar con los precios y tasas de interés de mercado para la valuación de instrumentos y por otra cuantificar las volatilidades y correlaciones que permitan obtener el valor en riesgo por instrumento, por grupo de instrumentos y la exposición al riesgo global.

Diagrama 2. Función de Cuantificación del Riesgo



1.8 Mercados Internacionales

Actualmente, debido a la globalización, cualquier productor está, quiéralo o no, inmerso en estos mercados internacionales. El propio consumidor está expuesto a estos mercados; como por ejemplo está el petróleo, el cual se cotiza en los mercados internacionales, pero que afecta de forma importante a todos los consumidores, desde la gasolina que se utiliza para el funcionamiento de los vehículos, hasta los plásticos. Y no sólo petróleo, también los granos y cereales, entre otros, están sujetos a las variaciones del mercado.

Derivados de esta internacionalización de los mercados y del hecho de que los bienes son susceptibles de cambios drásticos de los precios por efectos externos (sequías, inundaciones, plagas, entre otros) se crearon instrumentos que ayudarán a minimizar las pérdidas.

Estos instrumentos llamados derivados (por que derivan de un bien llamado subyacente) cuando se compran o se utilizan no se compra el bien en sí sino un derivado, es decir, una promesa de compra o venta en el futuro o bien una opción de comprar o vender dependiendo del instrumento.

El acto de comprar o vender este tipo de instrumentos se le llama posiciones cortas (cuando se trata de vender) o posiciones largas (cuando se trata de comprar), independientemente de que se hable de opciones, futuros o forwards.

Un buen uso de estos instrumentos es para cubrir los riesgos que tenga la empresa debido principalmente a la compra de materias primas en moneda extranjera, o bien al uso de préstamos en otros países, en otra moneda y con riesgo diferente al que tiene el país de origen de la empresa.(González, 2009)

Hay ciertas nomenclaturas que es necesario saber antes de comenzar a ver las fórmulas de mercados internacionales, las cuales se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 7. Nomenclaturas Mercados Internacionales

Posiciones	En los mercados de derivados se habla, independientemente del tipo de instrumento que se esté utilizando, que se está en una posición larga o en una posición corta
Posición larga	Implica la compra de un activo. Indica que en este momento se tiene un activo financiero o de otro tipo, o bien, que se tendrá en un futuro debido a la compra de ese activo a la que se está comprometiendo optando debido a esta posición
Posición corta	Implica la venta de un activo. Indica que no se tiene en este momento el activo, o no se tendrá en el futuro debido a la venta de este activo a la que se está comprometiendo y optando debido a esta posición
Vender en corto (short selling)	Es decir, se estaría comprometiendo a vender algo en el futuro, que no se tiene en este momento, y que debido a esto se deberá comprar en un futuro, desconociendo por tanto el valor de compra que tendrá ese activo en ese momento. Puede ser que se venda arriba del valor de mercado o abajo del mismo, pero este tipo de venta es muy peligrosa en tiempos de alta volatilidad, ya que las pérdidas pueden ser abismales.
Sobre el dinero (in the Money)	Término que indica que se está en posición de ganar debido al uso de los instrumentos derivados
En el dinero (at the Money)	Término que indica que se está en una posición en la que no se gana ni se pierde dinero debido al uso de instrumentos derivados
Fuera del dinero (out the Money)	Término que indica que se está en una posición de perder dinero al uso de instrumentos derivados
Mercado sobre mostrador (over the counter market)	Mercado en que se transan instrumentos derivados hechos a la medida, sin ser por tanto un mercado totalmente regulado
Arbitraje	mercados diferentes en el mismo día puede aportar una ganancia debido principalmente al diferencial que se tiene, ya sea en tasas de interés o debido a un diferencial de precios

Fuente: elaboración propia en base González 2009

1.9 Los derivados y la administración de riesgos

Merton Miller, quien recibió el Premio Nobel de Economía en 1990 por sus trascendentales contribuciones a las finanzas, ha calificado a los últimos 30 años en este campo algo muy cercano a una revolución. Entre las innovaciones financieras durante este periodo, el profesor Miller considera a los futuros financieros como la más significativa. Los primeros contratos de este tipo fueron futuros sobre monedas, lanzados en 1972, por el *Chicago Mercantile Exchange*. Muy poco después llegaron las opciones, junto con el célebre modelo *Black-Scholes*.

El gran crecimiento de los instrumentos derivados es una respuesta a la necesidad de reducir riesgos financieros, así como la intención de buscar ganancias especulando. Esta necesidad de reducir los riesgos financieros así

como de darle seguimiento al riesgo y controlarlo, es lo que originó la administración de riesgos.

Como herramienta para la administración de riesgos, los derivados constituyen un mercado para la redistribución de riesgos. (Philippe Jorion, 2010)

El riesgo es la posible ocurrencia de un evento capaz de provocar una serie de pérdidas materiales, creando con ello una necesidad económica y financiera para afrontarlo.

La administración de riesgos se define como la función empresarial que garantiza la conservación de los activos y del poder de generación de beneficios de una empresa mediante la minimización del efecto financiero a las pérdidas accidentales. La CNBV define a la Administración de Riesgos como el conjunto de objetivos, políticas, procedimientos y acciones que se implementan para identificar, medir, monitorear, limitar, controlar, informar y revelar los distintos tipos de riesgo a que se encuentran expuestas las instituciones.

En la actualidad prácticamente ningún individuo, empresa, gobierno o proyecto con enfoque de negocios escapa a los fuertes impactos que provocan las fluctuaciones de los tipos de cambio, tasas de interés y precios de materias primas, entre otras variables.

Los instrumentos financieros derivados son contratos cuyo precio depende del valor de un activo, comúnmente denominado el bien o activo subyacente de dicho contrato.

Los activos subyacentes pueden ser a su vez instrumentos financieros, por ejemplo, una acción individual, una canasta de acciones o un instrumento de deuda; también pueden ser bienes como el oro o productos como el petróleo; o indicadores como un índice bursátil e incluso el precio de otro instrumento derivado.

La finalidad de los instrumentos financieros derivados es reducir el riesgo que resulta de movimientos inesperados en el precio del bien subyacente entre los

participantes que quieren disminuirlo y aquellos que desean asumirlo. En el primer caso se encuentran los individuos o empresas que desean asegurar el precio futuro del activo subyacente, así como su disponibilidad, mientras que en el segundo están los individuos o empresas que esperan obtener una ganancia que resulta de los cambios en el precio del activo subyacente.

Existen tres maneras de negociar los derivados: cobertura, especulación, arbitraje.

- Cobertura. El objetivo es reducir un riesgo que se esté enfrentando, por ejemplo su propósito del *hedging* es hacer que los pagos sean más certeros, pero no necesariamente los mejora. Los coberturistas (en inglés: *hedgers*) intentan eliminar la exposición a movimientos del mercado. Existen varias estrategias para hacer una cobertura mediante opciones, que son conocidas como las griegas de la opción: delta, gamma, theta, rho, vega.
- Especulación. Especular significa procurar provecho o ganancia fuera del tráfico mercantil. Los especuladores desean tomar una posición en el mercado, apostando ya sea a que un precio suba o baje.
- Arbitraje. Es buscar obtener ganancias sin correr ningún riesgo, entrando simultáneamente en transacciones de dos o más mercados.

Los productos derivados internacionales son: las opciones, los futuros, los forwards, los swaps y las combinaciones entre éstos, que se utilizan para fines de cobertura o especulación con los mercados.

El crecimiento de estos mercados se debe principalmente a tres motivos:

- La fluctuación de los precios de materias primas, tasas de interés, tipos de cambio y títulos accionarios se incrementó sustancialmente durante la década de 1980, que fue, uno de los periodos más volátiles de la historia. Durante los últimos años la volatilidad de estas variables ha obligado a los agentes económicos a reducir sus riesgos mediante la participación en los mercados de derivados.

- Los avances tecnológicos en telecomunicaciones y sistemas de información automatizados han permitido la globalización de los mercados financieros. En la actualidad, billones de dólares se mueven de un país a otro en cuestión de segundos, no sólo para obtener los mejores rendimientos de los recursos invertidos, sino para cubrir el riesgo inherente a la inversión de dichos recursos.
- Los hombres de negocios contemporáneos están cada vez más conscientes de que para ser más competitivos y poder integrarse a las nuevas oportunidades de un mercado globalizado e integrado, es necesario medir y administrar sus riesgos, fijando las variables que afectan su flujo de efectivo. De hecho, el nuevo concepto de “hacer negocios” consiste en comprar o vender un producto, fijando por anticipado el precio del mismo (o su margen financiero) en el momento más rentable, para asegurar ganancias esperadas.

Por otra parte, es importante aclarar que la existencia de un mercado de derivados se debe a las siguientes principales razones:

- Cobertura de riesgos (*hedging*). Se refiere a habilidad de una persona física o moral, para minimizar los riesgos inherentes a las fluctuaciones en el precio de títulos de deuda (tasas de interés), tipos de cambio o precios de materias primas (*commodities*), a través del uso de productos derivados.
- Determinación de precios. A través de este mercado, los precios se forman eficientemente y llegan a un equilibrio de acuerdo con las fuerzas de la oferta y la demanda.
- Diseminación de precios. Por medio de las bolsas de futuros o de opciones la comunicación de precios a todos los participantes del mercado es inmediata y, por tanto, se conocen en todo el mundo en sistemas de tiempo real.
- Niveles de apalancamiento. Los productos derivados resultan mucho más baratos que otros instrumentos debido al apalancamiento que tienen

implícito. Es decir, con un monto mucho menor al valor nominal, es posible comprar estos instrumentos.

- Canales de distribución alternos. Especialmente en el caso de los *commodities* (materias primas), el productor puede entregar su producto a los almacenes reconocidos por las bolsas de futuros y que están determinados en el contrato negociado. No obstante esta característica, debe señalarse que sólo el 3% de las transacciones de futuros culminan en la entrega física del producto.

Es prudente señalar que para que un mercado de futuros tenga éxito, es necesario la existencia de un mercado de físicos o de contado (spot) de libre competencia y ordenado, de tal suerte que el comportamiento de los precios en el mercado de contado está vinculado con los precios en un mercado de futuros.

En México, el Mercado Mexicano de Derivados (MEXDER) inició operaciones en diciembre de 1999 y actualmente se cotizan futuros financieros (dólar, Cetes a 91 días, TIIE a 28 días, IPC y acciones individuales). La cámara de compensación se denomina ASIGNA y es la contraparte de todas las operaciones del MEXDER.

Ejemplos de cobertura son:

- Riesgos de tasas de interés: Futuros de TIIE 28, CETES 91, Bonos M3
 - Si necesita cubrirse ante un incremento o decremento en las tasas de interés
 - Si tiene contratado un crédito a tasa flotante y desea fijarlo, o establecer un techo o un piso al nivel de tasas
 - Si desea asegurar un rendimiento específico en una inversión
- Riesgo de portafolios de inversiones: Futuros sobre acciones, canasta de acciones o IPC
 - Si desea cubrir pérdidas potenciales en portafolios accionarios ante movimientos adversos del mercado

- Realizar una compra anticipada de acciones cuando no se poseen flujos hoy
- Otorga la posibilidad de ganar en mercados a la baja y simular ventas en corto
- Mejorar el perfil de rendimiento de un portafolio
- Riesgo de devaluación monetaria: Futuros sobre el dólar americano
 - Si tiene obligaciones o pagos futuros o cobranza en dólares
 - Si realiza la adquisición de equipo ó insumos pagaderos en dólares
 - Si realiza importaciones o exportaciones
- Riesgo inflacionario: Futuros y Opciones sobre UDI's
 - Cobertura de riesgos en portafolios de inversión con instrumentos de tasa real y nominal.

Los derivados han causado mucha ansiedad en años recientes. Dado que las empresas e inversionistas institucionales escudriñan de manera constante los mercados financieros en busca de la mejor relación riesgo-rendimiento, inevitablemente llegarán a estar expuestos a los derivados. En respuesta, las instituciones podrían apartarse completamente de los derivados, lo cual podría ser muy difícil de realizarse dada la penetración de los derivados en los instrumentos financieros. O podrían intentar domar al monstruo de los derivados. (Philippe Jorion, 2010).

De hecho, las grandes pérdidas sufridas por varios participantes de los mercados financieros pueden constituir una poderosa lección para la administración de riesgos. Los derivados han mostrado el camino hacia un mejor control de los riesgos financieros. En este camino está el método de Valor en Riesgo, el cual representa un enorme paso en contra de la toma desenfrenada de riesgos.

1.10 Mercado FOREX

El FOREX es el Mercado Internacional de Monedas (por su siglas en inglés *Foreing Exchange* ó su traducción al español “canje internacional”), es el mercado financiero más líquido dinámico y lucrativo.

La operativa en el Mercado FOREX consiste en la simultánea compra de una moneda y la venta de otra. Las monedas son intercambiadas en pares, por ejemplo, MXP/USD ó USD/EURO.

En una posición larga (*long*), un inversionista compra una moneda a un precio y espera venderla más tarde a un precio mayor, en cambio en un aposición corta (*short*), el inversionista vende una moneda con anticipación a que ésta se deprecie. En cada posición abierta, el inversor está *long* en una moneda y *short* en la otra. Por lo general, los inversores toman en cuenta dos tipos de Análisis: el Fundamental y el Técnico. El primero utiliza como base las noticias macroeconómicas del acontecer mundial, incluyendo condiciones políticas, indicadores económicos, políticas fiscales, inflación, desempleo y tipo de interés. El segundo utiliza gráficos, líneas de tendencia y niveles de soporte y resistencias (entre otros), con el fin de identificar oportunidades de generación de plusvalías.

Hoy en día, el 85% de todas las transacciones en el mercado FOREX incluyen al Dólar USD (USD), al Yen Japonés (JPY), el Euro (EUR), a la Libra Esterlina (GBP), al franco Suiza (CHF), al Dólar Canadiense (CAD) y al Dólar Australiano (AUD). Los principales centros de negociación de monedas en el mundo son: Londres, Nueva York, Tokio, Singapur, Zurich y Hong Kong.

Las operaciones se efectúan a través de plataformas de inversión o telefónicamente (no hay una locación central, a diferencia de las bolsas). Es un verdadero mercado de 24 horas que empieza a diario en Sydney y se mueve alrededor del mundo, a medida que comienza el día, en cada centro financiero mundial: primero Tokio, luego Londres y por último Nueva York.

A diferencia de otros mercados financieros, los inversionistas pueden responder a las fluctuaciones causadas por eventos económicos, sociales y políticos en el mismo momento en que éstos están ocurriendo, día o noche.

Los participantes de este mercado son: Bancos Centrales, Bancos Comerciales y de Inversiones, Fondos de Coberturas, Empresas e Inversionistas individuales.

En la actualidad este mercado financiero se ha puesto al alcance de muchos, ofreciendo la posibilidad de operar en línea (a través de una plataforma de operaciones) o por teléfono, con las condiciones más competitivas.

De estos servicios pueden beneficiarse todos los inversionistas que deseen rentabilizar capitales a partir de 5,000 USD.

Las ventajas que conlleva el operar en monedas, son diversas (más aún si son comparadas con las inversiones en bolsa o con futuros). A continuación se mencionan algunas de ellas:

- Spreads reducidos
- Sin comisiones
- Precios competitivos las 24 horas del día
- Mercado al contado (SPOT)
- Posibilidad de entrar en el Mercado vendiendo

1.11 Tipo de cambio y riesgos cambiarios

El tipo de cambio es el precio de la moneda de un país en términos de la moneda de otro país, por tanto la conversión de monedas permite transferir el poder de compra de una moneda a otra, de un país a otro país. Así, las transacciones internacionales de bienes y servicios son viables sólo en la medida en que exista convertibilidad entre las diferentes monedas de los diferentes países, es decir, que existan mercados libres o al menos relativamente libres de monedas.

La importancia y crecimiento de los mercados de monedas en las últimas décadas ha estado estrechamente relacionado con los procesos de globalización económica y financiera pues en años anteriores, la importancia del mercado de monedas estaba casi totalmente restringida a las operaciones al contado y de contratos adelantados asociados únicamente con las transacciones de importación y exportación. En la actualidad se realizan importantes movimientos de capitales a nivel internacional gracias a los grandes cambios que ha traído consigo la globalización.

La caída del sistema de paridades fijas basadas en el patrón dólar-oro, pactado en el acuerdo de Bretton Woods), propició una mayor presencia del riesgo cambiario y la aparición del régimen cambiario de tipo de cambio flexible; donde el valor de las monedas se determina por las libres fuerzas del mercado con moderadas intervenciones de la Banca Central para mantener el equilibrio.

Debido a la aparición del régimen cambiario flexible, los cambios en las cotizaciones ocurren aleatoriamente, según la importancia de la moneda, lo que involucra riesgos continuos en las transacciones internacionales de corto y largo plazo que deben ser perfectos y correctamente cuantificados y administrados.

Las transacciones reales y financieras han adquirido una importancia mayor para los gobiernos, empresas e inversionistas institucionales como individuales debido al continuo efecto de la globalización económica y financiera que ha acrecentado sorprendentemente en las últimas décadas los niveles de transacciones internacionales de todos los países. Estas transacciones se han convertido en una importantísima red de movimientos internacionales de capitales que fomentan el comercio de las inversiones directas y de cartera, pero que también pueden convertirse en mecanismos que trasmisores de crisis internacionales. De ahí que gran parte de las operaciones comerciales y financieras que se realizan en la actualidad en monedas extranjeras están expuestas en gran medida al riesgo cambiario que en su momento pudo ser factor determinante del éxito o fracaso del desenvolvimiento micro y macroeconómico.

El riesgo cambiario se define como la posibilidad de tener pérdidas debidas a fluctuaciones desfavorables e inesperadas en los tipos de cambio, en algunos casos como suelen ser los de las empresas e instituciones financieras, este tipo de riesgo se traduce en la variabilidad de los valores del activo, pasivos e ingresos en moneda nacional que resultan de variaciones no anticipadas en el tipo de cambio.

Es por ello que es necesario determinar qué tanta es la exposición que se tiene a este riesgo, para, de esta manera, tomar las medidas adecuadas para lograr una cobertura apropiada.

Al evaluar la exposición al riesgo cambiario se pretende saber cuál sería el posible efecto de una variación en los tipos de cambio sobre la situación financiera de la empresa, o sobre el rendimiento de las inversiones.

La exposición al riesgo cambiario puede ser de tres tipos principalmente: exposición por transacción, exposición operativa o económica y exposición por traslación o contable.

La exposición por transacción es la relacionada con el cambio en el valor de los activos, pasivos e ingresos actuales de una empresa o un cambio en el valor de una inversión ante una variación futura o inesperada en los tipos de cambio. Este tipo de exposición al riesgo es el que está mayormente relacionado con operaciones como compra o venta de monedas extranjeras, adquisiciones de deuda o prestamos en moneda extranjera.

La exposición operativa, o exposición económica, se asocia principalmente a las empresas productivas pues valora el cambio en el valor presente de los flujos de efectivo operativos esperados en el futuro. En este caso el efecto se refleja en la medida en que se afecten en el futuro los precios y los costos de la empresa, este tipo de exposición al riesgo también se asocia con la pérdida de ventajas competitivas debido a las variaciones en los tipos de cambio.

La exposición contable, afecta principalmente a las empresas trasnacionales o multinacionales, pues estas requieren expresar los estados financieros de sus filiales en una sola moneda, generalmente la de la casa matriz, a fin de elaborar sus consolidados. Esta operación puede afectar las distintas cuentas afectado el valor del activo, pasivo y patrimonio.

Para poder protegerse contra el tipo de riesgo cambiario se emplean diversos mecanismos de cobertura, según el tipo de exposición. Los mecanismos que se emplean comúnmente para protegerse del riesgo de transacción consisten en transferir el riesgo o adquirir productos derivados como contratos de futuros, forwards y opciones sobre monedas con el objetivo de fijar un precio sobre la moneda que se quiere negociar. En el caso de la cobertura contra el riesgo de exposición operativa en una empresa, es posible reconocer los desequilibrios cuando ocurren, tomar una posición adecuada y recurrir a la diversificación internacional (diversificación de las ventas, instalaciones, materias primas, obtener fondos en más de una moneda o en diferentes mercados, cambiar políticas operativas y financieras, etc.).

El objetivo es desde luego, eliminar, o por lo menos minimizar, esas posibilidades de obtener pérdidas como consecuencia de las variaciones de los tipos de cambio, entonces el riesgo en divisas se puede mitigar con coberturas en forwards, opciones, swaps o forwards sintéticos.

1.12 Crisis Mundiales

A continuación se describe brevemente, crisis importantes que han afectado a la economía internacional desde 1929.

- 1929-1939: La gran depresión

En Octubre de 1929, una devastadora depresión económica azotó a los países desarrollados tras el desplome de la bolsa de valores de Wall Street. La economía de Estados Unidos (EEUU) cayó a su nivel más bajo en 1933, con una producción industrial de tan sólo 65 por ciento, en comparación con su nivel

anterior. Las tasas más altas de desempleo alcanzaron casi un 30 por ciento en Alemania, Australia y Canadá.

- 1973-1975: Crisis del petróleo

Tras el estallido de la guerra del Yom Kippuer en octubre de 1973, los principales países árabes exportadores de petróleo declararon un embargo en los envíos a EEUU, así como otras naciones partidarias de Israel. De igual manera, se unieron a otros proveedores de petróleo para elevar los precios. La Crisis del Petróleo de 1973 desencadenó la peor crisis económica desde la Segunda Guerra Mundial en algunas de las principales naciones industrializadas, provocando un descenso del 14 por ciento en la producción industrial de EEUU y más del 20 por ciento en el caso de Japón.

- Década de 1980: Crisis de la deuda externa de América Latina

En la década de 1960, los países latinoamericanos comenzaron a recibir fuertes empréstitos (obligaciones ó préstamos) para desarrollar sus industrias nacionales. A inicios de la década de 1980, la deuda externa excedió a los 300,000 millones de dólares estadounidenses. Poco después, en 1982, México se declaró incapaz de pagar la deuda, provocando una agitación mundial con la crisis de la deuda externa, durante la cual el producto interno bruto (PIB) per capita decayó un 10 por ciento en los países de América Latina.

- Década de 1990: Colapso de la burbuja de activos japoneses

Los precios de los bienes raíces y el mercado de valores sufrieron un desplome catastrófico en 1990, después de años de inflación. En la década siguiente, Japón sufrió una deflación crónica y una recesión económica debido a la devaluación de sus activos. La economía nacional entró en una fase de crecimiento cero en la mitad de la década de los años noventa.

- 1997-1998: Crisis financiera asiática

El aumento de valor del dólar estadounidense provocó que las exportaciones de varios países asiáticos, cuyas monedas se encontraban atadas al dólar, se hicieran menos competitivas. En julio de 1997, surgió una devaluación expandida tras la decisión de Tailandia de fluctuar su moneda, el baht, dando inicio a la crisis financiera asiática, de la cual Indonesia, Tailandia y Corea del Sur fueron los más afectados con una contracción durante la crisis del 83.4; 40.4 y 34.2 por ciento, respectivamente.

- 2004-2008: Crisis de las hipotecas “sub-prime”

La crisis de los créditos de alto riesgo se desató en estados Unidos durante el verano de 2007. Sus orígenes están en las hipotecas hechas a los prestatarios con menor capacidad para pagar los préstamos. El resultado fue el cierre de muchas compañías que invirtieron fuertes sumas en productos relacionado con la hipotecas sub-prime y la reducción de créditos alrededor del mundo.

Todo comenzó cuando en 2004 la Reserva federal de E.U. comenzó a subir las tasas de interés como medida para frenar la inflación por lo que obtener créditos ya no fue tan fácil, así que la demanda de viviendas cayó y así mismo con los precios.

En 2006 los embargos por la falta de pago de las deudas hipotecarias llevaron a la quiebra económica a muchas entidades hipotecarias. Aunado a esto, la crisis inmobiliaria se transfirió a la bolsa de valores.

En Julio de 2007 de Lehman Brothers y la adquisición de Merrill Lynch, en Septiembre de 2008, marcaron el inicio de la crisis financiera global, la cual ha provocado la desaceleración del crecimiento económico mundial, una contracción en el comercio internacional y el aumento en el desempleo en el sector de la mano de obra. Fuertes recesiones emergieron en Japón y otros países.

- 2008-2010: crisis de países desarrollados. Efecto Jazz

Esta crisis fue originada en los Estados Unidos, entre los principales factores causantes de la crisis están los altos precios de las materias primas, la sobrevalorización de los productos, una crisis alimentaria mundial y energética, una elevada inflación y la amenaza de una recesión en todo el mundo, así como una crisis crediticia, hipotecaria y de confianza en los mercados.

Por otra parte, la presidenta de Argentina Cristina Fernández de Kirchner en su primer discurso de la 63 Asamblea General de la ONU denominó a dicha crisis como *Efecto Jazz*, dado que el origen de la crisis fue el centro de Estados Unidos y se expandió hacia el resto del mundo y ha afectado fundamentalmente a los países más ricos, en clara contraposición a crisis anteriores que se originaban en países emergentes y se expandían hacia el centro como fueron el Efecto Tequila, Efecto Caipirinha y el Efecto Arroz.

A grandes rasgos, se puede decir que esta crisis se expandió rápidamente por diversos países europeos, y algunos sufrieron graves efectos. Dinamarca entró en recesión (seis meses consecutivos de crecimiento económico negativo) en el primer trimestre de 2008. En el segundo trimestre de 2008, el conjunto de la economía de la eurozona se contrajo en un -0.2%, encabezada por los retrocesos en Francia (-0.3%) y Alemania (-0.5%). Otras economías importantes, como la española, evitaron la contracción (0.1%) pero sólo crecieron muy débilmente en el mismo periodo, con fuertes incrementos en el desempleo.

No obstante, estos efectos también se extendieron rápidamente por los países desarrollados de todo el mundo. Japón, por ejemplo, sufrió una contracción del -0.6% en el segundo trimestre de 2008. Australia y Nueva Zelanda también sufrieron contracciones.

Cabe destacar que ha comenzado a generarse una mayor preocupación por el futuro de los países con economías emergentes, tal como lo es China e India en Asia; Argentina, Brasil y México en América y Sudáfrica en el continente africano, cada uno de ellos líderes en sus regiones y, también afectados por la actual crisis económica.

Aunado a lo anterior, en octubre de 2010 empezaron a surgir señales claras de una posible guerra de monedas (dólar, euro, yen y yuan) ya que los países rebajaron la cotización de sus monedas en busca de ventajas competitivas para facilitar la exportación y de esta manera salir de la crisis. Cabe aclarar que esta medida llevaría a una especie de guerra de monedas y un círculo de rebajas que acentuaría el enfrentamiento comercial llegando a una guerra comercial que retrasaría la recuperación.

1.13 Riesgo Financiero

El riesgo total de un activo financiero consta de dos partes:

- a) La parte del riesgo que depende del mercado. Este tipo de riesgo es denominado como riesgo de mercado, riesgo sistemático o riesgo no diversificable.
- b) La parte del riesgo que no depende del mercado. A esta otra parte del riesgo se le denomina no relacionado con el mercado, riesgo no sistemático o riesgo diversificable.

En general, existen cuatro tipos de riesgos financieros: el riesgo de tasa de interés, el riesgo cambiario, el riesgo accionario y el riesgo de productos físicos. Las herramientas analíticas básicas se aplican todos estos mercados. El riesgo se mide por la desviación estándar de los flujos no esperados o sigma σ , también se llama *volatilidad*.

Las pérdidas pueden ocurrir a través de la combinación de dos factores: la volatilidad en la variable financiera subyacente y la exposición (posición abierta) que se tenga sobre esta fuente de riesgo. Si bien las empresas no tienen control sobre la volatilidad de las variables financieras, pueden ajustar su exposición a estos riesgos; por ejemplo, a través de los derivados. El valor en riesgo captura el efecto combinado de la volatilidad de la variable subyacente y la exposición o posición abierta.

Las mediciones de la exposición lineal a los movimientos en las variables subyacente de riesgo aparente en todas partes bajo diferentes facetas. En el mercado de renta fija, la exposición a los movimientos de las tasas de interés se conoce como *duración*. En el mercado de derivados, la exposición de los movimientos en el del activo subyacente se conoce como *delta* (δ). Las segundas derivadas o mediciones de segundo orden se conocen como *convexidad* y *gamma* (γ) en los mercados de renta fija de derivados, respectivamente. La convexidad mide el cambio en la duración ante cambios en la tasa de interés; de igual forma, gamma mide el cambio en delta ante cambios del precio del subyacente. Ambos términos miden la exposición de segundo orden o cuadrática a la variable financiera.

1.14 Medición del Riesgo Financiero

Para entender los modelos que miden el riesgo, es necesario conocer algunos aspectos de matemáticas y estadística.

Los precios de las acciones en los mercados organizados se comportan de acuerdo a una caminata aleatoria, es decir, que el precio de una acción al día de hoy es independiente de los precios observados en días anteriores y que, por tanto, los mercados no tienen memoria y no son predecibles. Ésta es la base para considerar que el supuesto de normalidad en los rendimientos de los precios de los instrumentos financieros es un supuesto razonable, aunque la curva normal en el mundo real, no siempre es perfecta.

1.14.1 Distribución de Frecuencias

Una distribución de frecuencias muestra la manera como los rendimientos de algún activo o portafolios de activos se han comportado en el pasado. Esta distribución se grafica en un histograma de frecuencias.

Los pasos para construir una distribución de frecuencias son:

- Determinar las observaciones de mínimo y máximo en la serie de tiempo elegido

- Elegir un número de sub-intervalos de igual magnitud que cubran desde el mínimo hasta el máximo valor. Éstos son rangos o clases.
- Contar el número de observaciones que pertenecen a cada rango o intervalo. Ésta es la frecuencia por clase.
- Determinar la frecuencia relativa mediante la división entre la frecuencia por clase y el número de observaciones que pertenecen a cada clase.

1.14.2 Distribución normal o de campana

Los instrumentos financieros presentan por lo general una distribución de probabilidad normal, la cual está definida por una curva simétrica en forma de campana.

La distribución normal tiene un papel importante en la medición de riesgos en finanzas. Los parámetros más importantes que la definen son la media y la desviación estándar, siendo la notación más conocida como $N(\mu, \sigma)$.

Otros indicadores importantes que definen a la distribución normal son el sesgo y la kurtosis. El sesgo debe ser cero, lo que significa simetría de la curva perfecta y la kurtosis de tres por que en tres desviaciones estándar se cuenta con el 99.7% de las observaciones.

En estadística es posible demostrar que si consideramos una muestra de tamaño n perteneciente a una población que se distribuye normalmente, con media μ y desviación estándar σ , dicha muestra tendrá una distribución normal de media \bar{x} y desviación estándar σ/\sqrt{n} . El teorema de límite central establece que aun cuando la muestra de tamaño n es suficiente grande, la distribución de la muestra es aproximadamente normal, sin importar la distribución de la población. En este sentido la distribución normal juega un papel importante en el desarrollo de las finanzas y procedimientos para la administración de riesgos.

La distribución normal de probabilidad de una variable aleatoria continua se puede representar como un histograma de frecuencias de una forma suavizada y basada en un número grande de observaciones.

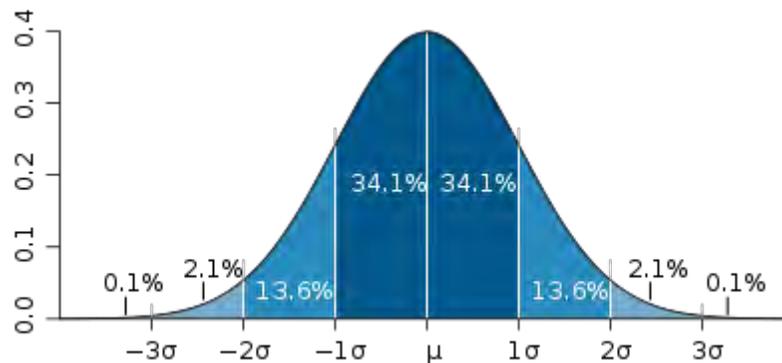
La ecuación de la distribución normal es:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

$$\sigma > 0, \quad -\infty < \mu < \infty, \quad -\infty < x < \infty$$

La manera como se representa gráficamente la distribución normal es:

Grafica 1. Distribución Normal



Algunas de las propiedades de la distribución normal se enlistan a continuación:

- Media μ
- Varianza σ^2
- Desviación típica σ
- Coeficiente de sesgo $\alpha_3 = 0$
- Coeficiente de kurtosis $\alpha_4 = 3$

La función de densidad normal contiene dos parámetros básicos: μ y σ el primero es la media y el segundo la desviación estándar de la distribución correspondiente, por esto se localiza en el centro de la distribución y se determina el grado de dispersión.

La curva normal está centrada alrededor de la media, la cual se representa por μ . La variación o dispersión alrededor de la media se expresa en unidades de

la desviación estándar, representada por σ . En un portafolio, la media es simplemente su rendimiento promedio y la desviación estándar se le define como volatilidad.

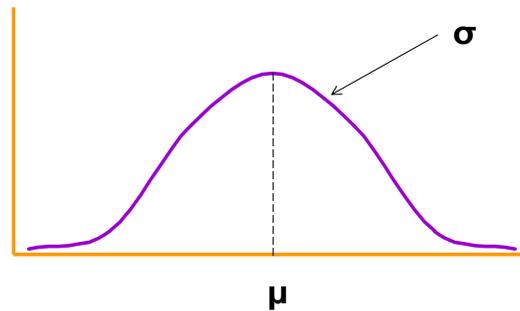
Las expresiones para su cálculo son las siguientes:

$$\mu = \sum_{i=1}^n R_i / n \qquad \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \mu)^2 / n - 1}$$

$$\mu = \sum_{i=1}^n P_i R_i / n \qquad \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n P_i (R_i - \mu)^2}$$

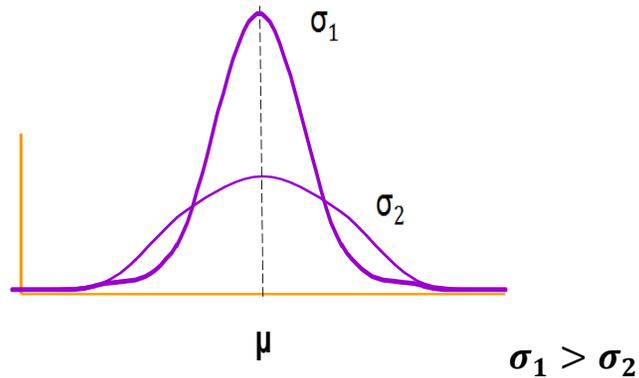
donde P_i es la probabilidad de ocurrencia

Gráfica 2. Probabilidad de ocurrencia



A continuación se muestra una gráfica de dos distribuciones de probabilidad normal que tienen la misma media pero diferente dispersión:

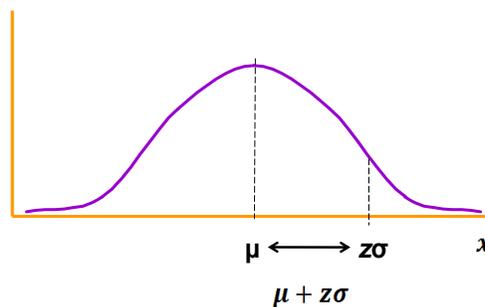
Gráfica 3. Dos distribuciones de probabilidad normal diferente con dispersión



En esta gráfica se observa que la distribución de probabilidad 2 tiene mayor dispersión que la distribución 1 y, por tanto tiene mayor riesgo.

Cabe señalar que la función de densidad normal es simétrica con respecto a la media μ , y, por tanto, sólo se necesita tabular las áreas de un lado de la media. Las áreas tabuladas son áreas a la derecha o a la izquierda de valores de z , en donde z es la distancia de un valor x respecto de la media, expresada en unidades de desviación estándar.

Gráfica 4. Función de Densidad Normal



Si lo anterior es cierto, entonces debe quedar claro que:

$$x = \mu + z\sigma$$

y por tanto:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Si la variable aleatoria x es el rendimiento de algún factor de riesgo (precios de acciones, tasas de interés o tipo de cambio), entonces siempre será posible transformar dicha variable aleatoria normal en z mediante la expresión anterior.

Si z localiza un punto medido a partir de la media de una variable aleatoria normal con la distancia expresada en unidades de la desviación estándar de la variable aleatoria normal original, el valor medido de z tiene que ser 0 y su desviación estándar igual a 1. A z se le conoce como la variable aleatoria normal estándar y tiene una distribución normal $N(\mu, \sigma)$.

1.14.3 El Sesgo y la Kurtosis

Adicionalmente a la media y a la desviación estándar, la curva de la distribución normal tiene dos características: el sesgo y la kurtosis, a los cuales se les conoce también como el tercer y cuarto momentos, respectivamente.

El sesgo es un indicador que mide la simetría de la curva. En el caso de una curva normal perfecta, el sesgo será igual a cero. Si éste es distinto de cero, estará sesgada hacia la izquierda o hacia la derecha, según el signo del sesgo.

La kurtosis es el indicador que mide el nivel de levantamiento de la curva respecto a la horizontal. Esta situación se presenta cuando existen pocas observaciones muy alejadas de la media. A este fenómeno de alta kurtosis también se le conoce como *fat tails*. La kurtosis de una distribución normal perfecta es igual a 3.

La expresión matemática para calcular el Sesgo es:

$$sesgo = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{(n - 1)\sigma^{3/2}}$$

La expresión matemática para calcular la Kurtosis es:

$$kurtosis = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{\sigma^4}$$

Para saber si una distribución de frecuencias se comporta de acuerdo con una distribución normal, existen varias pruebas. La más sencilla es la de Jarque-Bera, que consiste en lo siguiente:

Se calcula el estadístico de prueba dado por:

$$LM = N \left[\frac{sesgo^2}{6} + \frac{(kurtosis - 3)^2}{24} \right]$$

Donde LM es un estadístico de prueba y se distribuye de acuerdo con una curva ji-cuadrada con dos grados de libertad, por lo que es necesario realizar una prueba de hipótesis en la cual la hipótesis de interés (hipótesis nula) consiste en que la curva es normal con un nivel de confianza 95% (por ejemplo) y la hipótesis alternativa consiste en que no pasa dicha prueba, es decir, no es normal.

Por otra parte, la media y la desviación estándar de un periodo pueden ser transformadas a otro periodo. Por ejemplo, si tenemos la media y la volatilidad diaria, es posible determinar los parámetros anuales mediante las siguientes expresiones:

$$\mu_{anual} = \mu_{diaria} t$$

$$\sigma_{anual} = \sigma_{diaria} \sqrt{t}$$

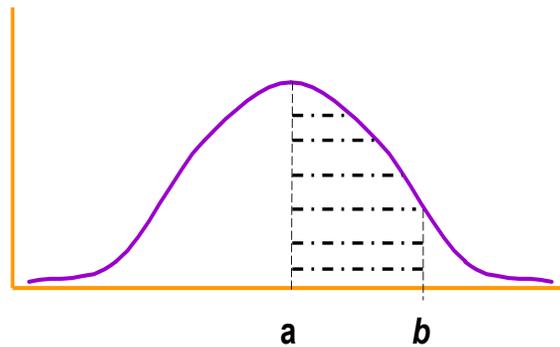
Los ajuste en la volatilidad a diferentes horizontes de tiempo deben realizarse con la raíz cuadrada del periodo, y por tanto, la volatilidad es una función del tiempo expresada de manera no lineal.

1.14.4 Intervalos de Confianza

El área bajo la curva representa la probabilidad de un intervalo específico.

$$Probabilidad = \int_a^b f(x) dx$$

Gráfica 5. Intervalos de Confianza

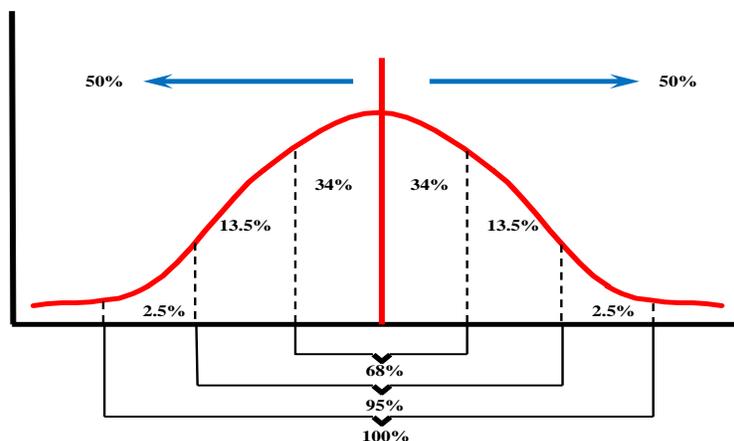


La función de densidad de probabilidad describe la distribución de probabilidad para una variable aleatoria continua y sus propiedades son:

- El área total bajo la distribución de densidad es 1
- La probabilidad entre a y b es el área bajo la curva entre a y b
- La función de probabilidad es siempre positiva o cero

Para una distribución normal, las probabilidades para ciertos rendimientos alrededor de la media son conocidas. El área dentro de una desviación estándar de la media cubre aproximadamente 68% de los rendimientos posibles. Dos desviaciones estándar de la media cubren aproximadamente 95% de los rendimientos posibles y tres desviaciones estándar cubren aproximadamente 99.7% de la media.

Gráfica 6. Desviaciones Estándar



En seguida se explican las fórmulas mínimas para administrar los riesgos de las instituciones o empresas.

1.14.5 Correlación

La correlación se encuentra entre -1 y +1, el signo positivo significa que las dos variables se mueven en la misma dirección, mientras más cercano a la unidad mayor es el grado de dependencia mutua.

El signo negativo indica que las dos variables se mueven en sentidos opuestos, asimismo, mientras más cercano a cero sea el coeficiente de correlación, mayor será el grado de independencia de las variables.

Para estimar la correlación entre los rendimientos de las variables R_x y R_y , se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{\sum_{t=1}^n R_{x,t} R_{y,t}}{\sqrt{\sum_{t=1}^n R_{x,t}^2 \sum_{t=1}^n R_{y,t}^2}}$$

Donde ρ = coeficiente de correlación

De acuerdo con este modelo la correlación es un parámetro, por lo que no varía durante el periodo muestral, lo que se contrapone con la evidencia de que la correlación varía a través del tiempo.

1.14.6 Volatilidad

Sin lugar a dudas, el análisis de la volatilidad y el diseño de modelos para su pronóstico es una de las ramas de las finanzas más exploradas en los años recientes. La volatilidad es la variable más importante para determinar el Valor en Riesgo de un portafolio de activos.

La volatilidad es la desviación estándar (o raíz cuadrada de la varianza) de los rendimientos de un activo o un portafolios. Es un indicador fundamental para la cuantificación de los riesgos de mercado, debido a que representa una medida de

dispersión de los rendimientos con respecto al promedio o la media de los mismos en un periodo determinado.

La mayor parte de los rendimientos se sitúan alrededor de un punto (generalmente el promedio de los rendimientos) y poco a poco se van dispersando, hacia las colas de la curva de la distribución normal. Esa es la medida de volatilidad.

La volatilidad muestra las siguientes características:

- Varía a lo largo del tiempo y sigue un comportamiento similar a los rendimientos diarios
- Volatilidades elevadas persisten por periodos prolongados antes de disminuir sus niveles de largo plazo (propiedad “clustering”)
- La volatilidad varía más que proporcionalmente cuando los rendimientos aumentan que cuando los rendimientos disminuyen. Esta característica se conoce como “efecto de apalancamiento”

No obstante que la volatilidad varía a través del tiempo, bajo algunos supuestos se puede pronosticar. Esta es la característica más importante en el proceso de estimación del VaR. Pronósticos de volatilidad confiables permitirán alcanzar estimaciones del VaR de alta calidad.

El modelo más sencillo para estimar la volatilidad utiliza la fórmula de la varianza muestral de los rendimientos. De acuerdo con este modelo la volatilidad es un parámetro que se estima como sigue y la estimación de la varianza supone que la media es cero:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{t=1}^n R_t^2}{n - 1}$$

Donde:

$\hat{\sigma}^2$ = Varianza de los rendimientos (R)

n = Número de observaciones

El cuadro 8 muestra modelos para estimar la volatilidad con sus principales características y el pronóstico:

Cuadro 8. Modelos de Pronóstico de Volatilidad

Cuadro. Modelos de Volatilidad		
Modelo	Características	Pronósticos
Paramétrico	Volatilidad es un parámetro. No considera que cambia en el tiempo.	Igual al dato estimado de toda la muestra.
Volatilidad histórica	Volatilidad es un proceso. Las ponderaciones que da a la información pasada son fijas.	Igual al dato estimado. No explota de forma óptima el efecto "clustering" debido a que las ponderaciones son fijas.
ARMA (Regresión)	Volatilidad es un proceso. Las ponderaciones se estiman mediante métodos estadísticos pero las ponderaciones pueden ser erráticas por problemas muestrales. Este modelo es una generalización del de volatilidad histórica.	Permite estimar la estructura intertemporal de la volatilidad. Tiende a un nivel de equilibrio de largo plazo (volatilidad paramétrica). Los estimadores pueden ser estadísticamente inconsistentes. Optimiza el efecto "clustering".
GARCH	Volatilidad es un proceso estocástico. Permite modelar diferentes características de las distribuciones de los rendimientos. Las ponderaciones convergen a cero de forma suavizada. Requieren mayor trabajo estadístico.	Permite estimar la estructura intertemporal de la volatilidad. Tiende a un nivel de equilibrio a largo plazo (volatilidad paramétrica). Los estimadores son consistentes desde el punto de vista estadístico.
Ponderados exponencialmente	Volatilidad es un proceso. Bajo ciertas condiciones es un caso particular de un modelo GARCH. El factor de ponderación no se actualiza de forma estadística. Es de fácil cálculo.	No permite estimar la estructura intertemporal de la volatilidad. El pronóstico es igual al último valor. La volatilidad no converge a su nivel de equilibrio de largo plazo.
Caminata Aleatoria	Se basa en el supuesto de los mercados eficientes.	Igual al dato del día anterior. El mejor pronóstico para mañana es el dato observado hoy.
Modelos de volatilidad estocástica	A diferencia de los modelos Garch, la varianza condicional por si misma es un proceso estocástico.	Permite estimar la curva de volatilidades. Sin embargo, requiere métodos complejos de estimación.

Fuente: Carlos Sánchez Cerón, 2001

1.15 Funciones comunes para medir riesgo

1.15.1 Beta

El término Beta fue adoptado por los investigadores que desarrollaron el Método de fijación de precios para activos de capital (CAPM, por sus iniciales en inglés: Capital Assets Pricing Model) y de este método se deriva el término Beta.

Beta mide la relación existente entre el riesgo o rendimiento del activo financiero y del mercado en el cual se desarrollo. Esta relación se determina por estadística y regresión lineal de los rendimientos o riesgos de ambos.

La expresión matemática es como sigue:

$$\beta = \frac{\text{covarianza}(r_i, r_m)}{\delta_m^2}$$

Determinada por la covarianza del activo financiero con respecto al mercado, dividido entre la desviación estándar del mercado. Visto de manera más sencilla, puede decirse que beta es:

$$\beta = \frac{n \sum (r_i, r_m) - \sum (r_i, r_m)}{n \sum r_m^2 - (\sum r_m)^2}$$

r_1 = es el rendimiento del activo financiero

r_m = es el rendimiento del mercado

n = es el número de observaciones que se han tomado

La beta da la volatilidad del activo financiero con respecto al promedio del mercado.

Entonces para leer betas se tiene la siguiente guía:

Cuadro 9. Interpretación de Resultados de la Beta

Cuadro Interpretación de Resultados de la Beta	
Beta = -2.0	el activo financiero responde al doble del mercado, pero en sentido contrario
Beta = -1.0	el activo financiero se comporta exactamente igual al mercado, pero en sentido contrario
Beta = 0	el rendimiento del activo financiero es independiente al mercado
Beta = 0.5	el activo financiero responde a la mitad del mercado
Beta = 1.0	el activo financiero se comporta exactamente igual al mercado
Beta = 2.0	el activo financiero responde al doble del mercado
Fuente: Elaboración propia en base a González, 2009	

1.15.2 Varianza y Desviación Estándar

Tradicionalmente, las herramientas más comunes para medir el riesgo son la varianza y la desviación estándar. La desviación estándar es una medida “estándar” de la dispersión de los datos con respecto a la media si la variable aleatoria en cuestión sigue una distribución Normal. Aunque la desviación estándar ha sido usada para medir las desviaciones de la media de otras distribuciones además de la Normal, no es una buena medida de riesgo para distribuciones demasiado sesgadas.

La varianza y la desviación estándar son las medidas de riesgo más ampliamente usadas. Una crítica acerca de las medidas de riesgo que se basan en la varianza y la desviación estándar es que no preservan la primera dominancia estocástica.

Ambas medidas han sido utilizadas ampliamente como medidas de riesgo en la literatura financiera y económica en el contexto de análisis de media-varianza. Los trabajos de Markowitz han ayudado a solidificar su uso como medidas de riesgo. Sin embargo, su uso como medida de riesgo ha sido criticado por otros autores por su falta de generalidad, es decir, es aplicable únicamente en aquellos casos donde se supone una distribución Normal o una función de utilidad

cuadrática. El mismo Markowitz critica la varianza en el sentido de que considera igualmente indeseables tanto a los altos rendimientos en los instrumentos de inversión como a los bajos.

Francisco Venegas afirma que la varianza no es una medida de riesgo coherente, porque la varianza no satisface la propiedad de homogeneidad positiva ya que en ésta las constantes salen al cuadrado, ni es invariante bajo traslaciones pues la varianza de una variable más una constante es igual a la varianza de la variable. Además la varianza no detecta efectos de colas pesadas.

La desviación estándar de un activo financiero, evaluando el riesgo del mismo, está determinada por la probabilidad de ocurrencia de los probables rendimientos o flujos de efectivo de dicho activo financiero, y el valor esperado de acuerdo con la probabilidad de dicho activo financiero.

Para esto se necesita determinar primero el valor esperado del activo financiero con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon(x) = \sum x_i, p_i$$

X_i = es la utilidad o flujo de una probabilidad dada o evento probable

P_i = la probabilidad de ese evento

Y una vez determinado ese valor esperado, entonces sí, determinar la desviación estándar por medio de la siguiente fórmula:

$$\delta = \sqrt{\sum [x_i - \varepsilon(x)]^2 p_i}$$

1.15.3 Coeficiente de Variación

Es el cociente de la desviación estándar y la esperanza.

Se define el coeficiente de variación como:

$$cv(x) = \frac{\sigma(x)}{\mu(x)}$$

$x = \text{variable aleatoria}$

$\mu = \text{media}$

$\sigma = \text{desviación estándar}$

Este cociente ha sido llamado frecuentemente como la medida de riesgo relativo. Sin embargo, frecuentemente es difícil esbozar conclusiones confiables si se basan únicamente en esta estadística. Esta medida de riesgo tiene la muy atractiva característica de ser adimensional, sin embargo, no cumple con la propiedad de consistencia.

1.15.4 Desviación Absoluta

Esta medida es similar a la varianza y la desviación estándar en cuanto que considera igualmente desfavorables a los eventos que sobrepasen a la media como a aquellos que no la alcanzan. Su ventaja es que no acentúa grandes desviaciones sobre pequeñas.

La Desviación Absoluta DA de un riesgo X está dada por:

$$DA = E|X - E[X]|$$

1.15.5 Cuantiles

Los cuantiles han sido usados como indicadores de riesgo cuando el contexto de la medición involucra el hecho que la variable aleatoria rebase un monto límite, correspondiente a un cierto nivel de probabilidad.

Los cuantiles satisfacen la propiedad de linealidad multiplicativa, pero no satisfacen la propiedad de subaditividad, a menos que las variables aleatorias en cuestión sigan una distribución Normal.

Dada $\alpha \in [0,1]$, el número q es un α - cuantil de la variable aleatoria X con función de distribución F_x , si una de las siguientes condiciones equivalentes se cumplen:

1. $P[X \leq q] \geq \alpha \geq P[X < q]$,

2. $P[X \leq q] \geq \alpha$ y $P[X \geq q] \geq 1 - \alpha$,
3. $F_x(q) \geq \alpha$ y $F_x(q-) \leq \alpha$, con $F_x(q-) = \lim_{x \rightarrow q, x < q} F_x(x)$

1.15.6 Duración

La duración es un indicador de sensibilidad, expresada en unidades de tiempo, que mide como cambia el precio de un bono ante un cambio de un punto porcentual en las tasas de interés. Cabe mencionar que la duración es un indicador de sensibilidad, y no de riesgo, ya que no permite estimar las pérdidas de un portafolio dado un nivel de confianza.

En términos algebraicos la duración de Macauley es:

$$-D = \frac{\sum_T T F_T (1 + r_T)^{-(T+1)}}{P}$$

1.15.7 Convexidad

La convexidad se define como la diferencia entre el precio del bono estimado con la fórmula analítica y el precio del bono con la fórmula de duración.

En términos algebraicos la convexidad se calcula como la segunda derivada de la función del precio del bono con respecto de la tasas de interés.

$$Conv_m = \frac{\partial^2 P}{\partial r^2} \frac{1}{P} = \frac{1}{(1+r)^2} * \left[\frac{\sum_{T=1}^n \frac{T(T+1)F_T}{(1+r)^T} + \frac{n(n+1)VN}{(1+r)^n}}{P} \right]$$

La expresión entre corchetes es igual a la convexidad de Macauley, que al multiplicarse por el factor $\frac{1}{(1+r)^2}$ equivale a la convexidad modificada ($Conv_m$), expresada en unidad de tiempo.

Capítulo 2. Valor en Riesgo

Resumen Capitular:

En este capítulo se define la medida Valor en Riesgo ó VaR (por sus siglas en inglés *Value at Risk*), se describen los principales elementos de la metodología del VaR y se destacan las razones de por qué el desarrollo, la aceptación y difusión del VaR como el modelo para estimar el riesgo financiero.

También se describen diferentes métodos o modelos estadísticos del VaR, así como sus características más importantes. Cabe mencionar que para abordar los métodos del VaR se clasifican en dos grandes grupos: paramétricos y no paramétricos, ésta clasificación está en función de los supuestos realizados y alcance deseado. Entre los métodos presentados en ésta investigación están: Simulación Monte Carlo, Simulación Histórica Tradicional, Híbrida y ajustada por Volatilidad.

Por último se presentan las limitaciones de las medidas del VaR, así como la importancia de la interpretación del Valor en Riesgo.

2.1 Definición del Valor en Riesgo

El Valor en Riesgo (VaR) de un activo o de una cartera es la peor pérdida esperada durante un período de tiempo definido con un nivel de confianza determinado. El VaR depende de dos parámetros principales: el nivel de confianza determinado y el horizonte temporal para el cual se desea obtener la medición.

El VaR es una medida de riesgo de mercado que resume, en un solo número, la exposición de un instrumento o cartera a los posibles cambios en los factores de riesgo que afectan su valor. Es importante señalar que esta medida supone un comportamiento regular de las condiciones de los mercados financieros y que esta condición prevalecerá durante el horizonte de medición definido.

El Valor en Riesgo es un método para cuantificar la exposición al riesgo de mercado, utilizando técnicas estadísticas tradicionales. El valor en Riesgo, VaR,

por sus siglas en inglés, mide la pérdida máxima que se podría sufrir en condiciones normales de mercado en un intervalo de tiempo con un cierto nivel de probabilidad.

Una manera de expresar la definición del Valor en Riesgo, es a través de la siguiente ecuación:

$$P[X_t \leq VaR_0] = \alpha$$

Donde,

X_t = la variable de pérdida para el horizonte de tiempo t

σ = la desviación estándar de los rendimientos del activo o de la variable de pérdida.

t = el horizonte de tiempo en que se desea calcular el VaR.

El riesgo del capital, y concretamente el VaR, se define como la pérdida máxima que una institución financiera o inversionista podría observar –por una determinada posición o cartera de inversión, la cual se supone que no cambia durante el periodo de inversión- en el caso de presentarse un cambio en los factores de riesgo, durante un horizonte de inversión definido y con un nivel de probabilidad determinado.

Factores de riesgo son las variables financieras que determinan el precio de un activo financiero.

Cuadro 10. Factores de Riesgo

Cuadro Ejemplos de factores de riesgo	
Activo Financiero	Factor de Riesgo
Acciones	precio de la acción
Cetes	tasa de interés
Opción	precio del subyacente, volatilidad, tasas de interés
Crédito	tasa de incumplimiento

Fuente: elaboración propia en base apuntes materia Administración de Riesgos

En términos algebraicos el VaR se define como:

$$Prob(x_T < VaR) = Z$$

x = variable aleatoria que representa las pérdidas o ganancias en alguna fecha futura

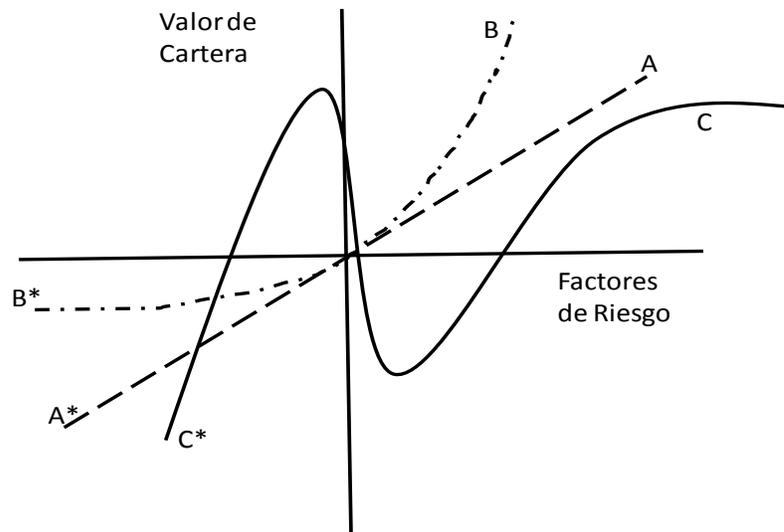
T, Z = probabilidad porcentual

Por lo anterior el VaR involucra los siguientes elementos:

- Grado de sensibilidad del valor de la cartera de inversión ante cambios en los factores de riesgo.

La relación entre el cambio en los factores de riesgo y el cambio en el valor del portafolio puede tomar diferentes formas, y estas pueden ser: relación lineal (A*-A), relación convexa (B*-B) o relación irregular (C*-C), según se muestra en la siguiente gráfica:

Grafica 7. Relación cambio factores de riesgo y cambio en el valor del
portafolio



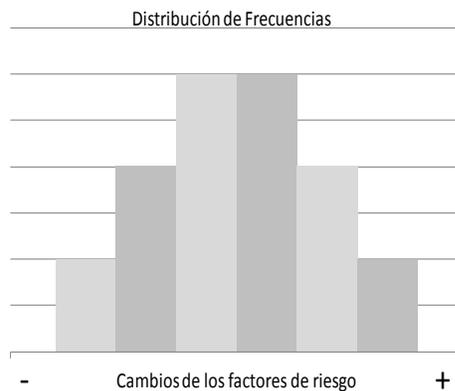
Fuente: Elaboración propia en base apuntes materia Administración de Portafolios

- Forma de la distribución de probabilidad del cambio en los factores de riesgo.

Factor de riesgo es un parámetro cuyos cambios en los mercados financieros causarán un cambio en el valor presente neto del portafolio o en el valor de los activos financieros que lo conforman.

La mayoría de los modelos que se utilizan para estimar el riesgo del capital suponen que las distribuciones son normales o lognormales, es decir, con forma de campana, ya que con sólo dos parámetros –media y desviación estándar- es posible replicar la información contenida en toda la distribución. Sin embargo, este supuesto contrasta significativamente con las distribuciones de los cambios en los factores de riesgo de los instrumentos que se negocian en el mercado.

Gráfica 8. Distribución de Frecuencias



- Horizonte de inversión.

Es necesario determinar el periodo en el que se supone que se mantendrá la posición de riesgo. Existe una relación directa entre el horizonte de inversión y el VaR (a más tiempo, mayor será el riesgo).

Se deben tener en cuenta los siguientes factores para determinar el horizonte de inversión:

 - Liquidez y tamaño de la posición
 - Propósito de la posición de riesgo
 - El tamaño de los mercados
 - Condiciones de los mercados
 - Supuestos del modelo

El Comité de Basilea (1996) definió un horizonte de inversión de dos semanas (10 días hábiles).
- Nivel de confianza.

Implica determinar, de un número de resultados probables de pérdidas o ganancias, en cuántos de ellos un intermediario requiere que la estimación de las pérdidas máximas (VaR) sea inferior a las que realmente podrían observarse. Por ejemplo en un nivel de confianza de 95%, significa que se estará dispuesto a aceptar que en sólo cinco ocasiones de cada cien casos las pérdidas observadas serán superiores a las máximas estimadas.

Cabe mencionar que en la estimación interna del VaR, la mayoría de las instituciones financieras considera un nivel de confianza de 97.5%; otras instituciones, como J.P. Morgan considera un nivel de confianza de 95%, el Comité de Basilea estableció un nivel de confianza de 99%.

Se deben tener en cuenta los siguientes factores para determinar el nivel de confianza:

- Apetito de riesgo de los accionistas
- Calidad de los modelos internos de valor en riesgo
- Composición de las carteras de inversión de crédito

Una vez que se definen los cuatro puntos descritos, la estimación del VaR es directa, en donde bajo el supuesto de normalidad y de media de rendimientos igual a cero, el modelo paramétrico que determina el valor en riesgo de una posición es el siguiente:

$$VaR = F \times S \times \sigma \times \sqrt{t}$$

Donde:

F = factor que determina el nivel de confianza del cálculo. Para un nivel de confianza de 95%, F=1.65 y para un nivel de confianza de 99%, F=2.33

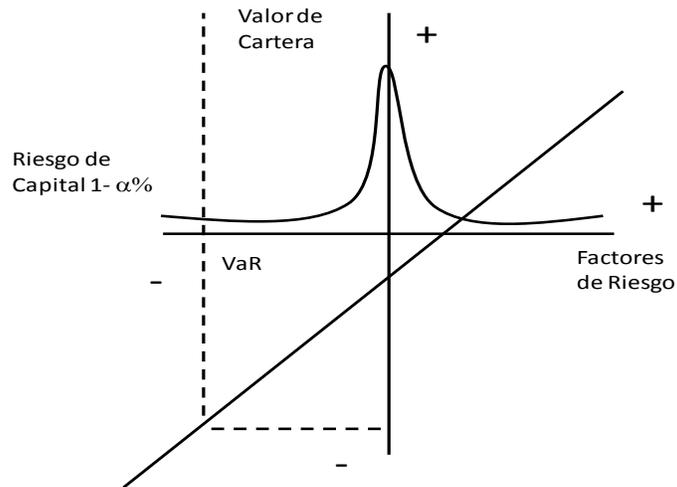
S = el monto total de la inversión o la exposición total en riesgo

σ = desviación estándar de los rendimientos del activo

t = horizonte de tiempo en que se desea calcular el VaR

En la Gráfica 9, el VaR estimado correspondería al punto donde se interceptan la línea vertical punteada y el área de la distribución:

Gráfica 9. Valor en Riesgo Estimado



2.2 Ventajas y desventajas del Valor en Riesgo

Ventajas

Las ventajas que destacan de la metodología del VaR son:

- Puede utilizarse para validar el sistema de gestión de riesgos.
- Incorpora los efectos de la diversificación de las carteras.
- En la evaluación de desempeño permite cuantificar la relación riesgo-rendimiento.
- Puede ser utilizado para producir una estimación de la cantidad necesaria de fondos propios para cubrir el riesgo de mercado de las actividades de negociación desarrolladas para las entidades financieras.
- En el ámbito interno de una entidad financiera el VaR puede ser útil en la gestión de riesgo, pues permite compara los riesgos asumidos por distintas mesas de negociación y en las distintas categorías de activos, siempre y cuando la entidad utilice la misma metodología y supuestos para estimar el VaR de las distintas categorías de riesgo. De esta forma el VaR permite determinar la pérdida potencial en cada área, identificar las áreas más riesgosas y definir en dónde se debe asignar mayor capital y recursos.

- La estimación del VaR está expresada en pesos, lo que permite homogenizar y comparar los riesgos de las diferentes posiciones, es decir permite construir portafolios de referencia.
- La metodología de valor en riesgo se puede aplicar a todas las posiciones de riesgo o carteras de inversión y a todos los niveles de una institución.
- El riesgo del portafolio está directamente relacionado con el comportamiento de las variables del mercado.
- Se puede entender e interpretar fácilmente los riesgos mediante el VaR.
- El riesgo de capital es equivalente al capital económico que soporta la operación de una unidad de riesgo.
- Cuando se aplican diferentes modelos de cálculo del VaR es posible comparar las diferencias entre ellos, lo cual tiene una doble importancia desde el punto de vista del regulador. Por un lado, la información generada por los modelos permite a los supervisores y a los participantes en los mercados financieros comparar los niveles de riesgo asumidos por las distintas entidades financieras a lo largo del tiempo. Por otro lado, esta información puede ser utilizada por los reguladores para controlar el nivel de riesgo asumido por las entidades financieras.

El Comité de Basilea adoptó la metodología del VaR para determinar los requerimientos de capital de las instituciones financieras por concepto de riesgo de mercado, regulación que entró en vigor en diciembre de 1997 y estableció que los requerimientos de capital deberán ser equivalentes a tres veces el monto de valor en riesgo estimado. En el caso de México la Circular de la CNBV (1999) sobre regulación aplicable en los bancos ya establece la necesidad de realizar estimaciones de VaR.

Desventajas

- El VaR no representa el “peor escenario” que puede producirse, sino más bien un nivel de pérdidas que se produce con relativa frecuencia. De hecho, el VaR puede ser definido como la cantidad de fondos propios que una entidad financiera debería dotar para absorber las pérdidas de la cartera en

la mayor parte de los períodos considerados, excepto en aquellos períodos considerados, excepto en aquellos períodos cuyas pérdidas pueden ser consideradas de excepcionales.

- A fin de considerar las pérdidas excepcionales debe complementarse al análisis del VaR con otras metodologías y la razón es que es necesario medir el efecto del hecho de que ocurrieran situaciones extremas o catastróficas en los mercados financieros.
- El VaR de una determinada cartera es altamente dependiente de la metodología utilizada, así como del conjunto de datos, supuestos y parámetros seleccionados para su estimación.

Para clarificar ésta dependencia Marhuenda (2001) realizó una comparación entre metodologías. En su trabajo, estima durante 1240 días (1994-1998), el VaR a un día de tres carteras hipotéticas construidas a partir de datos reales del mercado español de renta variable y de renta fija, y utiliza once especificaciones correspondientes al enfoque de varianza y covarianzas y al enfoque de simulación histórica. Los resultados indican pautas de comportamiento muy diferentes entre los distintos enfoques, así como diferencias importantes dentro de un mismo enfoque en función de los parámetros seleccionados para la estimación del VaR. Algunos resultados fueron

- El enfoque de simulación histórica presenta una evolución a lo largo del tiempo muy característica y distinta de la evolución del resto de los enfoques.

El VaR. Estimado mediante simulación histórica tiende a permanecer constante durante determinados períodos de tiempo, y cuando cambia lo hace bruscamente. Este comportamiento se debe a que la estimación del VaR bajo este enfoque para un momento determinado es altamente dependiente del periodo utilizado en su estimación. A medida que transcurren los días y se van añadiendo nuevas observaciones y otras son desplazadas fuera del período de observación, el VaR no varía hasta que la observación que

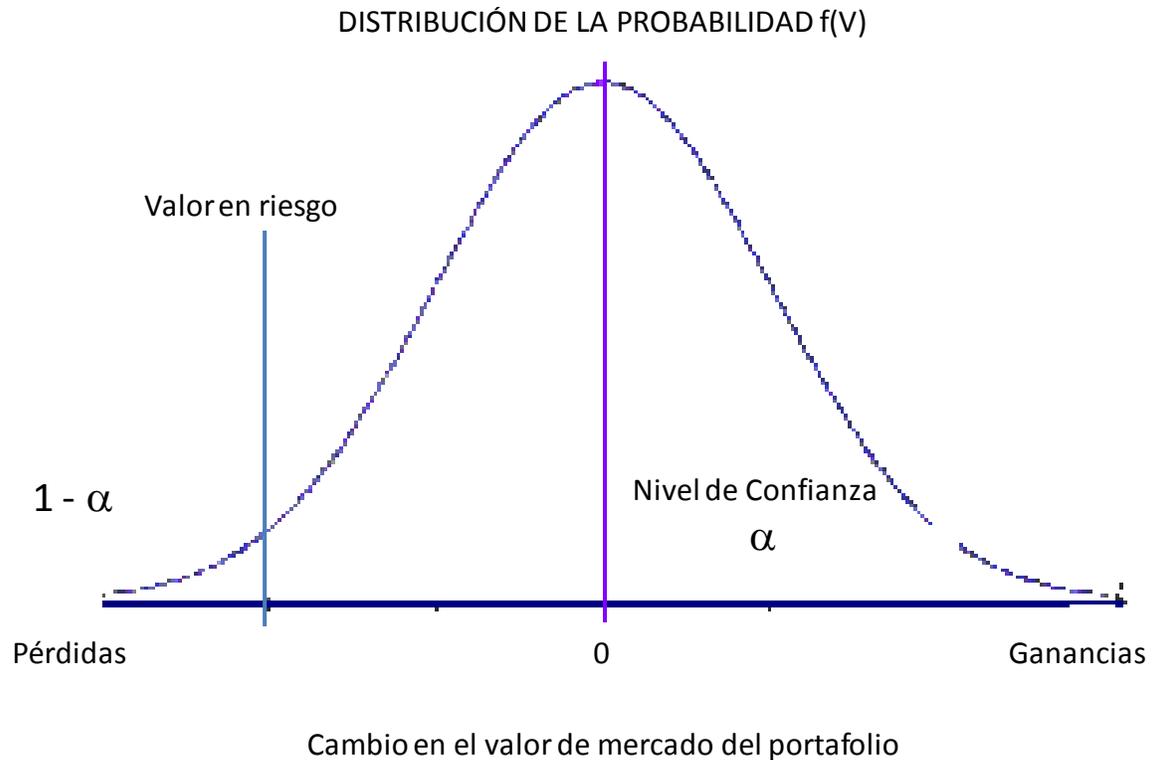
determina el nivel de probabilidad seleccionado es desplazada fuera del percentil correspondiente, lo cual es más difícil si el período de observación es largo.

Por lo anterior, se encontró que este método tiende a producir estimaciones altas del VaR tras períodos de alta volatilidad y tiende a permanecer constante durante un determinado período (mayor cuanto más largo sea el período de observación), aunque la situación que provocó tales perturbaciones haya desaparecido por completo. Lo contrario también puede ocurrir, cuando algún suceso provoca incrementos de volatilidad en los mercados tras un período de estabilidad, el VaR estimado mediante este enfoque tarda más en adecuarse a dicha situación y tiende a producir estimaciones bajas del VaR al inicio de dichas situaciones.

- El distinto comportamiento de los modelos del VaR a lo largo del tiempo da lugar a que en determinado momento, se produzcan valores muy distintos del VaR para una misma cartera. Las diferencias que pueden surgir demuestran que el concepto del VaR está sujeto a arbitrariedades, dado que no existe un enfoque o conjunto de parámetros que se pueda considerar superior al resto, lo que implica para el regulador, un importante inconveniente o dificultad para comparar la exposición al riesgo entre distintas entidades financieras sino están basadas en la misma metodología y supuestos.

2.3 Aproximaciones para la medición del Valor en Riesgo

Gráfica 10. Distribución de la Probabilidad



Si $f(V)$ es la distribución de probabilidad de los cambios futuros del valor del mercado de un portafolio de inversión, entonces dado un nivel de confianza " α " se puede encontrar la mayor disminución del valor de mercado del portafolio (V^*) en relación con el valor vigente, tal que la probabilidad de que la reducción del valor del portafolio sea mayor a V^* es $1 - \alpha$. Esta mayor pérdida del valor del portafolio (V^*) es el valor en riesgo.

Una distribución de probabilidad es la relación entre los posibles resultados y su verosimilitud de ocurrencia. Asimismo, cabe mencionar que esta especificación del VaR es válida para cualquier tipo de distribución, normal o leptocurtósica, discreta o continua, asimétrica, etc.

Es decir, para estimar el VaR es necesario conocer la distribución de la probabilidad de los cambios futuros del valor de mercado del portafolio y de cada una de sus posiciones durante el periodo de tenencia de la cartera.

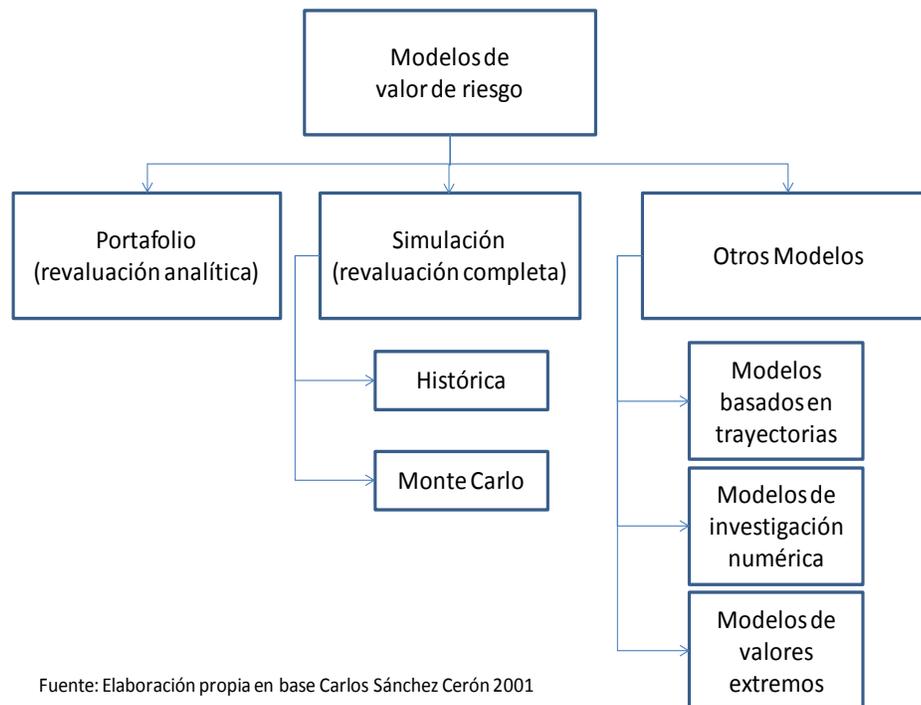
En términos generales, para estimar la función de probabilidad y el VaR es necesario seguir las siguientes etapas:

- Identificar los factores de riesgo que pueden influir en el valor de mercado del portafolio de inversión.
- Estimar la distribución de probabilidad de los cambios de los factores de riesgo que podrían ocurrir durante el horizonte de inversión.
- Construir la distribución de probabilidad de los cambios en el valor de mercado del portafolio, a partir de la combinación de las distribuciones de probabilidad estimadas en la fase anterior.
- Calcular el VaR de las posiciones individuales y de todo el portafolio de inversión.

En función de los supuestos y alcances que se consideran para realizar las fases anteriores, los modelos estadísticos de valor en riesgo se pueden clasificar en:

- Modelos de portafolio o de varianza-covarianza. La revaluación del portafolio se realiza mediante aproximaciones analíticas.
- Modelos de simulación, históricos y de Montecarlo. Los cuales construyen la distribución de probabilidad a partir de la generación de escenarios y la revaluación del portafolio con cada uno de ellos.

Diagrama 3. Modelos de Valor en Riesgo



Fuente: Elaboración propia en base Carlos Sánchez Cerón 2001

2.4 Valor en Riesgo no paramétrico

El VaR no paramétrico se deriva de una distribución de los posibles valores ó rendimientos de la cartera que se construye a partir de información histórica. Los rendimientos diarios generados por la posición se utilizan para simular la distribución empírica de la cartera y su histograma. De esta manera, es posible obtener el VaR sin realizar ninguna estimación de los parámetros que definen teóricamente una distribución. Esta metodología implica reevaluar la cartera para los posibles cambios de los factores de riesgo.

Los métodos no paramétricos más conocidos son de Simulación Histórica y de Monte Carlo.

El método de Simulación Histórica se basa en considerar una serie histórica de observaciones y suponer que el portafolio o la cartera actual conserva el mismo comportamiento histórico. A partir de los datos históricos se crea un histograma y se considera que éste representa la distribución de la variable aleatoria en el

momento de la evaluación, se selecciona un nivel de confianza y se determina el Valor en Riesgo.

La simulación Montecarlo aproxima el comportamiento de los precios de activos financieros, utilizando simulaciones en computadora para generar caminatas aleatorias de precios. El nombre Montecarlo se atribuye al famoso casino establecido en 1892 en el sur de Francia como evocación al movimiento aleatorio de la ruleta de los juegos de azar.

2.5 Valor en Riesgo Paramétrico

La cuantificación del VaR puede simplificarse considerablemente si se puede suponer que la distribución es normal. Cuando éste es el caso, el VaR puede derivarse directamente de la desviación estándar del portafolio utilizando un factor multiplicativo que depende del nivel de confianza. Este enfoque algunas veces es denominado paramétrico debido a que implica la estimación de un parámetro, la desviación estándar, en lugar de la simple lectura del cuantil fuera de la distribución empírica.

El método paramétrico para la obtención del VaR es más simple en su construcción pero se realiza con el supuesto adicional de que los rendimientos diarios de la cartera siguen una distribución específica, estableciéndose así una función de densidad analítica. Los parámetros de la función de distribución supuesta se calculan utilizando la información histórica de la cartera; este tipo de metodologías puede implementarse sin requerir la valuación continua de la cartera para cada cambio de los factores de riesgo, sólo requiere la sensibilidad de la cartera a estos cambios y el VaR se puede obtener de manera analítica.

Las principales funciones de distribución usadas con este método son la distribución normal y la t-Student para los rendimientos diarios de las carteras. La decisión de utilizar t-Student se deriva de la presencia de distribuciones con colas pesadas, ya que mientras la distribución normal se puede definir en función de los primeros dos momentos, la t-Student permite la introducción de la kurtosis en la forma de grados de libertad para aumentar el peso de las colas de la distribución.

El método paramétricos más usado para calcular el VaR es el modelo Delta-Normal.

El método Delta Normal o también llamado de varianza y covarianza, supone que el rendimiento de todos los activos están distribuidos normalmente, por lo tanto, el rendimiento del portafolio también sigue esta distribución, ya que es una combinación lineal de sus componentes ponderados por su importancia dentro de la cartera. Éste método implica una aproximación local de los movimientos de los precios; por lo que un beneficio esencial de éste es que requiere calcular el valor del portafolio sólo una vez, con los valores actuales de mercado. Por ello permite manejar un gran número de activos. Esta metodología asume que los retornos tienen una distribución normal e idénticamente distribuida (es un modelo lineal).

2.6 Métodos del Valor en Riesgo y sus Características

Debido a que el Valor en Riesgo es una herramienta de gran importancia para la administración de riesgos, se debe considerar la manera más adecuada para el cálculo de la misma, ya que la precisión o exactitud con la que se realice dicho cálculo tiene importantes repercusiones en el costo y tiempo necesarios para realizarlo.

En general estos métodos se pueden clasificar en 2 grandes grupos denominados de valuación local y de valuación completa. Dentro del grupo de métodos de valuación local se encuentran aquellos cuya forma de estimar el riesgo se realiza a partir de una valuación de la posición inicial del portafolio de tal forma que los movimientos o variaciones futuras de portafolio son inferidos.

Así mismo, dentro del grupo de métodos de valuación completa se tiene que la forma de estimar el riesgo se realiza mediante una reevaluación completa del portafolio basándose en una serie de escenarios posibles a futuro.

2.6.1 Método de Simulación Monte Carlo

El método de Simulación Montecarlo calcula el Valor en Riesgo de un portafolio en dos pasos fundamentales. En el primer paso se debe decidir cuál será el proceso estocástico y sus parámetros, mediante los cuales se moverán las variables financieras, los cuales pueden ser derivados de datos históricos. Como segundo paso, se simula una serie de caminatas aleatorias del valor del portafolio, considerándose que estas caminatas deben representar las variaciones del valor del portafolio en un intervalo de tiempo determinado de acuerdo al horizonte de tiempo para el cual se desea calcular el VaR. Para cada simulación se obtiene entonces un valor del portafolio en la fecha marcada por el horizonte, a partir de los cuales se puede generar una distribución de los posibles resultados, con los cuales se puede calcular el VaR.

Este método es potente para realizar el cálculo del VaR debido a que permite la inclusión al modelo de una gran cantidad de variables que implican riesgos. También es fácilmente modificable para generar simulaciones de datos a partir de una distribución basada en datos históricos para así poder considerar colas pesadas lo cual, como se mencionó anteriormente, es una de las grandes deficiencias del modelo delta normal.

Sin embargo, este método posee la gran desventaja de ser considerablemente más lento en comparación con los otros métodos, lo cual lo convierte en poco viable para una aplicación diaria, independientemente del horizonte de la simulación. Aunque esta limitación cada día es menor gracias a los avances en las Tecnologías en la Información y Comunicación (TIC's).

Otro gran inconveniente de este método se presenta en la búsqueda de exactitud en el modelo. Se debe recordar que este es un modelo que aproxima el Valor en Riesgo, es decir, no es un cálculo exacto, y su precisión en gran medida del número de simulaciones que se realicen para generar la distribución del valor del portafolio en el horizonte marcado. Mientras más simulaciones se realicen mejor será la aproximación al VaR, por lo que mientras más exactitud se desee,

será necesario realizar un mayor número de simulaciones, lo cual incrementa considerablemente el tiempo necesario para aproximar dicho valor cuando se desea mayor exactitud.

El enfoque de simulación Monte Carlo puede ser implementado utilizando en cualquier distribución analítica para los rendimientos de los factores de riesgo. La única limitante es la posibilidad de estimar los parámetros de distribución con colas pesadas y procesos complejos como los de regresión a la media.

Este método consiste en simular repetidamente el proceso aleatorio que sigue un factor de riesgo para evaluar la cartera y obtener el VaR. Esta simulación se realiza en tres pasos principales.

En primer lugar, es necesario identificar los factores de riesgo que afectan el valor de la cartera y analizarlos para determinar el tipo de proceso estocástico que describe cada uno de ellos. Por ejemplo, el proceso de las innovaciones de los precios de las acciones es el Movimiento Browniano Geométrico, las tasas de interés se pueden modelar con dinámicas estilo Heath-Jarrow-Morton, Ho-Lee, entre otras. Después del análisis, se utilizan número aleatorios para realizar la simulación de los escenarios o senderos que seguirá el factor de riesgo. Si los factores de riesgo están correlacionados entonces será necesario simular distribuciones multivariadas. Finalmente, se debe valorar la cartera utilizando los resultados arrojados por cada simulación para los factores de riesgo. De esta manera, si se realizaron m simulaciones de los factores de riesgo se tienen m valores para la cartera al final del horizonte seleccionado para la construcción de los escenarios. Con ellos es posible construir una distribución de los rendimientos de la cartera y seleccionar el VaR, que será el valor simulado en el percentil correspondiente al nivel de confianza determinado.

El uso del enfoque Monte Carlo requiere de un elevado poder de cálculo computacional ya que es necesario realizar un gran número de simulaciones para los factores de riesgo (el número de simulaciones recomendadas es de 10,000; con un mínimo de 5,000 según el Comité de Basilea). Además, los sofisticados

análisis respecto al comportamiento estocástico de los factores de riesgo implican un intensivo consumo de capital humano especializado; sin embargo, la implementación de este tipo de modelos genera los resultados más robustos de las mediciones del VaR.

2.6.2 Método de Simulación Histórica Tradicional

Simulación histórica es un método para calcular el VaR con valuación completa. Está basado en el análisis del valor del portafolio de al menos los últimos 25 días, a los cuales se les aplican los pesos que representa cada activo que conforma actualmente el portafolio. A partir de estos datos se obtiene una distribución de los rendimientos de un portafolio hipotético conformado por los mismos activos que el portafolio actual.

Lo anterior permite obtener precios hipotéticos futuros, dado un escenario, aplicando los cambios históricos, obtenidos en el pasado, a los precios actuales de los activos del portafolio. La obtención de nuevos valores hipotéticos de cada activo permite tener una nueva valuación del portafolio, también hipotética. Finalmente el VaR es calculado a partir de la distribución de los rendimientos hipotéticos generados en cada escenario.

Este método tiene la ventaja de ser relativamente fácil de aplicar, ya que solamente necesita los valores históricos de los precios de los activos que conforman el portafolio, los cuales son comúnmente publicados por diversos servidores financieros. Este método también tiene la ventaja de reconocer distribuciones de los datos no necesariamente normales, permitiendo la consideración de colas pesadas al momento del cálculo de VaR.

Sin embargo, uno de los problemas más grandes a los que se enfrenta este método es la determinación del número de datos históricos que deben considerarse para el cálculo de la distribución hipotética, ya que si bien es conocido el hecho de que mientras más datos se tome mayor precisión existiría en la distribución, también es posible que al ir más atrás en el tiempo se estén considerando datos que aporten información que no necesariamente refleja la

condición actual o futura inmediata del mercado. Es decir, los datos de precios de activos de hace 18 años no necesariamente reflejan la situación actual del mercado para ese mismo activo, dicho error se presenta debido a que este modelo está basado en el supuesto de que el pasado representa fielmente el futuro inmediato, lo cual no necesariamente es siempre cierto. En particular, este supuesto pierde fuerza cuando se toman datos históricos extremadamente antiguos tomados de un periodo, que supera por mucho el tamaño al periodo de análisis que se desea simular.

Así mismo, se puede encontrar un caso contrario, en donde un activo del portafolio es nuevo, o relativamente nuevo, y no se posee información histórica suficiente para determinar una distribución confiable. Sin embargo, no existe regla respecto al número exacto de datos suficientes o necesarios para aplicar este modelo, razón por la cual puede resultar complicado determinar o elegir dicho número. En la práctica se sugiere de 250 a 500 datos como máximo.

El modelo de simulación histórica es conceptualmente simple y al igual que la simulación con Monte Carlo puede ser descrito en tres pasos.

En primer lugar es necesario identificar los factores de riesgo relevantes en la determinación del valor de la cartera y obtener sus series históricas para un periodo de tiempo específico y amplio (el período recomendado de historia se encuentra entre 3 y 5 años para los factores de riesgo).

$$\{S\}_{t=0,\dots,T}$$

Donde t es el número de datos obtenidos para dicha variable y S es el factor de riesgo, que puede ser una tasa de interés, un tipo de cambio, niveles de índices, precios de acciones, mercancías o cualquier variable que afecte el valor de la cartera.

Posteriormente, se debe calcular la serie de cambios en el valor de la cartera. Para esto es necesario realizar la valuación utilizando los valores de los

factores de riesgo y las funciones de precio para las posiciones que conforman la cartera, y así, obtener la serie:

$$\left\{ \sum_{i=1}^n P_i(S_t) \right\}_{t=0, \dots, T}$$

Donde P_i es el valor de un instrumento o posición y n es el número de posiciones que conforman la cartera.

El último paso es utilizar la serie de valores de la cartera para T periodos y generar la distribución empírica de los rendimientos para determinar el VaR apropiado de la cartera con el nivel de confianza especificado examinando los valores extremos obtenidos.

Este método realiza un supuesto básico sobre los procesos que siguen los factores del mercado que generan los rendimientos de la cartera, y es que las innovaciones futuras de estos factores se derivan de la misma distribución que las innovaciones generadas históricamente y por lo tanto dependen del contexto histórico seleccionado que puede excluir o incluir de manera arbitraria valores extremos con alta volatilidad o periodos de relativa estabilidad.

La utilización de una distribución empírica evita los problemas inherentes al modelaje explícito de la evolución de los factores de riesgo y evita problemas ante la presencia de colas pesadas y sesgos en las distribuciones, además de prescindir de la estimación de parámetros no observables en el mercado como son la volatilidad y la correlación.

Por otro lado, este método requiere un proceso de cálculo intensivo en el uso de herramientas computacionales y es altamente dependiente de la calidad y la cantidad de información disponible sobre los factores de riesgo, situación que puede complicar seriamente el uso de este enfoque. Sin embargo el carácter intuitivo de su implementación que no requiere realizar supuestos estadísticos importantes lo establecen como el método de estimación de VaR más aceptado por los reguladores.

Uno de los problemas de la simulación histórica tradicional es que otorga la misma importancia a cada una de las observaciones que se encuentran dentro del periodo utilizado en la generación de los escenarios, este hecho causa problemas en la medición al no permitir incorporar efectos de estacionalidad y a que observaciones extremas puedan afectar los niveles estimados del VaR, motivo por el cual se han planteado modelos de simulación histórica que ponderan las observaciones para obtener estimaciones más flexibles y que se ajusten a las condiciones actuales del mercado. A continuación se describen los métodos de ponderación de las observaciones por su antigüedad y por la volatilidad observada.

2.6.3 Método de Simulación Histórica Híbrida

Este enfoque es nombrado enfoque híbrido por que incorporaba las ventajas de la ponderación exponencial utilizada en los modelos de cálculo de volatilidad y de simulación histórica.

En éste enfoque se propone una metodología que otorga mayor importancia a las observaciones más recientes que a las observaciones antiguas, alterando la probabilidad de cada observación de la simulación histórica tradicional.

La probabilidad que este enfoque otorga a cada observación está caracterizada por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} & \frac{(1 - \lambda)}{1 - \lambda^K} \\ & \frac{\lambda(1 - \lambda)}{(1 - \lambda^K)} \\ & \frac{\lambda^2(1 - \lambda)}{(1 - \lambda^K)} \\ & \vdots \\ & \frac{\lambda^{K-1}(1 - \lambda)}{(1 - \lambda^K)} \end{aligned}$$

Para los últimos K rendimientos observados de la cartera, donde λ , es el factor de decaimiento (el término factor de decaimiento es la traducción de *decay*

factor), que permanece constante durante todo el cálculo y toma valores dentro del intervalo (0,1).

Una vez que se establece la ponderación de cada uno de los rendimientos se ordenan de manera ascendente y se acumula la ponderación para obtener el rendimiento correspondiente al nivel de confianza definido.

La simulación histórica tradicional puede ser considerada como un caso del modelo híbrido cuando λ se aproxima al valor de 1. El modelo híbrido permite que el cálculo del VaR se ajuste de manera adecuada para evitar la acumulación de observaciones con altos niveles de pérdida, las distorsiones debidas a eventos esporádicos con baja probabilidad de repetición y a los cambios abruptos en el Valor en Riesgo por la presencia de este tipo de observaciones en la ventana utilizada para el cálculo, gracias a la disminución gradual de la importancia de estas observaciones en la estimación a medida que pasa el tiempo del día del cálculo.

Finalmente, este método permite incorporar toda la información histórica en la estimación del Valor en Riesgo ya que tiene la capacidad de disminuir exponencialmente la importancia de las observaciones antiguas sin necesidad de deshacerse de ellas. Esto significa que el modelo evita la necesidad de asignar una probabilidad de cero a las observaciones muy lejanas en el tiempo, lo que permite emplear toda la información histórica disponible en el cálculo del VaR. Sin embargo, este método presenta dos problemas principales que son: su incapacidad para incorporar de manera adecuada los cambios en el riesgo debidos a cambios en los niveles de volatilidad y la imposibilidad teórica para asignarle un proceso específico de los rendimientos de un activo.

2.6.4 Método de Simulación Histórica Ajustada por Volatilidad

Este enfoque presenta una manera de ponderación de las observaciones que captura la diferencia existente entre la volatilidad de las observaciones histórica y la volatilidad actual. La ponderación utilizando este enfoque se realiza mediante la modificación de la serie de los rendimientos históricos por un factor

determinado por la volatilidad que puede ser calculada con modelos de la familia GARCH o EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*).

La forma de cálculo de la volatilidad utilizando EWMA en su forma general es: $\sigma_n = \sqrt{(1 - \lambda) \sum_{i=1}^n r^2 \lambda^{n-i}}$, que de manera recursiva resulta en: $\sigma_{n+1} = \sqrt{\lambda \sigma_n^2 + (1 + \lambda) r_{n+1}^2}$; y supone que la media es igual a cero, además de un número infinito de datos históricos disponibles.

La modificación del rendimiento histórico del activo i en el día t está determinada por:

$$r_{t,i}^* = r_{ti} \frac{\sigma_{T,i}}{\sigma_{t,i}}$$

De esta manera los rendimientos simulados a partir de los rendimientos históricos del periodo t pueden ser incrementados o reducidos dependiendo del pronóstico de volatilidad actual y la volatilidad estimada del periodo t .

Para el cálculo del VaR se sigue el mismo procedimiento que en la simulación histórica tradicional, simplemente se reemplaza la serie de rendimientos histórica por la serie de rendimientos ajustada por la volatilidad.

Las ventajas que ofrece este enfoque son; el manejo de los cambios de la volatilidad de manera directa mientras que el enfoque tradicional no los toma en cuenta y el híbrido los presenta de manera indirecta y restringida. Además, permite que las estimaciones del VaR sean mayores a los datos que contiene la información histórica para los periodos de alta volatilidad y menores a estos para los periodos de relativa estabilidad, otorgando flexibilidad a la estimación del VaR al reaccionar ante este tipo de cambios en las condiciones del mercado.

2.6.5 Otros Métodos o Modelos

A continuación se muestran en los cuadros 11 y 12, los modelos fundamentales del Valor en Riesgo, así como sus características, supuestos, ventajas y limitaciones:

Cuadro 11. Modelos Fundamentales del Valor en Riesgo I

Modelo de Valor en Riesgo	Características	Supuestos	Ventajas	Limitaciones
Modelos simulación histórica	Genera escenarios de los factores de riesgo a partir de la información observada en un determinado número de días	No hace ningún supuesto sobre la forma de distribución de los cambios en el valor del portafolio	<p>a) permite agregar los riesgos a través de los diferentes mercados.</p> <p>b) incorpora las correlaciones inherentes en la información pasada.</p> <p>c) es robusto, fácil de instrumentar e intuitivo.</p> <p>d) puede capturar los eventos extremos</p>	<p>a) no se puede utilizar la regla de la raíz cuadrada del tiempo para escalar la estimación del VaR a diferentes horizontes de inversión</p> <p>b) cuando se incluyen portafolios muy grandes o con estructuras complicadas, el modelo se puede volver impráctico</p>
Modelos de portafolio o de varianza-covarianza	Parte de la teoría del protafolio de Markowitz	Supuesto de linealidad: las relaciones entre cambios del valor y cambios en los factores de riesgo son lineales	<p>a) se basa en la teoría del portafolio, lo que permite entender y evaluar las medidas de riesgo.</p> <p>b) con solo dos parámetros, la media y la desviación estándar, se puede construir la distribución de probabilidad de los cambios en el valor del portafolio.</p> <p>c) es posible realizar análisis de sensibilidad</p>	<p>a) las distribuciones de los rendimientos de los activos financieros muestran características leptocurtóticas (colas más anchas que una normal), lo que puede subestimar la estimación el VaR.</p> <p>b) en el caso de instrumentos con covexidad como los bonos, o no lineales como las opciones, la estimación del VaR puede ser muy ineficiente.</p> <p>c) no toma en cuenta los eventos extremos.</p>
Mezcla de Normales	Pretende capturar la presencia de los eventos extremos	Supone que los rendimientos condicionales (rendimientos/desviación estándar) se distribuyen normalmente con media cero y varianza unitaria	a) la presencia de colas más anchas que se generan con la mezcla de normales implica que los errores en la estimación del VaR deben ser menores que los derivados de una distribución normal	<p>a) no captura eventos extremos</p> <p>b) se dificulta la agregación de los riesgos correspondientes a diferentes mercados o instrumentos</p>
Modelos Delta - Gamma	Incorpora la no linealidad de los instrumentos en la estimación del valor en riesgo	Supone que el cambio en el valor del portafolio depende de los cambios en los factores de riesgo que se suponen se distribuyen normalmente de manera conjunta, con media cero y varianza unitaria	<p>a) cuando las variaciones en las tasas de interés son poco significativas, la aproximación delta podría ser suficiente para estimar el VaR</p> <p>b) esta metodología se puede utilizar para realizar estimaciones del valor en riesgo en tiempo real</p>	<p>a) con la inclusión de términos no lineales (gamma), no se puede aplicar la regla de la raíz cuadrada del tiempo para escalar la estimación del VaR a diferentes horizontes de inversión</p> <p>b) es una medida local de riesgo, ya que la primera y segunda derivadas se calculan alrededor de los precios de las posiciones vigentes en la fecha de valuación</p>

Fuente: elaboración propia en base a Carlos Sánchez Cerón 2001 y Alfonso de Lara Haro 2011

Cuadro 12. Modelos Fundamentales del Valor en Riesgo II

Modelo de Valor en Riesgo	Características	Supuestos	Ventajas	Limitaciones
Modelos VarDelta	Analiza la contribución marginal de un instrumento o factor de riesgo total del portafolio. Estima el cambio marginal del VaR en el caso de que incluya un nuevo flujo en la cartera de inversión.	Supone que el cambio en el valor del portafolio depende de los cambios en los factores de riesgo que se suponen se distribuyen normalmente de manera conjunta, con media cero y varianza unitaria	<p>a) se respeta la regla de la raíz cuadrada del tiempo.</p> <p>b) permite escalar las estimaciones de riesgo, con diferentes niveles de confianza.</p> <p>c) el VaR es homogéneo de grado uno con respecto a las posiciones, el DeltaVaR es homogéneo de grado cero.</p>	<p>a) es un modelo parsimonioso que necesita recalcularse cada vez que cambia la estructura del portafolio.</p> <p>b) la funcionalidad para estimar el VaR en tiempo real es reducida.</p> <p>c) no indica el papel que cada instrumento juega en el portafolio en términos de riesgo (cobertura o posición abierta)</p>
Modelos de simulación de Monte Carlo	Consiste en la repetición de "muchas corridas" en las que intervienen números generados de manera aleatoria, con el propósito de estimar entre otros, el valor esperado y la dispersión de los precios de un instrumento financiero	Definir el modelo estocástico que permita simular la distribución de frecuencia de los cambios en los factores de riesgo	<p>a) es un modelo de revaluación completa.</p> <p>b) permite agregar riesgos</p> <p>c) la estimación del VaR se puede escalar a diferentes horizontes de inversión.</p> <p>d) permite realizar análisis de sensibilidad.</p>	<p>a) si el número de corridas es pequeño el error muestral de la simulación será muy alto.</p> <p>b) el grado de convergencia del modelo puede ser muy bajo, además de que los resultados de las corridas variarán, sobre todo si el número de corridas es reducido.</p>
Modelos "Quasi Monte Carlo"	En vez de utilizar números aleatorios usa números determinísticos que se generan a partir de un vector de secuencias.	Se utilizan las secuencias Halton, Faure y Sobol	<p>a) al generarse los escenarios de manera determinista se elimina el problema de los huecos y el de la agrupación de datos</p> <p>b) es más rápido que el Monte Carlos estándar</p> <p>c) se utiliza cuando el portafolio es de grandes dimensiones</p>	<p>a) el modelo debe estar perfectamente especificado, ya que el riesgo modelo puede ser muy elevado</p> <p>b) los costos en términos de tiempo y de recursos computacionales pueden ser elevados</p>

Fuente: elaboración propia en base a Carlos Sánchez Cerón 2001 y Alfonso de Lara Haro 2011

El cuadro 13 presenta modelos más precisos para medir el valor en riesgo y que se derivan de los fundamentales.

Cuadro 13. Modelos más precisos del Valor en Riesgo

Modelo de Valor en Riesgo	Características Generales
Modelo delta-gamma Monte Carlo	<p>a) es una versión modificada del modelo delta-gamma, ya que en vez de utilizar el supuesto de normalidad y basar la estimación en la matriz de varianza-covarianza, se generan escenarios aleatorios para construir la distribución de frecuencia de los factores de riesgo, la cual no necesariamente es normal.</p> <p>b) tiene la ventaja de considerar distribuciones no normales si en vez de generar los escenarios de Monte Carlo a partir de generar número aleatorios con media cero y varianza unitaria, los número se eligen de manera aleatoria de la distribución de rendimientos histórica.</p>
Extensiones de los modelos delta-gamma	<p>a) una limitación es que la aproximación gamma sigue una distribución normal.</p> <p>b) otra limitación es que es incapaz de considerar eventos extremos.</p>
Modelos de investigación numérica	<p>a) la estimación consiste en calcular las pérdidas máximas en el caso de que los factores de riesgo cambien en diez desviaciones estándar.</p>
Método de empujar los factores (factor-push-over)	<p>a) este modelo determina la dirección más desfavorable de cada uno de los factores de riesgo. todos los escenarios de todos los factores se cruzan y el peor escenario se utiliza para estimar el VaR.</p>
Modelos basados en trayectorias	<p>a) el objetivo de estos modelos es simular trayectorias de los factores de riesgo a partir de escenarios de Monte Carlo. Se concentra en las pérdidas máximas que podrían observarse entre la fecha de valuación y la fecha terminal del horizonte de inversión.</p>
Modelos para estimar el VaR en tiempo real	<p>a) es una combinación del VaR gamma, con simulaciones Monte Carlo y técnicas paramétricas para estimar de manera rápida y durante el día el valor en riesgo; o combinaciones del modelo de simulación histórica con actualizaciones a partir de la información de las volatilidades</p>
Soluciones analíticas particulares para cada instrumento derivado	<p>a) estos modelos investigan qué relación hay entre el VaR y la dinámica del subyacente, con el propósito de determinar la fórmula de valuación precisa, incluso si se trata de derivados exóticos en los que hay varios puntos mínimos en la función de distribución. se concentran en la estimación del riesgo del portafolio en el caso de presentarse eventos extremos.</p>
Modelos de valores extremos	<p>a) el objetivo de estos modelos es determinar el monto de las pérdidas del portafolio, una vez que estas pérdidas son mayores que el VaR estimado.</p>
Fuente: Elaboración propia en base de Carlos Sánchez Cerón, 2001 y Paul Embrechts, 2005	

2.6.6 Importancia de la interpretación del Valor en Riesgo

De acuerdo con lo que comenta el autor Philippe Jorion (2010), el VaR proporciona una primera línea de defensa contra los riesgos financieros, no es la panacea. Los usuarios deben entender las limitaciones de las medidas de VaR.

- a) *Riesgos de estabilidad de eventos*. El principal defecto de los modelos basados en datos históricos es que asumen que el pasado reciente es una buena proyección de eventos aleatorios futuros. Aun si los datos han sido perfectamente ajustados, no hay garantía de que el futuro no ocultará sorpresas desagradables de eventos que no ocurrieron en el pasado.

Las sorpresas pueden asumir dos formas: pueden ser eventos que ocurren una sola vez (tales como una devaluación o incumplimiento) o cambios estructurales (por ejemplo, pasar de tipos de cambio fijos a flotantes). Aquellas situaciones donde los patrones históricos cambian abruptamente ocasionan estragos en los modelos basados en datos históricos.

El riesgo de estabilidad puede ser abordado mediante las pruebas de estrés, cuyo objeto aborda el efecto de los cambios drásticos en el riesgo del portafolio. Hasta cierto punto, los cambios estructurales pueden también ser capturados por los modelos que permiten que el riesgo cambie a través del tiempo, o por los pronósticos de volatilidad contenido en las opciones. Un ejemplo de cambio estructural es la devaluación del peso mexicano en 1994.

- b) *Riesgo de transición*. Siempre que surja un cambio fundamental existe el potencial de errores. Esto se aplica, por ejemplo, a cambios organizacionales, la expansión a nuevos mercados o productos, la implementación de un nuevo sistema o las nuevas regulaciones. Dado que los controles existentes se encargan de los riesgos existentes, pueden ser menos efectivos en la transición.

Es difícil enfrentar el riesgo de transición, porque no puede ser modelado de forma explícita. La única salvaguarda es incrementar la vigilancia en los tiempos de transición.

- c) *Posiciones cambiantes*. Un problema de estabilidad similar ocurre cuando se intenta extrapolar el riesgo a un horizonte más largo, el cual es de interés especialmente para los bancos reguladores –el ajuste típico se hace mediante la raíz cuadrada del factor tiempo, suponiendo posiciones constantes- sin embargo, este ajuste ignora el hecho de que la posición operativa podría muy bien variar en el tiempo en respuesta a las condiciones cambiantes del mercado.
- d) *Posiciones problema*. Las posiciones problema están en una categoría similar a la transición. Todos los métodos analíticos implícitos en el VaR suponen que se dispone de algunos datos para medir los riesgos. No obstante, para algunos valores, tales como las muy poco operadas acciones de mercados emergentes, las colocaciones privadas o las monedas exóticas, pueden no existir precios de liquidación en el mercado significativos.

Sin una adecuada información de precios, no puede establecerse el riesgo a partir de datos históricos (para no mencionar los datos implícitos). Además, una posición en estos activos creará un potencial de pérdidas que es difícil de cuantificar. En ausencia de buenos datos, las pruebas de estrés parecen ser el único método para determinar los riesgos.

- e) *Riesgos modelo*. La mayoría de los sistemas de administración de riesgos utilizan datos del pasado como guía para los riesgos futuros. No obstante, la extrapolación a partir de datos pasados puede ser peligrosa. Por esta razón es esencial estar alerta de las trampas de los riesgos modelo.

Riesgo de forma funcional. Esta es la forma más pura del riesgo modelo. Los errores de valuación pueden surgir si la función particular elegida para valorar un título es incorrecta. El modelo Black-Scholes, por

ejemplo, se fundamenta en un conjunto de supuestos más bien restrictivo (movimiento geométrico browniano y tasas de interés y volatilidad constantes). Para opciones convencionales sobre acciones, las desviaciones de estos supuestos generalmente tienen pocas consecuencias. No obstante, hay situaciones donde el modelo es inapropiado, como con las opciones sobre tasas de interés de corto plazo.

El riesgo modelo también se vuelve más peligroso a medida que el instrumento se complica.

Riesgo de parámetro. También conocido como *riesgo de estimación*, el riesgo de parámetro se deriva de la imprecisión en la medición de los parámetros. Incluso en un ambiente perfectamente estable, no observamos los verdaderos rendimiento ni volatilidades esperados. Por lo tanto, por fuerza tiene que ocurrir algunos errores aleatorios sólo a causa de la variación muestral.

Podríamos determinar formalmente el efecto de estimación sustituyendo las estimaciones muestrales por valores que sean estadísticamente “equivalentes”. Un método alternativo consiste en muestrear sobre diferentes intervalos. Si las medidas de riesgo parecen ser sensibles a la elección particular del periodo muestral, entonces el riesgo de estimación puede ser serio.

El riesgo de estimación se incrementa con el número de parámetros estimados. Mientras más parámetros se estimen, es mayor la posibilidad de que los errores interactúen mutuamente y originen una visión engañosa del riesgo. Los errores en las correlaciones son particularmente peligrosos cuando están asociados con grandes posiciones de “arbitraje”. La parsimonia crea robustez.

El problema de riesgo de estimación frecuentemente es ignorado en el análisis de VaR. Los usuarios deberían notar la interrelación fundamental entre la utilización de más datos, lo cual conduce a

estimaciones más precisas, y concentrarse en datos más recientes, lo que podría ser más seguro si el riesgo cambia en el tiempo.

Desafortunadamente, los datos podrían no estar disponibles para periodos muy largos. Sólo se dispone de historias muy limitadas, por ejemplo, para los mercados emergentes o las monedas exóticas. Todas son buenas razones para recordar que los números de VaR son sólo estimaciones.

Riesgo de sembrar datos. Se trata de una de las formas más insidiosas del riesgo. Ocurre cuando se busca a través de varios modelos y se reporta sólo aquél que ofrece buenos resultados. Esto es particularmente un problema con modelos no lineales (como las redes neuronales de trabajo o los modelos de caos), lo cual implica buscar no sólo entre los valores de parámetros sino también entre diferentes formas funcionales.

La *siembra de datos* también consiste en el análisis de los datos hasta que se encuentra alguna relación significativa.

Los riesgos de sembrar datos se pueden atender mejor corriendo *portafolios de papel*, donde un analista objetivo registra las decisiones y verifica el desempeño del proceso de inversión con datos reales.

Riesgo de sobrevivencia. La sobrevivencia surge cuando un proceso de inversión sólo considera series, mercados, acciones, bonos o contratos que aún existen. El problema es que no se analiza los activos que han tenido un mal desempeño. El análisis basado en datos actuales, por lo tanto, tiende a proyectar una imagen demasiado optimista o a mostrar ciertas características.

Más generalmente, no es probable que los eventos inusuales con una baja probabilidad de ocurrencia pero que tiene efectos severos en los precios, como las guerras y las nacionalizaciones, sean bien representados en las muestras, y pueden ser totalmente omitidos en las series sobrevivientes. Desafortunadamente, estos eventos inusuales son

muy difíciles de capturar con los modelos convencionales de medición del riesgo.

- f) *Riesgos estratégicos*. El VaR puede ayudar a medir y controlar los riesgos financieros. No obstante, es impotente frente a los riesgos estratégicos que también confrontan las empresas. Los *riesgos estratégicos* son aquellos resultantes de movimientos fundamentales en el entorno económico o político.

El mercado de derivados ha estado sujeto a riesgos políticos y regulatorios, los cuales son parte de la familia de riesgos estratégicos que afectan a las empresas a nivel corporativo o industrial.

Riesgos políticos se derivan de las acciones tomadas por los diseñadores de políticas que afectan significativamente la forma en que una organización dirige su negocio.

Riesgos regulatorios son resultado de cambios en las regulaciones o en la interpretación de las que ya existen, que pueden afectar negativamente a una empresa.

Por lo tanto, el VaR debe ser considerado sólo como una aproximación de primer orden. El hecho de que el valor es generado a partir de un método estadístico no debe ocultar que se trata sólo de una estimación. Los usuarios no deben confiarse, sino que deben reconocer las limitantes del VaR.

No obstante, el uso apropiado del VaR pudo haber evitado algunas de las espectaculares debacles de los años recientes, donde los inversionistas no tenían, o argumentaron no haber tenido, idea de su exposición a los riesgos. Además, la implementación del VaR obliga a la integración del front office, el backoffice y la recientemente creada middle office, la cual desempeña la función de administración del riesgo. Esta integración, aunque no necesariamente fácil en términos de logística, tiene la ventaja de que dificulta la falsificación de datos, proporcionando una protección parcial contra los operadores tramposos. Por lo tanto, el proceso de obtención del VaR puede ser tan importante como el número.

Capítulo 3. El Control Integral de Riesgos

Resumen capitular:

El propósito de éste capítulo es presentar metodologías que permitan analizar y controlar de manera integral los riesgos financieros tanto en condiciones de normalidad, como en presencia de eventos extremos, éstas metodologías pueden ser un complemento útil para el VaR.

Entre las metodologías presentadas están: Pruebas de Estrés, *Back-Testing* o Contraste Histórico, Test de proporción de fallas, Distribución t-Student y la Teoría del Valor Extremo.

En la parte final del capítulo se presenta la Teoría del Valor Extremo (TVE), en el siguiente orden: su definición, la clasificación de los modelos utilizados, los procedimientos estadísticos para la identificación de eventos extremos (técnica de picos sobre un umbral y procedimiento de bloque máximo), la familia de distribuciones de valor extremo (Weibull, Fréchet, Gumbel) y las medidas del Valor en Riesgo basadas en la TVE. Se concluye con los elementos de un sistema integral de riesgo.

Un sistema integral de riesgo reconoce las limitaciones de los modelos de valor en Riesgo, en especial con la presencia de eventos extremos; sin embargo estos modelos representan la parte más importante del sistema de control de riesgo, en especial cuando los límites de las áreas de negocio se definan en función del VaR. Por este motivo, la estimación del VaR debe ser la mejor posible. Sin embargo la tarea de verificar que los cálculos sean eficientes no es un problema sencillo, ya que el VaR no es más que una estimación de las pérdidas potenciales basadas en un conjunto específico de supuesto, sujetos a múltiples errores (riesgo del modelo, error sistemático, error de muestreo, entre otros), por lo que los cálculos se tiene que calibrar permanentemente.

Debido a los inconvenientes que presentan los métodos para el cálculo del VaR es necesario utilizar ciertos análisis complementarios a dichas metodologías, precisamente para calibrar la bondad de tales estimaciones.

Tradicionalmente los eventos extremos se han relacionado con circunstancias catastróficas, sin embargo esta definición es poco precisa, ya que ignora muchos eventos en los que los factores de riesgo no cambian drásticamente, pero que implican pérdidas mayores al VaR. Una definición más acertada define a los eventos extremos como aquellos eventos que ocurren con mayor frecuencia que la esperada estadísticamente, sin mencionar la magnitud de los cambios de los factores de riesgo; en el caso en que presenten eventos que muestran mayor volatilidad y tienen un patrón sistemático de ocurrencia se les conoce como eventos frecuentes.

3.1 Pruebas de Estrés

Las pruebas de estrés resultan ser un complemento útil para el VaR y consisten en examinar el efecto al simular grandes movimientos en variables financieras clave en el portafolio (movimientos en los factores de riesgo), por esta razón resultan ser un buen complemento del VaR. Para este fin es necesario especificar escenarios de interés (lo cual se desarrolla generalmente de manera relativamente subjetiva) y de esta manera conocer los posibles cambios en el valor del portafolio. Por ejemplo se puede suponer que la curva de rendimiento se desplaza 5% en un mes para un escenario extremo o que una devaluación del 30% tiene lugar. En general se busca valorar el portafolio bajo el escenario que más lo afecte de manera negativa.

La eficiencia de este complemento del VaR, radica en si los escenarios planteados representan de una manera adecuada los movimientos más comunes en el mercado. Si las tasas de interés típicamente se mueven alrededor de 5% al mes, el escenario antes citado no será eficiente para identificar pérdidas potenciales, ya que no se está representando una situación extrema. Esto se

puede evitar comparando los escenarios propuestos con el comportamiento del mercado que se observa.

Por medio de la creación de distintos escenarios que implican diferentes ambientes económicos, se revalúan los activos del portafolio. Para cada escenario el rendimiento del portafolio se obtiene por medio de todos sus componentes hipotéticos ponderados. Al repetir este ejercicio para distintos escenarios, cada uno con cierta probabilidad de ocurrencia, se tiene una distribución de probabilidad para el rendimiento del portafolio.

La ventaja de este método es que puede cubrir situaciones extremas que no se han considerado para el cálculo del VaR, complementando de esta manera los resultados del mismo.

Tal vez la crítica más importante a este complemento del VaR, es que maneja las correlaciones del portafolio de una manera subjetiva. Típicamente, las pruebas de estrés examinan el efecto de grandes movimientos en alguna o unas cuantas variables a la vez, pero rara vez pueden determinar con exactitud cuál será el efecto en cada factor de riesgo al mover otra variable. Por otro lado una prueba de estrés importante es que se altere la estructura de correlaciones entre los factores de riesgo.

A pesar de lo anterior, este método puede ser apropiado en situaciones donde el portafolio dependa fuertemente de un solo factor de riesgo.

Existen una forma de aplicar las pruebas de estrés que resulta más sofisticada, y consta de dos etapas: primero se mueven los factores de riesgo de manera individual hacia arriba y hacia abajo por decir algo 1.65 desviaciones estándar; hecho esto se calcula los cambios en el portafolio. Después se evalúa el peor escenario, donde todas las variables son asignadas el valor que ocasiona la peor pérdida, por ejemplo, la variable 1 se aumenta en $\alpha\sigma_1$, la variable 2 disminuye en $\alpha\sigma_2$, etc. El problema con esta mecánica es que si las variables 1 y 2 tienen una alta correlación, no tiene sentido considerar movimientos en diferentes direcciones. Siguiendo con el análisis de movimientos extremos, este tipo de

acción no siempre descubre el peor escenario, ya que en el caso de las opciones es posible tener el peor escenario cuando el precio del subyacente no cambia.

Las Pruebas de Estrés ofrecen una forma de medición y monitoreo de las consecuencias de movimientos extremos de precios, en un portafolio de activos, a través de la estimación de las pérdidas potenciales, permitiendo a las instituciones seguir la pista a la exposición o efectos de cambios de precios de sus activos, durante eventos o condiciones de mercado excepcionales, pero factibles, sin necesidad de desarrollar un modelo estadístico para tales eventos; por otro lado también permiten determinar si la exposición a los riesgos es consistente con el nivel de aceptación de riesgos estimado o planificado inicialmente.

Esta denominación ha sido adoptada como un término genérico para describir varias técnicas aplicadas en las instituciones financieras, para valorar el grado de potencial vulnerabilidad económica y financiera. Las más comunes de estas técnicas, pueden definirse como:

- Prueba simple de sensibilidad: determina el impacto potencial en un portafolio de inversión de la institución financiera, por movimientos o variaciones de los factores de riesgo en el mercado.
- Análisis de escenarios: cuantifica el efecto potencial que tiene en la institución financiera, la variación simultánea en varios de los factores de riesgo que pueden ocurrir en un futuro cercano. Los escenarios definidos o desarrollados para estas mediciones, pueden estar basados en eventos significativos de mercados originados en el pasado (escenarios históricos); o por estimación de las consecuencias de un evento o variación posible en las condiciones de mercado que aún no haya ocurrido (escenarios hipotéticos):
 - Escenarios históricos: se emplean fundamentalmente los cambios reales de mercado ocurridos en períodos anteriores. La forma más simple de hacerlo es identificar períodos específicos de tiempo que fueron particularmente extremos en términos de variabilidad de los factores de riesgo de mercado y observar los efectos que

ocasionaron. De esta manera, una vez valorados todos los efectos producidos por el cambio de mercado en el pasado se traslada al presente y se aplica a la situación actual de las instituciones financieras, midiendo o cuantificando el efecto y las consecuencias. Una de las principales características de este método, es que los cambios valorados en los factores de riesgo, son históricos y no arbitrarios, lo cual le proporciona cierto grado de confiabilidad a las pruebas que se realicen; sin embargo, el método de escenarios históricos presenta la desventaja de asumir que en el futuro ocurrirá lo mismo que en el pasado, es decir, que los factores que definen el riesgo del mercado tendrán siempre la misma evolución, lo que no es necesariamente cierto.

- Escenarios hipotéticos: las desventajas del método anterior, son cubiertas al aplicar escenarios hipotéticos; con este se estiman movimientos de mercado que no poseen antecedentes históricos y se cuantifican los efectos que tendrán los factores de riesgo bajo tal escenario. La utilidad de este tipo de metodología radica en que estructura situaciones de riesgo de mercado que, aunque no han ocurrido, son factibles de originarse, esto permite estimar sus efectos y así las instituciones financieras afrontan exitosamente tales circunstancias.
- Estimación de pérdidas máximas: se determina el efecto que en la institución financiera tendría la combinación de varios cambios en las condiciones del mercado.

Estas pruebas permiten a las instituciones seguir la pista a la exposición o efectos de cambios de precios de sus activos, durante eventos o condiciones de mercado de importancia, sin necesidad de desarrollar un modelo estadístico para tales eventos; por otro lado también permiten determinar si la exposición a los riesgos es consistente con el nivel de aceptación de riesgos estimado o planificado inicialmente.

Este tipo de evaluaciones financieras estima la exposición que tendrá la posición de una institución financiera ante un evento específico de mercado, pero en ningún caso, mide la probabilidad de que tal evento ocurra. Debido a que la validez y consistencia de estas pruebas estarán directamente relacionadas con la calidad de las unidades de control de riesgo de las instituciones financieras, las numerosas decisiones acerca de las variables o condiciones incluidas en la Prueba de Estrés deben ser realizadas con la experiencia de los expertos en riesgos; algunas de las variables que se incluyen en este tipo de pruebas son:

- Devaluaciones de tipo de cambio
- Liquidez
- Incumplimiento de contrapartes
- Afectación de todas las posiciones de los portafolios por movimientos adversos en las variables de mercado

Las Pruebas agregadas de Stress consisten en medir la exposición al riesgo de un grupo de instituciones financieras en un escenario específico. La metodología se enfoca en estimar los efectos en cada entidad financiera de la variación de los factores de mercado seleccionados y posteriormente estructurar el comportamiento o exposición de riesgo del grupo. La utilidad fundamental de este tipo de valoraciones, es que permite estimar el efecto en diferentes entidades financieras, de los factores de riesgo cuando éstos son sometidos a procesos de alteración; permitiendo además, verificar la capacidad comparativa de absorción de riesgo de cada entidad y por consiguientes, valorar sus sistemas de administración de riesgos.

3.2 Back-Testing (Contraste Histórico)

Una forma de probar la eficiencia del VaR para cualquiera de estos métodos es por medio del backtesting, que no es otra cosa más que comparar el valor que el VaR estimó con lo que en realidad sucedió. Si por ejemplo se realizan estas comparaciones durante doscientos días, y el VaR se calculaba con un intervalo de confianza del 97.5%, el VaR se prueba como eficiente siempre que en los 200

días observados no exista más de 5 eventos (2.5% de 200) con un valor menor al de VaR. Este tipo de monitoreo resulta adecuado para saber que tan bien se ajusta el modelo a la realidad.

A partir de las recomendaciones hechas por el Comité de Basilea, el VaR se convirtió en una medida de riesgo ampliamente utilizada, existiendo diversas maneras de calcularlo, es por ello que es importante cuantificar el desempeño de estas metodologías con fines de control.

El Back-Testing es un procedimiento estadístico utilizado para validar la calidad y precisión de un modelo VaR, mediante la comparación de los resultados reales de las posiciones y las medidas de riesgo generadas por los modelos. Esta prueba permite tanto a las instituciones como a las autoridades regulatorias verificar periódicamente que el modelo utilizado sea el adecuado y en consecuencia, decidir sobre la conveniencia de realizar ajustes y calibrarlo.

Los pasos a seguir para la elaboración de un Backtesting son los siguientes:

1. Cálculo de pérdidas y ganancias a través de cambios en la valuación
2. Comparación periódica del VaR observado ajustado a un día con las pérdidas y ganancias diarias
3. Cálculo de los errores o excepciones detectados, contando el número de veces que las pérdidas y ganancias exceden el valor en Riesgo observado
4. El nivel de eficiencia del modelo será: número de errores / número de observaciones

El Back-Testing establece dentro de un horizonte temporal determinado, un análisis comparativo entre dos magnitudes: por un lado, la pérdida realmente experimentada en una cartera y por otro, la estimación previa realizada en términos de Valor en Riesgo. Por consiguiente, se pretende contrastar el grado de exactitud de la metodología de medición empleada, contando el número de observaciones en las cuales las pérdidas de la cartera superan la cifra del VaR. La situación ideal se daría cuando dicho número estuviera próximo al nivel de confianza establecido en la medición, es decir, si se utiliza un nivel de confianza

de 95%, lo deseable sería que el número de excepciones (se considera una excepción cuando el valor del VaR sea menor que la pérdida real en el lapso de un día) representen el 5% en el período de análisis; si este porcentaje fuese superior o inferior, entonces el modelo de VaR utilizado estaría valuando erróneamente el riesgo realmente soportado.

Es importante mencionar que existen ciertas dificultades al momento de llevar a cabo un análisis de Backtesting. Uno de los principales problemas se origina al momento de comparar el riesgo obtenido para un portafolio estático (al asumir que el portafolio no sufrirá cambios desde cierto instante hasta el próximo cálculo del VaR), contra uno dinámico como resultado de la función de pérdidas y ganancias. En la práctica, los portafolios de las instituciones son raramente estáticos, así mismo en ocasiones el cálculo de la función de pérdidas y ganancias se realiza en varias ocasiones durante el mismo tiempo. Considerando que los resultados de las pruebas son afectados por el dinamismo del portafolio, entre mayor sea el periodo para el cual se llevan a cabo las comparaciones, mayor será la variación en la composición del portafolio; por esta razón el Comité de Basilea recomienda que la prueba de Backtesting sea realizada para un periodo de un día, aún cuando la medición de riesgo de mercado está basada para un periodo de diez días.

3.3 Test de proporción de fallas

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el desempeño del VaR, es la prueba desarrollada por Kupiec en 1995. Este método mide si el nivel de significancia propuesto para el VaR es consistente con la proporción de fallas que presenta el modelo.

En términos prácticos lo que hace el test, es modelar diferencias entre los resultados reales y las medidas de riesgo generadas por el modelo VaR, mediante una distribución Binomial. Si el VaR es inferior a los resultados reales, se define el evento como *fracaso* con probabilidad (q); en el caso opuesto, cuando las pérdidas reales son inferiores al VaR, entonces se define ese evento como un

éxito con probabilidad $(1-q)$. La probabilidad de que el número de excepciones o fracasos sea igual a x en una muestra de tamaño n y para un nivel de confianza dado se determina a partir de la distribución Binomial:

$$\mathbb{P}(X = x|n, q) = \binom{n}{x} q^x (1 - q)^{n-x}$$

La probabilidad de fracaso de los modelos VaR se estima a través del método de máxima verosimilitud (ML), cuya estimación consiste en tomar logaritmo natural a la distribución Binomial y maximizar dicha función con respecto a la probabilidad (q). De este modo se debe maximizar la siguiente expresión:

$$\ln(\mathbb{P}) = \ln\left(\binom{n}{x}\right) + x \ln(q) + (n - x) \ln(1 - q)$$

La condición de primer orden de la maximización es la siguiente:

$$\frac{\partial \ln(\mathbb{P})}{\partial q} = x \frac{1}{q} + (n - x) \frac{1}{1 - q} = 0$$

Al simplificar la condición de primer orden, se obtiene que la probabilidad de fracaso del modelo VaR equivalente a la proporción de fallas del modelo (frecuencia en la que las pérdidas exceden el VaR):

$$\hat{q} = \frac{x}{n}$$

Una vez obtenida la estimación por máxima verosimilitud se debe establecer una comparación estadística entre la probabilidad teórica (q) y la probabilidad estimada (\hat{q}). Para esto se emplea una prueba de razón verosimilitud de la siguiente forma:

$$L = -2 \ln \left[\frac{q^x (1 - q)^{n-x}}{\hat{q}^x (1 - \hat{q})^{n-x}} \right]$$

Kupiec desarrollo unas regiones de confianza con base en una distribución Ji-cuadrada con un grado de libertad, considerando la hipótesis nula de que q es estadísticamente igual a la probabilidad utilizada para el VaR contra la hipótesis alternativa de que q sea diferente a dicha probabilidad.

3.4 Distribución t-Student

Una distribución t proporciona una sencilla e intuitiva forma de capturar la incertidumbre de la desviación estándar del portafolio; con la característica de que sus propiedades son sencillas de entender, además de que sus valores pueden ser localizados en tablas estándar.

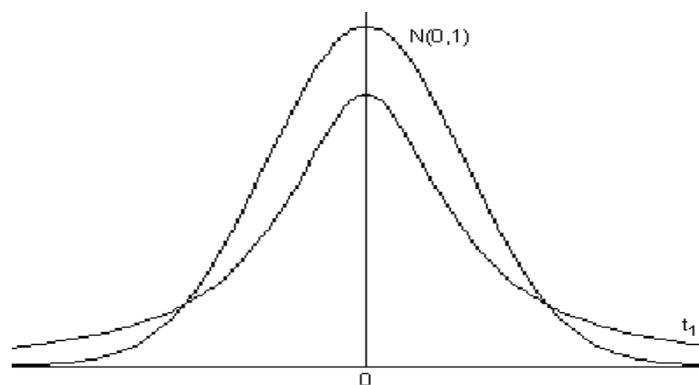
Algunos estudios han reportado que esta distribución adecua los rendimientos esperados de mejor manera que una distribución normal.

Esta distribución tiene colas más pesadas que las de una distribución normal, lo cual permite tener la posibilidad de captar las mayores pérdidas durante eventos extremos; así mismo para cualquier nivel de confianza dado, la estimación del VaR es más confiable al usar la distribución t.

Si una distribución t tiene una mejor representación de los rendimientos, que cualquier distribución normal, entonces una estimación del VaR basada en normalidad subestimaré el verdadero valor del VaR, así como también las pérdidas esperadas durante eventos extremos.

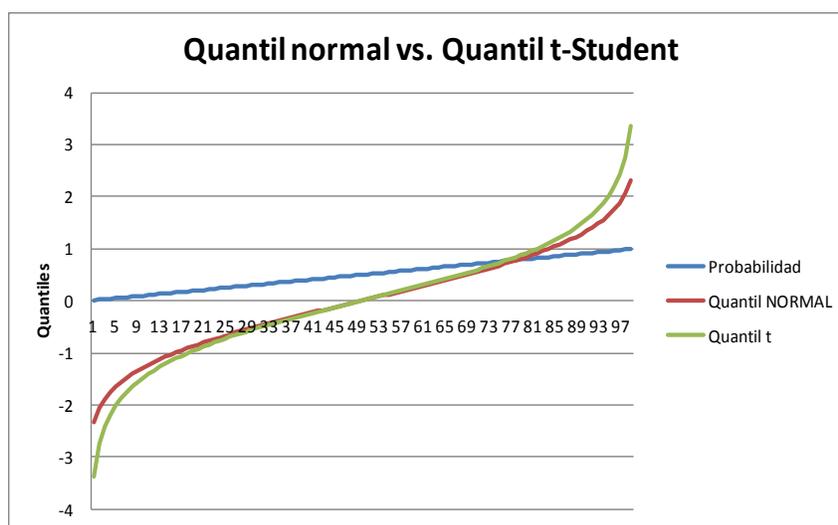
Observamos en la gráfica siguiente la distribución t-student como la línea t_1 , comparada con una distribución normal ($N(0,1)$), en donde apreciamos que la distribución t tiene los extremos más gruesos que la distribución normal.

Gráfica 11. Distribución t-Student



A continuación podemos mostrar gráficamente una comparación de la probabilidad entre una distribución normal vs. distribución t-student, en donde podemos ver que los cuantiles t tiene los extremos más pesados que el cuantiles normales.

Gráfica 12. Cuantil normal vs. Cuantil t-Student



3.5 Teoría de Valor Extremo

El valor en riesgo es una de las medidas que con mayor frecuencia se utilizan en la estimación de pérdidas potenciales en el rendimiento de un activo o de un portafolio, durante un periodo de tiempo y con un nivel de confianza dados. Sin embargo, cuando los rendimientos son de magnitud descomunal, auges o caídas, un modelado más adecuado del comportamiento de los posibles rendimientos requiere del uso de distribuciones de valores extremos.

Los rendimientos de magnitud extrema no son eventos que se presenten de manera frecuente. No todos los días se reportan rendimientos considerables en los portafolios de inversión, más bien éstos se presentan ocasionalmente.

El principal objetivo de la teoría del valor extremo es la modelación y cuantificación del comportamiento estocástico de un proceso de valores extremos para muestras de tamaño específico que se distribuyen independientemente e idénticamente. Esta teoría es una herramienta poderosa que se interesa

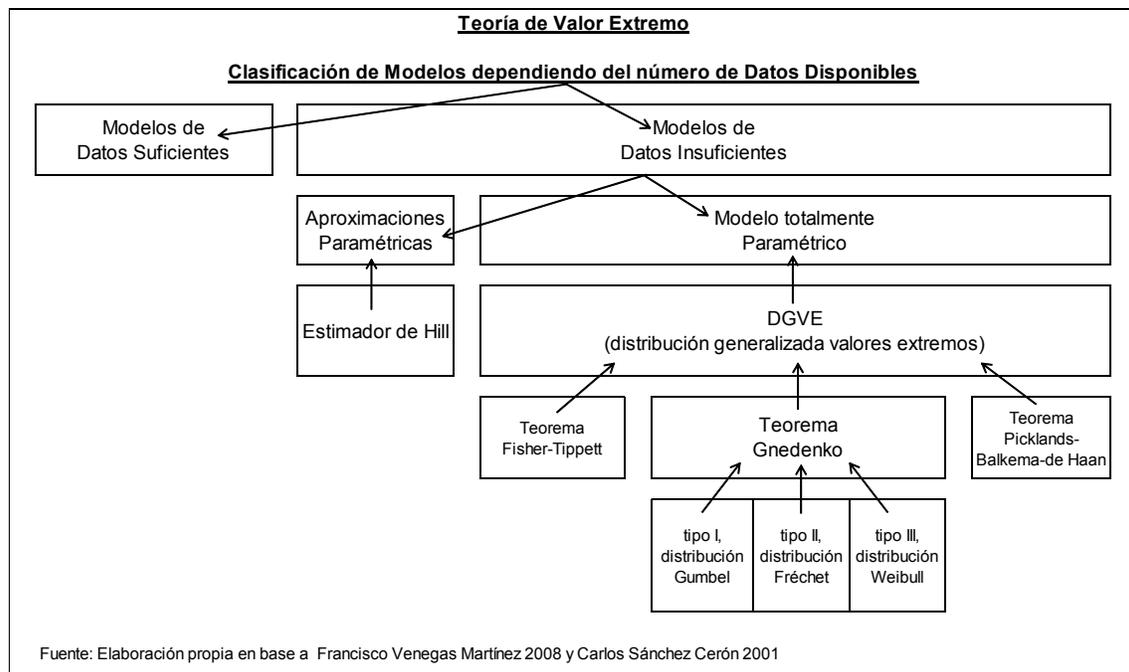
principalmente en el análisis de la masa probabilística que se encuentra en las colas de distribución de probabilidad. Los principales resultados de la teoría del valor extremo son afines con el Teorema del Límite Central.

Los modelos utilizados por la Teoría del Valor Extremo los podemos clasificar en dos grandes tipos

- a) Modelos de datos suficientes. Estos modelos suponen que se cuenta con suficiente información y que los datos están idéntica y independientemente distribuidos. Dadas las características de los eventos extremos en los mercados financieros y de crédito, la aplicación de estos modelos en el área de riesgos es limitada.
- b) Modelos de datos insuficientes. Estos modelos supone que determinados eventos de grandes dimensiones y poca frecuencia exceden una referencia –por ejemplo, cuando la pérdida de un portafolio es mayor que el VaR del mercado, de crédito, de liquidez u operativo, según sea el caso.

El diagrama 4, explica cómo podemos abordar el estudio de la teoría del valor en riesgo:

Diagrama 4. Teoría del Valor Extremo. Clasificación de Modelos



Entonces, los valores extremos se pueden definir como las observaciones máximas y las observaciones mínimas que pueden ocurrir durante un periodo de tiempo fijo. Existe evidencia empírica que ha demostrado que los valores extremos grandes y pequeños en una muestra ocurren en clusters. Este fenómeno se puede explicar en gran medida con la dependencia de las colas de la distribución. Generalmente, los valores extremos se encuentran en la volatilidad *clustering*, la cual es un hecho estilizado comúnmente observado en las series financieras cuando se utilizan datos de frecuencia alta, afectando de manera adversa en la estimación de los parámetros y en el pronóstico de la volatilidad, ya que los valores extremos también están influenciados por el comportamiento variable en el tiempo del segundo momento de la distribución. En consecuencia, la estructura de los rendimientos extremos de las series financiera tendrá que ser tratada de diferente manera como en los modelos autorregresivos de heteroscedasticidad condicional generalizados (GARCH).

Por otra parte, los niveles de las medidas relativas asociadas a un conjunto de información determinan los procedimientos estadísticos, principalmente utilizados para entender las características básicas de los rendimientos extremos. Los niveles de las medidas representan la forma de descripción de las características de la información obtenida en las mediciones; es decir, contiene información de cómo los datos se compilaron, se identificaron y clasificaron, así como las características esenciales de las observaciones medidas.

En el contexto de la teoría de valor extremo, la identificación de los rendimientos extremos se realiza a través de dos procedimientos estadísticos alternativos definidos de acuerdo con el nivel de la medida: la primera técnica estadística considera el número de rendimientos extremos que ocurren, mientras que la segunda considera la magnitud de los rendimientos extremos.

- Técnica de Picos sobre un Umbral

Dado el hecho de que los rendimientos de un portafolio de inversión son directamente afectados por las fluctuaciones en los precios de los títulos de capital como consecuencia de las colocaciones de una determinada

emisión primaria o secundaria de capital en una fecha futura. En este sentido, la incorporación de la asimetría de las colas se puede considerar como otra de las características atractivas de la teoría de valor extremo, ya que permite analizar por separado las colas de la distribución de rendimientos, obteniendo una mejor estimación del riesgo extremo, puesto que la información más importante para los administradores de riesgos se encuentra capturada en las colas de la distribución de pérdidas y ganancias. Para propósitos de la administración de riesgos, las instituciones financieras e inversionistas individuales no sólo se interesan en los rendimientos extremos observados, sino también en su comportamiento asintótico cuando se ha excedido un cierto nivel. De esta manera, la caracterización de los rendimientos extremos de los precios en los activos financieros puede ser definida en términos de pérdidas potenciales que exceden un umbral.

Entonces, el primer procedimiento estadístico se centra en la frecuencia de ocurrencia de pérdidas grandes que exceden un umbral alto. Esta técnica también es conocida como la técnica de picos sobre el umbral (Peaks over Threshold) consiste básicamente en obtener rendimientos extremos de una muestra de variables aleatorias R_1, R_2, \dots, R_n que representa riesgos o pérdidas, la cuales se encuentran por encima de un alto umbral u fijado de antemano con una función de distribución desconocida, F . Esto es, la probabilidad de que el rendimiento condicional R exceda el umbral u está definida por la siguiente distribución de excesos condicional:

$$F_u(r) = P\{R - u \leq r \mid R > u\} = \frac{P\{R - u \leq r, R > u\}}{P\{R > u\}} = \frac{F(r + u) - F(u)}{1 - F(u)}$$

Sin embargo, el comportamiento estadístico de las variables aleatorias R_1, R_2, \dots, R_n no se conoce con exactitud en la mayoría de las aplicaciones, por lo que el comportamiento asintótico de los rendimientos extremos es necesario que sea estudiado a través de la teoría del valor extremo. Un teorema que demuestra que para un umbral suficientemente grande u , la

función de distribución de excesos puede ser aproximada por un miembro de la familia de la distribución de Pareto generalizada. Los resultados más importantes del teorema sustentan que si un bloque máximo tiene una distribución aproximada, entonces los excesos del umbral tienen una determinada distribución que forma parte de la familia de la distribución de Pareto generalizada.

- Procedimiento de Bloque Máximo

Dado la compleja estructura de los mercados financieros, las técnicas de valor extremo, hoy en día, juegan un papel fundamental en el análisis y predicción exacta de los rendimientos extremos en las series financieras, así como en la medición del riesgo extremo. Las propiedades de los rendimientos extremos negativos (mínimos) y positivos (máximos) son altamente relevantes para el análisis del valor en riesgo de una posición larga o una posición corta.

En consecuencia, otra forma alternativa de incorporar información adicional en el análisis de valores extremos es a través del procedimiento estadístico de la magnitud de los valores máximos, principalmente representados por un proceso medido sobre un intervalo de tiempo regular. Generalmente, los valores extremos observados son agrupados en bloques de tamaño fijo, por ejemplo, las pérdidas y ganancias máximas que un inversionista puede alcanzar al tomar una posición financiera durante un día, semana, mes, trimestre, semestre o año de operación. Esta aproximación alternativa que representa la piedra angular de la teoría del valor extremo clásica también es conocida como la técnica de bloques máximos; el procedimiento consiste en la colección de observaciones máximas que se extraen de cada uno de los bloques o sub-muestras durante un periodo de tiempo fijo, este grupo de medidas usualmente es fácil de definir, puesto que los bloques máximos se obtienen de muestras grandes de datos que se distribuyen independientemente e idénticamente.

Para facilitar la formulación del modelo que describa formalmente el comportamiento asintótico de estadísticas de orden más grande dentro de un bloque; estos valores extremos pueden ser definidos como el máximo y mínimo de n variables aleatorias ordenadas R_1, R_2, \dots, R_n . Ahora denotando a M_n como el rendimiento máximo observado que puede alcanzar un activo financiero durante n días de operación expresado de la siguiente manera:

$$M_n = \text{Max}\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$$

y suponiendo que R_1, R_2, \dots, R_n es una sucesión de variables aleatorias independientes e idénticas distribuidas con función de distribución desconocida, F_R .

Por lo tanto, la distribución de M_n puede ser expresada de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} P\{M_n \leq r\} &= P\{R_1 \leq r, R_2 \leq r, \dots, R_n \leq r\} \\ &= P\{R_1 \leq r\} \times P\{R_2 \leq r\} \times \dots \times P\{R_n \leq r\} \\ &= \prod_{j=1}^n P\{R_j \leq r\} = F_R^n(r) = F_{M_n}(r) \end{aligned}$$

En el contexto de la administración del riesgo también se requieren modelos que describan el comportamiento de las propiedades de los rendimientos extremos mínimos, porque son considerados altamente relevantes para la estimación del valor en riesgo de una posición larga. Asimismo, la teoría de valor extremo se puede aplicar de manera análoga para los rendimientos extremos mínimos de una posición larga. Los resultados se pueden obtener de manera inmediata de los resultados correspondientes para M_n con un simple cambio de signo. Definiendo $\tilde{R}_i = -R_i$ para $i = 1, \dots, n$, el cambio de signo significa que rendimientos pequeños de R_i corresponden a rendimientos grandes de R_i . Así que $\tilde{M}_n = -M_n$ siempre y cuando $\tilde{M}_n = \text{Min}\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ y $M_n = \text{Max}\{\tilde{R}_1, \tilde{R}_2, \dots, \tilde{R}_n\}$.

Por lo tanto, para n suficientemente grande la función de distribución para \tilde{M}_n se puede expresar de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 P\{\tilde{M}_n \leq r\} &= P\{-M_n \leq r\} \\
 &= P\{M_n \geq -r\} = 1 - P\{M_n > r\} \\
 &= 1 - P\{R_1 > r, R_2 > r, \dots, R_n > r\} \\
 &= 1 - P\{R_1 > r\} \times P\{R_2 > r\} \times \dots \times P\{R_n > r\} \\
 &= 1 - \prod_{j=1}^n P\{R_j > r\} = 1 - \prod_{j=1}^n [1 - P\{R_j \leq r\}] \\
 &= 1 - [1 - F_r(r)]^n = F_{\tilde{M}_n}(r)
 \end{aligned}$$

Como se puede observar las funciones de distribución definidas anteriormente dependen principalmente de las propiedades de $F_R(r)$ para valores grandes de r . Mientras que para valores pequeños de r , el efecto de $F_R(r)$ decrece rápidamente con n , destacando con ello la importancia de la información capturada en las colas de la distribución de rendimientos. Sin embargo, este hecho no suele ser de mucha ayuda en la mayoría de las aplicaciones financieras, puesto que la evidencia empírica ha demostrado que la distribución de rendimientos generalmente no se conoce con precisión y, por ende, la función de distribución de excesos también es desconocida.

Cabe resaltar que ambos procedimientos estadísticos han sido desarrollados bajo ciertas condiciones y supuestos, es decir, utilizando fundamentos asintóticos; representa un problema potencial para la teoría del valor extremo al momento de realizar el análisis del comportamiento estadístico de los valores extremos, por lo que es importante estar consciente de limitaciones. El problema para la identificación de los valores extremos es similar en ambos procedimientos estadísticos, caracterizado por el balance entre el sesgo y varianza (en este caso, la raíz cuadrada de la varianza de los estimadores de máxima verosimilitud representan los errores estándar de estimación del modelo). Por ejemplo, la selección de un

umbral suficientemente bajo afecta el comportamiento de la distribución límite al violar las leyes asintóticas del modelo, proporcionando estimadores sesgados y de varianza mínima. En el caso contrario, la selección de un umbral suficientemente grande genera poca información para estimar el modelo, proporcionando estimadores de varianza alta, pero con sesgo relativamente bajo. En el caso del procedimiento estadístico de bloques máximos también se presenta el mismo problema entre el sesgo y varianza. Por ejemplo, un bloque de tamaño suficientemente pequeño utilizado en la estimación del modelo proporciona estimadores de varianza mínima, pero los rendimientos extremos no serán modelados apropiadamente, ya que existe la posibilidad de que se viole la ley asintótica del modelo. Mientras que un bloque de tamaño suficientemente grande conlleva a un mejor ajuste del modelo para los datos disponibles, esto es, estimadores insesgados, pero con errores estándar asintóticos mucho más grandes. Este problema es frecuente en el análisis de los valores extremos debido a que los niveles de valores extremos son escasos por definición.

3.5.1 Familia de Distribuciones de Valor Extremo

Ahora bien, una vez seleccionado el procedimiento estadístico para identificar el comportamiento de los valores extremos así como la compilación de los mismos, la modelación de datos extremos puede efectuarse por medio de una función de distribución de probabilidad. En la práctica, un problema común es que la función de distribución de rendimientos $F_R(r)$ es desconocida y, por consiguiente, la función de distribución de rendimientos extremos $F_{M_n}(r)$. Esto es, cuando n tiende a infinito la distribución $F_{M_n}(r)$ converge a una distribución degenerada sin valor práctico; es decir, para $r \leq r_+$, $F_{M_n}(r) \rightarrow 0$ cuando $n \rightarrow \infty$. mientras que para

$r > r_+$, $F_{M_n}(r) \rightarrow 1$ cuando $n \rightarrow \infty$, donde r_+ representa el valor más pequeño de F .

Para mostrar las poderosas herramientas y técnicas que la teoría de valor extremo ofrece para el análisis del comportamiento de las colas de la distribución de pérdidas y ganancias de una posición es preciso hacer uso de la teoría de la probabilidad clásica, considerada la base fundamental de la mayoría de los modelos estocásticos utilizados en las aplicaciones financieras, en particular, para la medición del riesgo. De esta manera, el Teorema del Límite Central se vuelve relevante en el estudio de las sumas o promedio de un número grande de eventos aleatorios pequeños definida de la siguiente forma:

$$S_n = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

Dividiendo la ecuación por el tamaño de la muestra se obtienen la medida de tendencia central conocida como la media de la muestra, la cual debe poseer propiedades más estables que los elementos individuales que componen a la suma parcial. De hecho, la suma parcial S_n es normalizada por el tamaño de la muestra n , al encontrar la media. Pero también podemos transformar la suma parcial S_n , si primero le restamos la media verdadera y después se estandariza al dividir por n , como sigue:

$$\frac{1}{n}S_n - \frac{n}{n}\mu = \frac{1}{n}(S_n - n\mu)$$

En la práctica, este resultado es importante porque el Teorema del Límite Central establece que si S_n es una variable aleatoria estandarizada, entonces su función de distribución se aproxima a una distribución normal con media cero y varianza 1 a medida que n aumenta indefinidamente; es decir, cuando $n \rightarrow \infty$.

En el contexto de valores extremos, una aproximación alternativa es aceptar que la función de distribución $F_R(r)$ es desconocida y encontrar una familia de distribuciones para $F_{M_n}(r)$, la cual se puede estimar únicamente sobre la base de valores extremos. Para solucionar este problema se tiene que transformar la variable M_n , a efecto de que la distribución asintótica de la nueva variable aleatoria sea una distribución no degenerada. Esto se puede alcanzar con una simple operación de estandarización, encontrando dos sucesiones apropiadas $\{\beta_n\}$ y

$\{\alpha_n\}$, con $\alpha_n > 0$ que establezcan o ajusten los parámetros de localización y escala de M_n^* , de tal manera que las probabilidades asociadas con

$$M_n^* = \frac{M_n - \beta_n}{\alpha_n}$$

Se aproximan a una función de distribución conocida a medida que n tiende a infinito.

Suponiendo la existencia de dos sucesiones $\{\beta_n\}$ y $\{\alpha_n\}$, con $\alpha > 0$, Fisher y Tippett (1928) establecieron un teorema que afirma que existe una familia de distribuciones de valor extremo que estudia la teoría asintótica de las distribuciones de valores grandes, sin tomar en cuenta la distribución original de los datos observados.

Sin embargo, este teorema no fue demostrado matemáticamente por los autores, sus contribuciones fueron completadas y formalizadas por Gnedenko (1943), demostrando de manera rigurosa el teorema y obteniendo tres tipos de distribuciones asintóticas para valores extremos estandarizados identificadas en el Teorema de Fisher y Tippett.

Supóngase que R_1, R_2, \dots, R_n son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con función de distribución $F_R(r)$ y sea $R_{n,1}, R_{n,2}, \dots, R_{n,m}$ sus estadísticos de orden. Si existen dos sucesiones de normalización $\{\beta_n\}$ y $\{\alpha_n\}$, con $\alpha_n > 0$, tal que

$$P \left\{ \frac{(M_n - \beta_n)}{\alpha_n} \leq r \right\} = F^n(\alpha_n r | \beta_n) \rightarrow H(r)$$

Donde H es una función de distribución no degenerada, entonces H pertenece a una de las siguientes familias:

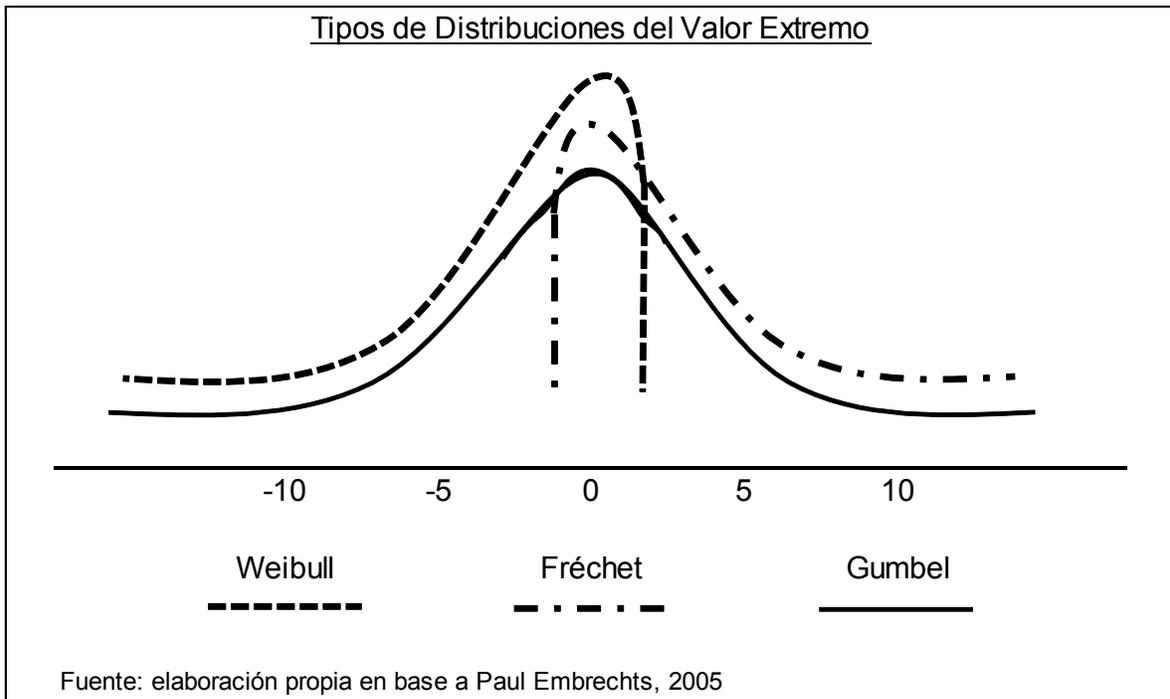
Distribución de Gumbel, Tipo I: $H(r) = \exp\{-\exp(-r)\}$, $-\infty < r < \infty$

$$\text{Distribución de Fréchet, Tipo II: } H(r) = \begin{cases} \exp\{-(r^{-\tau})\} \\ 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} r > 0, \tau > 0 \\ r \leq 0 \end{matrix}$$

$$\text{Distribución de Weibull, Tipo III: } H(r) = \begin{cases} \exp\{-(r)^{\tau}\} \\ 1 \end{cases} \quad \begin{matrix} r < 0, \tau < 0 \\ r > 0 \end{matrix}$$

En este sentido, el principal resultado de la teoría clásica de valor extremo establece que una vez que se cumplen las condiciones no triviales, las probabilidades asociadas a la variable normalizada M_n^* convergerán a una distribución asintótica que pertenecen al máximo dominio de atracción de $H(r)$, la cual puede estar presentada por una de las tres distribuciones de valor extremo anteriores. Esto es, la distribución de Gumbel, o distribución de colas ligeras para el tipo I, cuyos momentos son finitos y comportamiento de las colas de distribución decae en forma exponencial. El tipo II corresponde a la distribución de Fréchet o distribución de colas pesadas derivada por Gnedenko (1943), puesto que las colas de la distribución decaen más lentamente. Finalmente, el tipo III se conoce como la distribución de Weibull o distribución de colas cortas o acotadas; esta distribución se caracteriza por el hecho de que tiene un límite superior finito. El parámetro de forma τ sirve para identificar a la familia de distribuciones, en el caso de una distribución de tipo I se tienen que $\tau = \infty$, cuando $\tau > 0$, se tiene una distribución del tipo II y cuando $\tau < 0$ se tiene una distribución del tipo III. Por otra parte, cuando el parámetro de forma tiende a más infinito y menos infinito respectivamente, las distribuciones de Weibull y Fréchet alcanzan la forma de la distribución de Gumbel. En la Gráfica 13 se presenta las distribuciones Weibull, Fréchet y Gumbel.

Gráfica 13. Tipos de Distribuciones del Valor Extremo



Ahora bien, una vez identificadas los tipos de distribuciones de valor extremo de acuerdo al comportamiento de las colas, dos problemas surgen con respecto a la selección de la técnica para determinar cual de las tres distribuciones se ajusta mejor a los datos y si las estimaciones posteriores de los parámetros es la correcta de tal manera que no ocasione incertidumbre en la selección de la distribución.

Este problema se puede solucionar fácilmente, reformulando los modelos del Teorema de Fisher y Tippett si se toma la reparametrización $\xi = -1/\tau$. En otras palabras, esta familia de distribuciones puede ser resumida en una simple distribución de valor extremo generalizada de la siguiente forma

$$H_{\xi}(r) = \begin{cases} \exp\left[-(1 - \xi r)^{\frac{1}{\xi}}\right] & \text{si } \xi \neq 0 \\ \exp[-\exp(r)] & \text{si } \xi = 0 \end{cases}$$

Para $r < 1/\xi$ si $\xi < 0$ y $r > 1/\xi$ si $\xi > 0$. En general, la función de distribución $F_R(r)$ puede ser expresada por $F(r) = F\left((r - \beta_n/\alpha_n)\right)$, donde β_n y $\alpha_n > 0$ son los parámetros de localización y escala. La distribución de valor extremo generalizada puede ser obtenida, si se agregan los parámetros de localización y escala β_n y $\alpha_n > 0$ tal que $H_\xi(r) = H_{\xi, \beta_n, \alpha_n}\left((r - \beta_n/\alpha_n)\right)$ sobre una base apropiada.

Esta única familia de funciones de distribución depende de un parámetro comúnmente conocida como la distribución de valor extremo generalizada (Generalized Extreme Value, GVE). La aplicación de la distribución de valor extremo generalizada ha significado un importante avance para el análisis de valores extremos en varias áreas de investigación en los últimos años, atribuido a sus diversas características como la realización de una sola inferencia, la omisión de la discriminación arbitraria entre distribuciones de valor extremo y las fuentes de incertidumbre del tipo de modelo que facilita la estimación, puesto que se basa en la inferencia de una función de probabilidad.

Entonces, se puede definir empíricamente las distribuciones de valor extremo generalizada de los rendimientos máximos y mínimos en las series financieras de la siguiente manera:

$$F_{Max}(r) = \exp\left[-\left(1 - \xi_n \left(\frac{r - \beta_n}{\alpha_n}\right)^{\frac{1}{\xi_n}}\right)\right]$$

$$F_{Min}(r) = 1 - \exp\left[-\left(1 + \xi_n \left(\frac{r - \beta_n}{\alpha_n}\right)^{\frac{1}{\xi_n}}\right)\right]$$

Donde r representa los rendimientos extremos máximos y mínimos de los precios de las series financieras durante un periodo de tiempo específico. La distribución de valor extremo generalizada tiene un parámetro de localización β_n y

un parámetro de escala $\alpha_n > 0$, así como el índice de la cola ξ_n que describe el comportamiento de la cola de la distribución límite denotado por $\tau = -1/\xi_n$. El índice de la cola permite identificar el tipo de distribución que se utiliza para ajustar los datos. En este caso, los tipos de distribuciones de valor extremo corresponden para $\xi_n > 0$ y $\xi_n < 0$. El subconjunto de la familia de la distribución de valor extremo generalizada con $\xi_n = 0$ se puede interpretar como el límite de:

$$S_n = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Cuando $\xi_n \rightarrow 0$, comúnmente conocida como la familia de Gumble con función de distribución:

$$F_{Max}(r) = \exp \left[-\exp \left\{ -\left(\frac{r - \beta_n}{\alpha_n} \right) \right\} \right] \quad -\infty < r < \infty$$

$$F_{Min}(r) = 1 - \exp \left[\left(\frac{r - \beta_n}{\alpha_n} \right) \right] \quad -\infty < r < \infty$$

De esta manera, si el parámetro del índice de la cola ξ_n de la distribución es estrictamente negativo, implica que la función de la distribución $F_R(r)$ se encuentra en el máximo dominio de atracción de la distribución de Fréchet generalmente válida para modelar las series financieras. Existen varios casos particulares de distribuciones cuyas colas decaen en forma polinomial que incluyen a las distribuciones α – estables, de Cauchy, t-student y la mixtura de normales entre las más importante. Cuando $\xi_n > 0$ se dice que la función de distribución $F_R(r)$ pertenece al máximo dominio de atracción de la distribución de Weibull, la cual carece de eficiencia para explicar el comportamiento de los rendimientos de las series financieras. Algunos ejemplos de estos tipos de distribuciones son la uniforme y la beta. Finalmente, si $\xi_n = 0$, la función de la distribución $F_R(r)$ se encuentra en el máximo dominio de atracción de la distribución de Gumble que incluye a las distribuciones normal, exponencial, gama y lognormal. Esta última distribución posee una cola pesada moderada.

Uno de los retos cruciales en la medición del riesgo de la cola presentado en la mayoría de las aplicaciones empíricas financieras se refiere a la estimación de los parámetros de la distribución de valor extremo generalizada, en particular, el parámetro del índice de la cola que determina el comportamiento de la cola de la distribución asintótica.

Una variedad de técnicas han sido propuestas para la estimación de los parámetros de las distribuciones de valor extremo, incluyendo los métodos gráficos, los métodos de momentos, los métodos basados en estadísticas de orden que comprenden a las aproximaciones no paramétricas y los métodos de regresión de mínimos cuadrados no lineales, así como los métodos de máxima verosimilitud. Todos estos métodos son muy complejos, ya que requieren de supuestos arbitrarios para su aplicación, por lo que existe poca comparación sistemática entre ellos. Sin embargo, las técnicas más populares utilizadas en las aplicaciones empíricas son las aproximaciones no paramétricas, las técnicas de regresión y los estimadores de máxima verosimilitud.

Las aproximaciones no paramétricas para estimar el parámetro del índice de la cola de la distribución de valor extremo han sido desarrolladas por Hill en 1975 y Pickands en 1975; no obstante, el estimador de Hill es el más popular y usado en la mayoría de las aplicaciones financieras. El estimador de Hill se ha usado en la teoría del valor extremo para estimar el comportamiento de los tipos de cambio por Koedijk (1990) y Hols de Vries (1991) y para el caso de rendimientos accionarios por Jansen y de Vries (1991). El estimador de Hill se diseñó para datos de distribuciones de colas pesadas; sus propiedades han sido estudiadas en la literatura de la teoría de valor extremo a fin de demostrar teóricamente que el estimador es consistente y eficiente, e incluso la consistencia todavía se mantiene bajo el supuesto de dependencia débil de los datos. Asimismo, Goldie y Smith (1987) han demostrado que el estimador de Hill es asintóticamente normal, con media igual a cero y varianza finita. Desafortunadamente, el estimador de Hill es sesgado para muestras finitas y solamente es válido para la distribución de Fréchet.

El método de regresión de mínimos cuadrados no lineales es considerado otra de las alternativas para estimar los parámetros de localización, escala e índice de la cola de la distribución de valor extremo generalizada. Este método sugerido por Gumbel (1958) hace uso de las propiedades de los estadísticos de orden para obtener estimadores de mínimos cuadrados consistentes, pero son menos eficientes que los estimadores de máxima verosimilitud, puesto que los errores estándar asintóticos son más grandes. No obstante, los estimadores obtenidos por el método de regresión no lineal pueden servir como valores iniciales en el método de máxima verosimilitud. De hecho, la función de verosimilitud es fácil de evaluar y maximizar numéricamente, la teoría asintótica proporciona simples aproximaciones para los errores estándar e intervalos de confianza. Asimismo, la función de verosimilitud se puede extender para estructuras más complejas del modelo. Este último punto se puede considerar el más importante en la evaluación empírica, atribuido al potencial de los modelos de valor extremo para llevar a cabo inferencias en procesos estocásticos no estacionarios. Coles (2005)

Existe extensa literatura que ha estudiado y demostrado que el método de máxima verosimilitud proporciona estimadores consistentes y eficientes; es decir insesgados con varianza mínima bajo convenientes supuestos, incluyendo a Jenkinson (1986), y Macleod (1989). Un estimador se dice que es consistente cuando el sesgo y la varianza convergen hacia cero; es decir, convergen a su verdadero valor a medida que aumenta el tamaño de la muestra. Sin embargo, esta condición suficiente no siempre se cumple en la práctica, ya que un estimador puede ser consistente aún cuando su sesgo no converge a cero.

El método de máxima verosimilitud no es de uso frecuente debido a que la carga computacional es enorme, conduce a soluciones que son altamente no lineales en los parámetros por lo que son difíciles de determinar y si hay un error de especificación en una o en más ecuaciones del sistema, dicho error es transmitido al resto del sistema. (Gujarati y Porter, 2009)

3.5.2 Medidas VaR y CVaR basadas en la Teoría de Valor Extremo

En un contexto de medidas de riesgo paramétricas, las aproximaciones convencionales basada en la distribución normal proporcionan buenas estimaciones del riesgo para las áreas donde se encuentra la mayor masa probabilística. Sin embargo, cuando la distribución empírica relevante es totalmente asimétrica y leptocúrtica, tales aproximaciones proporcionan estimaciones incorrectas del riesgo de mercado como resultado de los valores extremos capturados en las colas de la distribución de rendimientos. Este fenómeno comúnmente conocido como el efecto de las colas pesadas o gruesas representa una seria preocupación para los participantes en los mercados financieros, puesto que la medición del riesgo extremo no sólo requiere la estimación de altos percentiles, sino también las probabilidades de la cola de la distribución. En este sentido, la teoría del valor extremo es una herramienta alternativa que permite modelar el comportamiento asintótico de los rendimientos extremos capturados en las colas de la distribución de pérdidas y ganancias.

A continuación se introducen las medidas tradicionales conocidas en el entorno financiero como VaR y CVaR, aplicando los principales resultados de la teoría de valor extremo a fin de obtener una mejor estimación del riesgo de las colas de la distribución de pérdidas y ganancias de las series financieras. La medida valor en riesgo está determinada por el c -percentil extremo de la distribución de rendimientos F ; es decir;

$$VaR_c = F^{-1}(c)$$

donde F^{-1} representa la función de distribución inversa de F .

Sustituyendo los parámetros estimado de la función logarítmica de verosimilitud de las ecuaciones:

$$F_{Max}(r) = \exp \left[- \left(1 - \xi_n \left(\frac{r - \beta_n}{\alpha_n} \right)^{\frac{1}{\xi_n}} \right) \right]$$

$$F_{Min}(r) = 1 - \exp \left[- \left(1 + \xi_n \left(\frac{r - \beta_n}{\alpha_n} \right)^{\frac{1}{\xi_n}} \right) \right]$$

Se puede obtener el percentil de una probabilidad dada de la distribución del valor extremo generalizada.

En esta tesis nos centramos en ambas colas de la distribución de rendimientos, así que utilizando la relación de propiedades de la ecuación:

$$\begin{aligned} P\{M_n \leq r\} &= P\{R_1 \leq r, R_2 \leq r, \dots, R_n \leq r\} \\ &= P\{R_1 \leq r\} \times P\{R_2 \leq r\} \times \dots \times P\{R_n \leq r\} \\ &= \prod_{j=1}^n P\{R_j \leq r\} = F_R^n(r) = F_{M_n}(r) \end{aligned}$$

La distribución de valor extremo generalizada para rendimientos máximos está definida de la siguiente manera:

$$c^n = F_{Max}(VaR) = F_R^n(VaR) = \exp \left[- \left(1 - \xi_n \left(\frac{VaR - \hat{\beta}_n}{\hat{\alpha}_n} \right)^{\frac{1}{\xi}} \right) \right]$$

Esta relación entre probabilidades es válida debido a que la mayoría de los procesos de los rendimientos de las series financieras son independientes o presentan correlación serial débil. Esto es, el valor en riesgo basado en la distribución de rendimientos F_R para un nivel de probabilidad c está determinado por $VaR(F_R, c)$, mientras que el valor en riesgo basado en la distribución de rendimientos máximos F_{Max} para un nivel de probabilidad c esta expresado por $VaR(F_R, c^n)$.

En consecuencia, el valor en riesgo para los rendimientos máximos que corresponde a una posición financiera corta se obtiene al invertir la ecuación anterior, es decir:

$$VaR_c(x) = \hat{\beta}_n + \frac{\hat{\alpha}_n}{\hat{\xi}_n} [1 - n(-lnc)^{\hat{\xi}_n}]$$

En este caso $\hat{\alpha}_n, \hat{\beta}_n, \hat{\xi}_n$ representan los estimadores de máxima verosimilitud para la serie de rendimientos máximos, c es la probabilidad de que los rendimientos máximos exceden el nivel de VaR y n representa el tamaño o longitud de la submuestra, utilizado para obtener los rendimientos máximos observados durante un determinado número de días de operación. La selección de este parámetro juega un importante papel en la estimación del VaR basado en la teoría de valor extremo clásica.

Finalmente, el VaR de una posición financiera larga se puede calcular aplicando la distribución de valor extremo siguiendo los mismos procedimientos que se utilizaron en la estimación del VaR para la posición corta. Así, utilizando la relación de probabilidades de la ecuación:

$$\begin{aligned} P\{\tilde{M}_n \leq r\} &= P\{-M_n \leq r\} \\ &= P\{M_n \geq -r\} = 1 - P\{M_n > r\} \\ &= 1 - P\{R_1 > r, R_2 > r, \dots, R_n > r\} \\ &= 1 - P\{R_1 > r\} \times P\{R_2 > r\} \times \dots \times P\{R_n > r\} \\ &= 1 - \prod_{j=1}^n P\{R_j > r\} = 1 - \prod_{j=1}^n [1 - P\{R_j \leq r\}] \\ &= 1 - [1 - F_r(r)]^n = F_{\tilde{M}_n}(r) \end{aligned}$$

La distribución de valor extremo generalizada para los rendimientos mínimos se puede expresar como sigue:

$$1 - c^n = F_{Min}(VaR) = 1 - [1 - F_R(VaR)]^n = 1 - \exp \left[- \left(1 + \hat{\xi}_n \left(\frac{VaR - \hat{\beta}_n}{\hat{\alpha}_n} \right) \right)^{\frac{1}{\hat{\xi}_n}} \right]$$

Por consiguiente, el valor en riesgo de una posición financiera larga que corresponde a los rendimientos mínimos con un nivel de probabilidad c está definido de la siguiente forma:

$$VaR_c(x) = \hat{\beta}_n - \frac{\hat{\alpha}_n}{\hat{\xi}_n} [1 - n(-lnc)^{\hat{\xi}_n}]$$

donde $\hat{\alpha}_n$, $\hat{\beta}_n$, $\hat{\xi}_n$ representan los estimadores de máxima verosimilitud de los rendimientos mínimos, c es la probabilidad de que los rendimientos mínimos no exceden el nivel del VaR y n representa el tamaño o longitud de la submuestra, utilizando para obtener los rendimientos mínimos observados durante un determinado número de días de operación. Aquí, el valor en riesgo calculado en la anterior ecuación es negativo, el cual representa una pérdida por tomar una posición de mercado. Sin embargo, la mayoría de la literatura existente define el VaR como un número positivo.

Por su parte, otra medida de riesgo alternativa que ha sido estudiada por varios autores es la medida de exceso esperado, también conocida como valor en riesgo condicional. Esta medida de riesgo representa la esperanza condicional de las pérdidas que han excedido el nivel del VaR. La principal razón de la introducción de esta medida de riesgo alternativa se debe a que las medidas convencionales de valor en riesgo no satisfacen la propiedad de subaditividad; una condición de vital importancia que caracteriza a las medidas de riesgo coherente.

Asimismo, bajo el supuesto de normalidad las medidas VaR y CVaR no recogen las propiedades estadísticas de las pérdidas extremas que se encuentran en las colas de la distribución. En este sentido, la medida de valor en riesgo condicional en el contexto de la teoría de valor extremo se puede definir como:

$$\begin{aligned} CVaR_c(X) &= -E \left[X \mid X \leq VaR_c(X) \right] \\ &= E \left[-X \mid X \leq VaR_c(X) \right] \\ &= E \left[-X - VaR_c(X) + VaR_c(X) \mid -X - VaR_c(X) \geq VaR_c(X) \right] \\ &= VaR_c(X) + E \left[-X - VaR_c(X) \mid -X - VaR_c(X) \geq 0 \right] \end{aligned}$$

$$= VaR_c(X) - E \left[X + VaR_c(X) \mid X + VaR_c(X) \leq 0 \right]$$

suponiendo que $VaR_c(X) = -u$ se tiene que:

$$CVaR_c(X) = -u - E \left[X - u \mid X \leq u \right] = -u - e(u)$$

donde

$$\begin{aligned} e(u) &= E \left[X - u \mid X \leq u \right] \\ &= \frac{\int_{-\infty}^u (x - u) dF_X(x)}{F_X(u)} = \frac{\int_{-\infty}^u x dF_X(x) - \int_{-\infty}^u u dF_X(x)}{F_X(u)} \\ &= \frac{\int_{-\infty}^u x dF_X(x) - u F_X(u)}{F_X(u)} = \frac{\int_{-\infty}^u x dF_X(x)}{F_X(u)} - u \end{aligned}$$

aplicando el método de integración por partes

$$\begin{aligned} v &= x & dw &= dF_X(x) \\ dv &= dx & w &= F_X(x) \end{aligned}$$

se tiene que

$$\begin{aligned} e(u) &= \frac{1}{F_X(u)} \left[x F_X(x) \Big|_{-\infty}^u - \int_{-\infty}^u F_X(x) dx \right] - u \\ &= \frac{1}{F_X(u)} \left[u F_X(u) - \int_{-\infty}^u F_X(x) dx \right] - u \\ &= -\frac{1}{F_X(u)} \left[\int_{-\infty}^u F_X(x) dx \right] - u \\ &= -\frac{1}{F_X(u)} \left[\int_{-\infty}^u F_X(x) dx \right] \end{aligned}$$

por lo tanto, el valor en riesgo condicional es equivalente a

$$CVaR_c(X) = -u + \frac{1}{F_x(u)} \left[\int_{-\infty}^u F_X(x) dx \right]$$

A pesar de sus propiedades teóricas atractivas esta medida de riesgo coherente todavía depende de la figura del VaR. En la práctica, esta medida alternativa puede ser aproximada a través de método de simulación como una función de la medida VaR para una distribución de rendimientos dada. Asimismo, el valor en riesgo condicional de una posición financiera también depende de la distribución de rendimientos F_R y del nivel de probabilidad c . Aunque la relación asintótica entre ambas medidas de riesgo puede ser obtenida analíticamente. Entonces, la relación asintótica entre las medidas VaR y CVaR puede representarse como un múltiplo escalar de la desviación estándar cuando se asume que la distribución de los rendimientos sigue una ley normal.

Sin embargo, el valor en riesgo condicional se aproxima al valor en riesgo debido a que la diferencia entre ambas medidas converge a cero a medida que se toman valores que se encuentran en las colas de la distribución de rendimientos. No obstante, aprovechando el máximo dominio de atracción se puede establecer una distribución de colas pesadas del tipo Pareto con parámetros de localización igual a cero, escala igual a uno y exponente característico mayor que uno ($\alpha > 1$; es decir, $F_X(x) = 1 - kx^{-\alpha}$, $x \geq 0$ donde k es una función que cambia moderadamente y α es un parámetro positivo conocido como el índice de la cola de la distribución F).

Un hecho importante es que el índice de la cola de distribución de colas pesadas de tipo Pareto no tiene nada que ver con el parámetro de escala de la distribución de valor extremo generalizada.

Suponiendo la siguiente desigualdad para $x > u$ de la cola de la distribución F el valor en riesgo condicional basado en la distribución de colas pesadas de tipo Pareto que pertenece al máximo dominio de atracción de la distribución de valor extremo generalizada está determinado por:

$$\begin{aligned}
CVaR_c(X) &= -u + \frac{1}{F_X(u)} \left[\int_{-\infty}^u F_X(x) dx \right] \\
&= -u + \frac{1}{ku^{-\alpha}} \left[\int_{-\infty}^u kx^{-\alpha} dx \right] \\
&= -u + \frac{1}{ku^{-\alpha}} \left[\frac{kx^{-\alpha+1}}{-\alpha+1} \Big|_0^u \right] \\
&= -u + \frac{1}{ku^{-\alpha}} \left[\frac{ku^{-\alpha+1}}{-\alpha+1} \right] \\
&= -u - \left(\frac{1}{\alpha-1} \right) u \\
&= VaR_c(X) + \left(\frac{1}{\alpha-1} \right) VaR_c(X) \\
&= \left(\frac{\alpha}{\alpha-1} \right) VaR_c(x)
\end{aligned}$$

En consecuencia, la ecuación anterior demuestra que el valor en riesgo condicional siempre será mayor que el VaR cuando se asume una distribución de colas pesadas, ya que la diferencia entre las medidas CVaR y VaR no converge a cero cuando se toma valores de las colas de la distribución de rendimiento. Este resultado depende en gran medida del grado de exceso de masa probabilística capturado en las colas de la distribución de rendimientos, el cual es medido por el parámetro del índice de la cola. En otras palabras, entre más negativo sea el parámetro del índice de la cola, mayor será el CVaR obtenido, atribuido a la distribución de rendimientos que se caracteriza por presentar propiedades de colas pesadas o gruesas. Finalmente, la evidencia empírica ha demostrado que el exponente característico se encuentra en el intervalo $1.5 < \alpha < 5$.

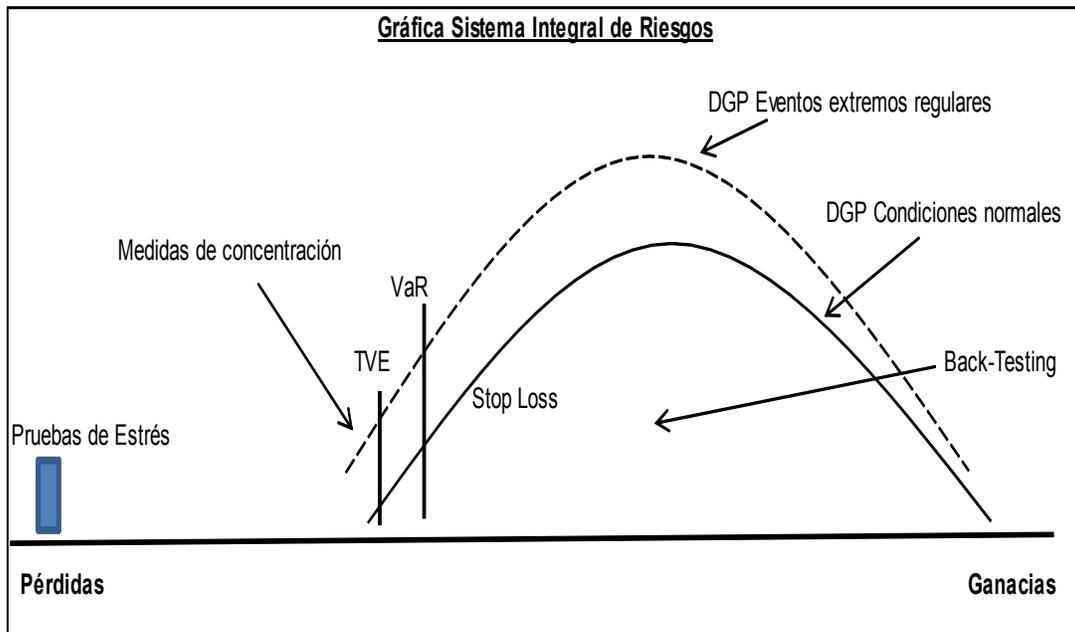
3.6 Sistema integral de indicadores de riesgo

Las limitaciones de los modelos de valor en riesgo para capturar los eventos extremos son ampliamente documentadas, así como el hecho de que cuando los factores de riesgo sufren de alguno de estos eventos las correlaciones se “rompen” y, por ende, cualquier beneficio de diversificación se pierde sesgando las estimaciones del VaR.

A pesar de las limitaciones de los modelos de valor en riesgo, sus ventajas teóricas y prácticas son evidentes, por lo que el VaR debe ser el corazón del sistema de riesgos.

Para que el proceso de estimación y control de riesgos funcione de manera eficiente, se propone el sistema de indicadores de riesgo que se presentan en la gráfica 14:

Gráfica 14. Sistema Integral de Riesgos



Fuente: elaboración propia en base: Carlos Sánchez Cerón, 2001

Los elementos del sistema de riesgos son:

- Modelos de valor en riesgo para estimar estadísticamente las pérdidas potenciales.

- Modelos de riesgo para calcular numéricamente las pérdidas potenciales en el caso de condiciones volátiles pero cuantificables
- Un procedimiento de “back-testing” para verificar la calidad de las estimaciones y de los parámetros
- Modelos basados en la Teoría de Valores Extremos para estimar el monto de las pérdidas una vez que se rebasa el VaR
- Límite a las pérdidas recurrentes (“stop loss”), que no rebasan el VaR pero que acumuladas puedan poner en duda la salud financiera de la institución
- Indicadores y límites de concentración que eviten que las pérdidas no esperadas se propaguen a otras áreas de negocio o dentro del mismo portafolio
- Estimación no estadística de las pérdidas potenciales en la presencia de eventos extremos mediante pruebas de estrés y análisis de sensibilidad

Tradicionalmente, los eventos extremos se han relacionado con circunstancias catastróficas. Sin embargo, esta definición es poco precisa, ya que ignora muchos eventos en los que los factores de riesgo no cambian drásticamente, pero que implican pérdidas mayores al VaR. Una definición más acertada define a los eventos raros como aquellos eventos que ocurren con mayor frecuencia que la esperada estadísticamente, sin mencionar la magnitud de los cambios de los factores de riesgo.

Para capturar los eventos extremos que se presentan una sola vez y los que muestran mayor recurrencia, se sugiere distinguir dos tipos de eventos extremos:

- Eventos frecuentes. Se refieren a los eventos que muestran mayor volatilidad a la normal, que provocan pérdidas adicionales al VaR, pero que tienen un patrón sistemático de ocurrencia
- Eventos irregulares. No tienen una probabilidad de que ocurran asignada.

Capítulo 4. Estudios relacionados que analizan el impacto y la aplicación de la Teoría del Valor Extremo al Valor en Riesgo

Resumen Capitular:

En esta apartado se da cuenta del estado del arte del tema de investigación, en este se revisaron un total de 16 Investigaciones todas estas aplicadas al mercado financiero internacional desde el año 2001 al 2011. La intención es dar a conocer metodologías empleadas en diferentes mercados con diferentes instrumentos financieros y plazos analizados. Estos estudios lo encontré en la biblioteca digital de la Universidad Nacional Autónoma de México, en la sección de revistas especializadas. Las investigaciones encontradas fueron:

- Verónica Balzarrotti (2001), escribió el trabajo titulado *“Teoría de valores extremos aplicada a la medición de riesgos de mercado en Argentina”*, publicado en la revista Gerencia de Investigación y Planificación Normativa, en Argentina; en la que realiza una aplicación de la Teoría del Valor Extremo al Valor en Riesgo en un portafolio de acciones del mercado argentino y la metodología que aplica consiste en desarrollar primero un modelo de riesgo y luego aplicar TVE como una herramienta que trata de proveernos con la mejor estimación posible de las colas de la distribución. Su conclusión fue que existe una mayor ocurrencia de excepciones que las esperadas, es decir una subestimación de los riesgos asumidos, en función del nivel de cobertura elegido. Básicamente en este estudio se presenta una nueva metodología capaz de resolver la distribución de retornos de activos de países emergentes, debido a su alta volatilidad. Esto hace que los modelos tradicionales capturen en menor medida los riesgos asumidos. El cálculo de los VaR de las posiciones individuales en los distintos activos mediante el uso de EVT es bastante simple, y provee una cobertura mucho más adecuada que la forma de cálculo tradicional. Lo que no es capaz de resolver teóricamente es el VaR de un portafolio de activos, y de capturar las interrelaciones entre los mismos.

- Anthony J. Seymour (2003), en su trabajo: “*A Coupling of Extreme Value Theory and Volatility Updating with Value-at-Risk Estimation in Emerging Markets: A South African Test*”, de la revista: *Multinational Financial Journal*, publicada en Sudáfrica por *University of Cape Town and Cadiz Holdings*, plantea tres modelos para la predicción del VaR: Simulación Histórica Tradicional, RiskMetrics, Garch, así como extensiones de éstos modelos aplicando la Teoría del Valor Extremo, realiza una aplicación de cada uno de sus modelos propuestos a un portafolio de acciones del mercado de Sudáfrica.

Los resultados de este estudio indican que los métodos que se muestran para dar estimaciones precisas del VaR en los mercados desarrollados no necesariamente tienen aplicación a nivel mundial, sin embargo el aplicar la Teoría del Valor Extremo a cada uno de los modelos, da estimaciones más precisas del comportamiento en las colas de distribución. Está claro que los mercados emergentes como el de Sudáfrica tiene características únicas que deben tenerse en cuenta en la aplicación de un procedimiento de cálculo del VaR. El autor comenta que uno de los factores importantes a consideras es incorporar la volatilidad a los modelos de predicción y que los métodos sugeridos para el caso de Sudáfrica son técnicamente más complejos, por lo que las personas que dependen de los rigurosos resultados de VaR de los mercados en desarrollo fuera de Sudáfrica son susceptible de beneficiarse de su uso. Los resultados de su estudio sugieren un pequeño déficit entre las estimaciones empíricas y estimaciones deseadas de pérdida.

El autor concluye que es evidente que la curva de GPD (*Generalize Pareto Distribution*) que parecía ser un muy buen ajuste a los datos, sugiere una posible vía de investigación adicional y que es probable que una fuente de mejora sería el uso de un modelos GARCH asimétricos para proporcionar la capacidad de predicción un paso delante volatilidad. Los resultados de esta investigación será la base de un documento complementario para el próximo estudio del autor.

- Yu Chuan Huang (2004), escribió el trabajo titulado: “*Value-at-Risk for Taiwan Stock Index Futures: Fat Tails and Conditional Asymmetries and Return Innovations, Review of Quantitative Finance and Accounting*”, publicado en la revista *Klewer Academic Publishers*, en *Netherlands*, describe la aplicación de los métodos en Valor en Riesgo, RiskMetrics y Arch en un modelo de valuación de riesgo para el Mercado de Futuros en Taiwan (TAIFEX), con el fin de estudiar el observar el comportamiento en las colas de la distribución de los retornos estimados y la correlación que existe con SGX-DT (Taiwan stoc index futures).

En general, se sabe que las distribuciones de activos financieros exhiben colas de distribución más gordas que la distribución normal. Además, los rendimientos se suelen caracterizar por una serie de hechos como agrupamiento y asimetría de la volatilidad. En este trabajo se comparan los resultados de varios modelos de VaR, esta comparación se centra en dos aspectos diferentes: la diferencia entre las distribuciones normales y las distribuciones t-Student.

Los resultados muestran que en los niveles de confianza más bajos se pueden hacer uso de modelos Garch y para los niveles de confianza más altos, el modelo t-Student puede proporcionar mejores resultados en predicción del VaR.

Concluye que los resultados del estudio tienen implicaciones para inversores, instituciones financieras y las bolsas de futuros. Por ejemplo los inversionistas conservadores pueden preferir elegir modelos t-Student para evaluar su riesgo de inversión. Para los mercados de futuros se puede aplicar los modelos Garch para calcular los niveles de márgenes óptimos y por último el modelo t-Student es más conservador y puede proporcionar un valor significativo para los intercambios y los reguladores cuando el mercado se vuelve más volátil.

- Christian A. Johnson (2005), su trabajo titulado “*Métodos alternativos de evaluación del riesgo para portafolios de inversión*”, publicado en la revista *Revista Latinoamericana de Administración*, por la Escuela de Negocios de la Universidad de Adolfo Ibanéz, en Santiago de Chile. El objetivo de este estudio es presentar, de manera clara, métodos alternativos de evaluación de riesgo para portafolios con múltiples activos. Conceptos como análisis de retorno total, frontera eficiente, valor del riesgo (*Value at Risk*, VaR), teoría de valores extremos (*Extreme Value Theory*, EVT), tracking error y simulaciones de Monte Carlo se aplican a portafolios ficticios.

Concluye el autor que las dimensiones consideradas en la elección de un portafolio de inversión descansan tradicionalmente y en su mayoría en conceptos asociados al retorno y al grado de liquidez de los instrumentos alternativos. La dimensión de riesgo suele ser considerada de forma tangencial en la medida de que no se dispone de una metodología de aplicación simple en el momento de medir estos riesgos.

El estudio tiene como objetivo profundizar en esta dimensión y familiarizar con metodologías alternativas de medición del riesgo financiero. Aquí se presentan diferentes enfoques para cuantificar el riesgo en un portafolio de inversión, que va desde conceptos simples como duración, hasta métodos más sofisticados como son los de simulación Monte Carlo para la generación de *Value at Risk* (VaR).

Cada uno de los diversos métodos presentados tiene ventajas y desventajas. En la medida que el portafolio analizado no contenga activos no lineales como opciones, se recomienda usar métodos simples como el Delta-Normal o Simulación Histórica, los cuales generan una matriz de riesgos con base en información de opciones (volatilidad implícita) o con base en retornos históricos. Sin embargo, si el portafolio dispone de activos no lineales, es recomendable utilizar el método de Simulación de Monte Carlo, el cual, por lo demás, tienen la desventaja de ser intensivo en recursos computacionales.

Otra conclusión importante que hace el autor en su estudio es que el cálculo efectuado por la metodología de valores extremos (EVT) es el que mejor captura la forma de la cola de la distribución y reporta un incremento en las probabilidades de ocurrencia de *outliers* (valores atípicos).

La aplicación de estos métodos va más allá del análisis de un portafolio en particular. La utilización de criterios de VaR para el control del riesgo de instituciones bancarias es cada vez más discutida, y de hecho, el Comité de Basilea recomienda su uso para la determinación del capital requerido por los bancos para respaldar sus operaciones de *trading* realizan una exploración de cómo modificar las normas de requerimientos de capital para los bancos, de manera que se puedan minimizar los riesgos de quiebra en el ámbito de cada banco o de una crisis bancaria generalizada.

Cabe agregar que desde 1995, Basilea incorpora en su fórmula de margen de solvencia para los bancos la determinación de capital requerido para respaldar sus operaciones de *trading*, en lo que llama la enmienda de acuerdo de Capitales del 88 o Basilea 1.5.

- Federico Alcalde Bessia (2005), en su trabajo: *“La Teoría de los Eventos Extremos, aplicación para evaluación de riesgos”*, publicado en la revista del Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos Aplicados a la Economía y Gestión, de la Facultad de Ciencias Económicas, en la Universidad de Buenos Aires con el objetivo de presentar, a partir del caso univariado de la Teoría de los valores Extremos, se llega al bivariado presentando, luego, una aplicación a modo de ejemplo para la evaluación de riesgos y propone suponer que se desea modelar el comportamiento de dos activos que pertenecen a la misma industria, con lo cual, puede esperarse que exista covarianza frente a eventos importantes. Por ejemplo, piénsese en compañías de gas. Luego de cierto evento extremo que afecte a toda la producción de gas, los precios de ambos activos caerán y, por lo tanto, la posesión de dichos activos es una cartera que no puede ser modelada como si fuesen independiente y debe asignárseles una

probabilidad al movimiento de ambos. Concluyendo que el modelado por teoría de los valores extremos es una herramienta útil para la toma de decisiones. Proporciona información adicional a la que puede obtenerse directamente de los datos. Según éste modelado para casos univariados o para casos bivariados, la estimación diferirá en el resultado. El uso del caso univariado puede ser útil en situaciones en las que la simplicidad del problema justifica su uso. En el caso bivariado, la estimación se hace más compleja. Sin embargo, el uso de software apropiado (R, S-Plus para dar algunos ejemplos) simplifica el camino y ayuda a obtener resultados en forma más abundante aconsejándose hacer repetidas pruebas sobre los datos que se quiere estimar. El autor ha utilizado métodos paramétricos de estimación. Entre otros, el de máxima verosimilitud utilizando programas *R* y *Mathematica*. Es de destacarse que existen procesos estocásticos para valores extremos y formas múltiples de distribuciones.

- Mauricio Zevallos (2007), en su trabajo: “*Estimación de riesgo en carteras de Inversión*”, publicado en la revista UNICAMP del Departamento de Estadística, Universidad de Estadual de Campinas, en Brasil, da un ejemplo de estimación del riesgo en el Índice Merval mediante Métodos Econométricos, Regresión Cuantílica y Teoría del Valor Extremo. Encontrando evidencia a favor de los métodos condicionales, la normal condicional subestima para la probabilidad menor a .95 y para elegir el mejor método se debe considerar la naturaleza de las pérdidas (intradía, diaria y semanal) y por lo tanto tener cuidado con horizontes muy lejanos del VaR a largo de plazo. Propone utilizar Modelos Multivariados de Covarianza Condicional y Cópulas.
- Aragonés Ramón (2008), en su trabajo: “*Crisis Financieras y Gestión del Riesgo de Mercado*”, publicado en la revista Business Review-Actualidad Económica, por la Universidad Complutense de Madrid, argumenta que el Valor en Riesgo ofrece una información limitada sobre la estructura de la

cola de la distribución de pérdidas esperadas y que el VaR no alcanza a dar respuesta a una pregunta fundamental: ¿cuánto podemos perder por encima de nuestra estimación del Valor en Riesgo? Entonces propone que para medir y gestionar el riesgo bajo condiciones extremas es necesario utilizar medidas “coherentes” de riesgo como la pérdida esperada de la cola; el uso de técnicas de medición de movimientos extremos como la Teoría del Valor Extremo y un Sistema de Contraste de Tensión que tenga en cuenta las interrelaciones de los factores de riesgo en las colas de la distribución y pueda ser incorporado a los modelos tradicionales de medición del riesgo. Concluye el enfoque del valor extremo proporciona una solución natural al problema práctico de cómo estimar los cuantiles extremos cuando tenemos, por definición, muy poca información histórica en la cual basar el análisis. El análisis de tensión debe ser realizado con una metodología consistente y realista, que tenga en cuenta las características de riesgo de las colas de la distribución de rendimientos y deber ser incorporado a los modelos tradicionales de valoración del riesgo, por lo que es necesario tener en consideración de forma explícita el comportamiento de los mercados en condiciones extremas, tanto de manera individual como las variaciones conjuntas que, como se ha demostrado, en épocas de crisis, presentan un comportamiento distinto al de períodos “normales”.

- Reza Noubary (2008), escribió el artículo titulado: *“It is Time to Include Extremes in Statistics Curriculum”*, publicado por la revista *Northeast Decision Sciences Institute Proceedings*; este artículo pretende hacer hincapié en la necesidad de incluir en los cursos de estadística la teoría de valores extremos por que las situaciones en que los valores extremos son de mayor preocupación o importancia que el promedio. El objetivo del artículo es de dar valor a temas relacionados para el estudio de valores atípicos y valores encontrados fuera del promedio, por lo que analiza la posibilidad en utilizar la Teoría del Valor Extremo, para evaluar eventos

atípicos. Concluye que es importante añadir el Teorema del Límite Central y/o la Teoría del Valor Extremo al análisis de valores de datos con frecuencias altas y medias debido a que son el foco de análisis estadístico y de modelización, y considera el autor que se ha descuidado el tratar como información importante los valores extremos, entonces propone comprender la teoría que rodea el análisis de los valores extremos ya que puede simplificar la comprensión del cálculo del Valor en Riesgo de activos financieros, así como la interpretación adecuada de los resultados.

- Pilar Abad (2009), en su investigación titulada: *“Accurate of VaR Calculated Using Empirical Models of the Term Structure”*, publicada en la revista *International Journal of Theoretical and Applied Finance World Scientific Publishing Company*, por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) de Madrid, España. Esta investigación compara las diferentes formas de medir el Valor en Riesgo en una cartera de renta fija calculada sobre la base de diferentes modelos multifactoriales empíricos de la estructura temporal de tasas de interés. Incluye tres modelos de comparación: Modelos de regresión, Modelos paramétricos y Modelos Garch, incluyendo Riskmetrics. Concluye que es importante incluir la volatilidad en cada uno de los modelos que se pretenda utilizar para estimar el Valor en Riesgo para lograr que la predicción del riesgo sea más precisa.
- Christian L. Dunis (2010), en su trabajo titulado: *“Modelling commodity value at risk order neural networks”*, publicado en la revista *Center for International Banking, Economics and Finance (CIBEF)*, de la Escuela de Negocios de Liverpool en UK, describe en su artículo que la motivación fue investigar el uso de una clase prometedora de modelos de redes neuronales, el aumento de orden de las redes neuronales cuando se aplican a la tarea de pronosticar el valor futuro de 1 día a riesgo de que el petróleo Brent y la serie de lingotes de oro en solo términos autorregresivos como entrada. En el modelo neuronal se incluye la Teoría del Valor

Extremo, promedios móviles y los Modelos Garch. En conclusión el modelo híbrido presentado demostró un mejor pronóstico del rendimiento y por otro lado el modelo de la Teoría del Valor Extremo presentó un pronóstico decepcionante, el cual se puede atribuir al hecho de que sólo unos pocos eventos extremos están presentes en la base de datos (1 abril 2002 al 31 marzo 2007).

- Houduo Qi (2010), escribió el trabajo titulado: “*Correlation stress testing for value-at-risk: an unconstrained convex optimization approach*”, publicado en la revista *Springer Science Business*, en la Universidad Nacional de Singapur; el autor describe en su investigación un enfoque sin restricciones de optimización convexa para la correlación existente en situaciones de estrés. Las pruebas de correlación de escenarios de estrés para valorar el riesgo (VaR) que se emplea en varios modelos financieros para determinar el riesgo de la cartera de una institución financiera, es posible, que por falta de consistencia matemática en la matriz de correlación, a menudo provoque ruptura de modelos para estimar el VaR –el problema con esta mecánica es que si las variables 1 y 2 tienen una alta correlación, no tiene sentido considerar movimientos en diferentes direcciones-, entonces el autor propone realizar la prueba sin restricciones de optimización convexa. La matriz de destino se obtiene mediante la fijación de algunas de las correlaciones (a menudo contenidas en los bloques de sub-matrices) en la matriz de correlación actual a un cierto nivel para reflejar las diferentes situaciones estrés. El software que utiliza en éste estudio es el Matlab 7.1. Concluye que el método utilizando el algoritmo de Newton optimiza la valuación del riesgo en los escenarios de estrés.
- Peter Julian A. Cayton (2010), en su trabajo: “*Estimating Value-At-Risk (VaR) Using Tivex-Pot Models*”, publicado en la revista: *Journal of Advanced Studies in Finance*, por la Universidad de Filipinas; el autor en su estudio tiene el objetivo de usar diferentes aproximaciones para medir el

valor en riesgo, los datos que utiliza son el Peso filipino al tipo de cambio del Dólar estadounidense del 2 de enero del 2007 al 13 de marzo del 2009. El autor concluye en su investigación que los modelos econométricos son conservadores, precisos y eficientes en la predicción de las pérdidas del tipo de cambio a través de la metodología Valor en Riesgo, excepto en EGARCH el cual exagera los niveles de riesgo y de capital en situaciones sin crisis. Que la técnica POT (*Peaks Over Thersholds*), que aplica para abordar el cálculo utilizando la Teoría del Valor Extremo se ve como el mejor modelo, porque es más preciso en la predicción de la ocurrencia de eventos extremos o eventos situados en las colas de la distribución.

- A. Ravi Ravindran (2010), en su investigación titulada: “*Risk Adjusted multicriteria supplier selection models with applications*”, publicado en la revista *International Journal of production Research*, por *Pennsylvania State University*, en USA. El objetivo de este trabajo es desarrollar modelos de múltiples criterios de selección de proveedores que incorporen el riesgo de los proveedores y aplicarlos a una empresa importadora y exportadora real. Se desarrollan dos tipos diferentes de modelos de riesgo, el valor en riesgo (VaR) y el de pérdida de meta, en sus siglas en inglés *miss-the-target* (MtT). El tipo de riesgo VaR es de interrupción debido a eventos naturales y el riesgo MtT es un riesgo de calidad y se considera explícitamente como cuatro objetivos que puede estar en conflicto y que se tienen que minimizar simultáneamente. Las aproximaciones del Valor en Riesgo que el autor utiliza es a través del método de la Teoría del Valor Extremo y la aproximación del MtT que el autor utiliza es la función de pérdida de Taguchi’s para modelar el impacto de no cumplimiento en las metas por parte de los proveedores. El autor concluye que su trabajo puede ser extendió en varias direcciones, por ejemplo cuantificar eventos de riesgo en otras entidades de la cadena de suministro, como pueden ser los minoristas, clientes, proveedores de servicios logísticos, fabricantes de equipos y desarrollar métodos de mitigación de riesgos. Esta investigación

puede ayudar para estudiar la posibilidad de modificar las políticas de gestión de inventario disponibles para considerar los riesgos relacionados con el inventario. El modelo matemático de varios criterios puede ser ampliado para incorporar los riesgos en las cadenas de suministro descentralizados que incluyen proveedores, fabricantes, mayoristas, minoristas y clientes.

- Xupeng Wang (2010), escribió el artículo titulado: *“Risk Measure estimation in Finance”*, publicado por la Universidad de Alberta en Canadá. El autor en su tesis presenta una aplicación de medidas de riesgo: valor en riesgo (VaR) utilizando los métodos: Simulación Histórica (HS), Teoría del Valor Extremo (EVT) y Garch. Los datos que utiliza es el índice NYSE del 3 de enero de 1986 al 14 de diciembre de 1989. Concluye que los modelos Garch-EVT y Garch-HS aportan los mejores resultados para valorar el Valor en Riesgo debido a que los modelos toman en cuenta la volatilidad.
- Chaitip Arreyah (2011), escribió el artículo titulado: *“The Value at Risk of Soth East Asian Countries”*, publicado en *Bussiness Review*, por *Chiang Main University*, en China y el autor explica que el modelado preciso del valor en riesgo (VaR) es importante en la econometría de las finanzas, sobre todo en lo relacionado con el modelado para el pronóstico del Valor en Riesgo. El nuevo punto de vista en el pronóstico es utilizando la prueba combinada de buena memoria en los estimadores de valor del VaR y en los estimadores del valor extremo que fueron empleados en éste estudio para estimar la pérdida con un nivel de confianza predefinido. El autor propone una construcción de análisis de series temporales a lo largo de la memoria con series de tiempo en una distribución de valor extremo. Este estudio examina el Valor en Riesgo sobre la base de datos de la muestra de una selección de los mercados de valores del Sur de Asia Oriental que consiste en el índice SET (Tailandia), índice KLSE (Malasia), índice de FTSEI (Singapur) y el índice JKSE (Indonesia). Los resultados indicaron que los

mercados bursátiles de Asia oriental tienen un nivel alto de en riesgo (VaR) en un mayor tiempo extra. La supervisión del riesgo en el Mercado de Valores es una de las habilidades más indispensables que el inversionista debe dominar. La distribución aparece estar marchando a la derecha con el mismo desplazamiento para cada factor de aumento 10 en n ; el pico de cada curva se produce en $\ln(n)$. El estudio demostró que esto es correcto. La función de distribución acumulada de la distribución exponencial del índice de FTSE (*Singapore Straits Industrial*) de Singapur fue el mejor indicador para tomar la decisión de invertir en los mercados de valores asiáticos y concluye que la teoría del valor extremo es una medida complementaria esencial de la gestión del riesgo en las finanzas.

- Cesar C Rufino (2011), en su trabajo titulado: *“Empirical Comparison of Extreme Value Theory”*, publicado en la revista *DLSU Business & Economic Reviews*, por la *De la Salle University* en Philippines, el autor en su estudio aplica la Teoría del Valor Extremo en el cálculo de Valor en Riesgo (VaR) de las carteras de riesgo cambiarios en 3 países de Asia. En este trabajo se aborda el asunto de que los modelos tradicionales del Valor en Riesgo asumen normalidad en la distribución de la rentabilidad. La evidencia empírica confirma los hechos estilizados que los retornos de los activos financieros son por lo general negativamente sesgados y con grosor en las colas de la distribución. Por otra parte, la gestión de riesgos se ocupa de la distribución de las colas o debería prestar más atención a las características de tendencia central de los eventos. Por lo tanto, este trabajo propone aplicar de la teoría del valor extremo en el cálculo del Valor en Riesgo para centrarse directamente en el comportamiento de la cola de la distribución de la rentabilidad. El modelado se realiza en tipos de cambio diarios rendimientos de 3 países de Asia del 24 de enero del 2004 al 31 de enero del 2010. Concluye que la evidencia empírica confirma los hechos estilizados que las distribuciones de los retornos de los activos financieros son típicamente de forma leptocurtica y de gruesa cola en la distribución. La

gestión de riesgos se debe de ocupar de analizar la distribución de las colas, o eventos en los extremos de la distribución de los activos financieros. Además en la estimación de la magnitud y la probabilidad de eventos extremos se debe prestar mayor atención, que a las características estadísticas básicas de tendencia central que presenten los activos financieros. Por lo tanto el autor propone la aplicación de la teoría del valor extremo en el cálculo del VaR para centrarse directamente en el comportamiento de la distribución de la rentabilidad de la cola de las monedas del continente asiático.

Capítulo 5. Aplicación del Valor en Riesgo y la Teoría del Valor Extremo

Resumen Capitular:

En este capítulo se presenta en la primera parte la descripción de los datos de las series financieras de las monedas Real de Brasil, Dólar de Canadá, Peso de Chile y Peso de México al tipo de cambio del Dólar estadounidense del 2008 al 2011. Se continúa con la Descripción del modelo de simulación histórica utilizado para el cálculo del Valor en Riesgo y después se presenta la descripción del método utilizado para el cálculo de la Teoría del Valor en Riesgo. Concluyendo éste capítulo con la comparación de los resultados obtenidos del VaR, TVE y los datos observados.

5.1 Descripción de los Datos

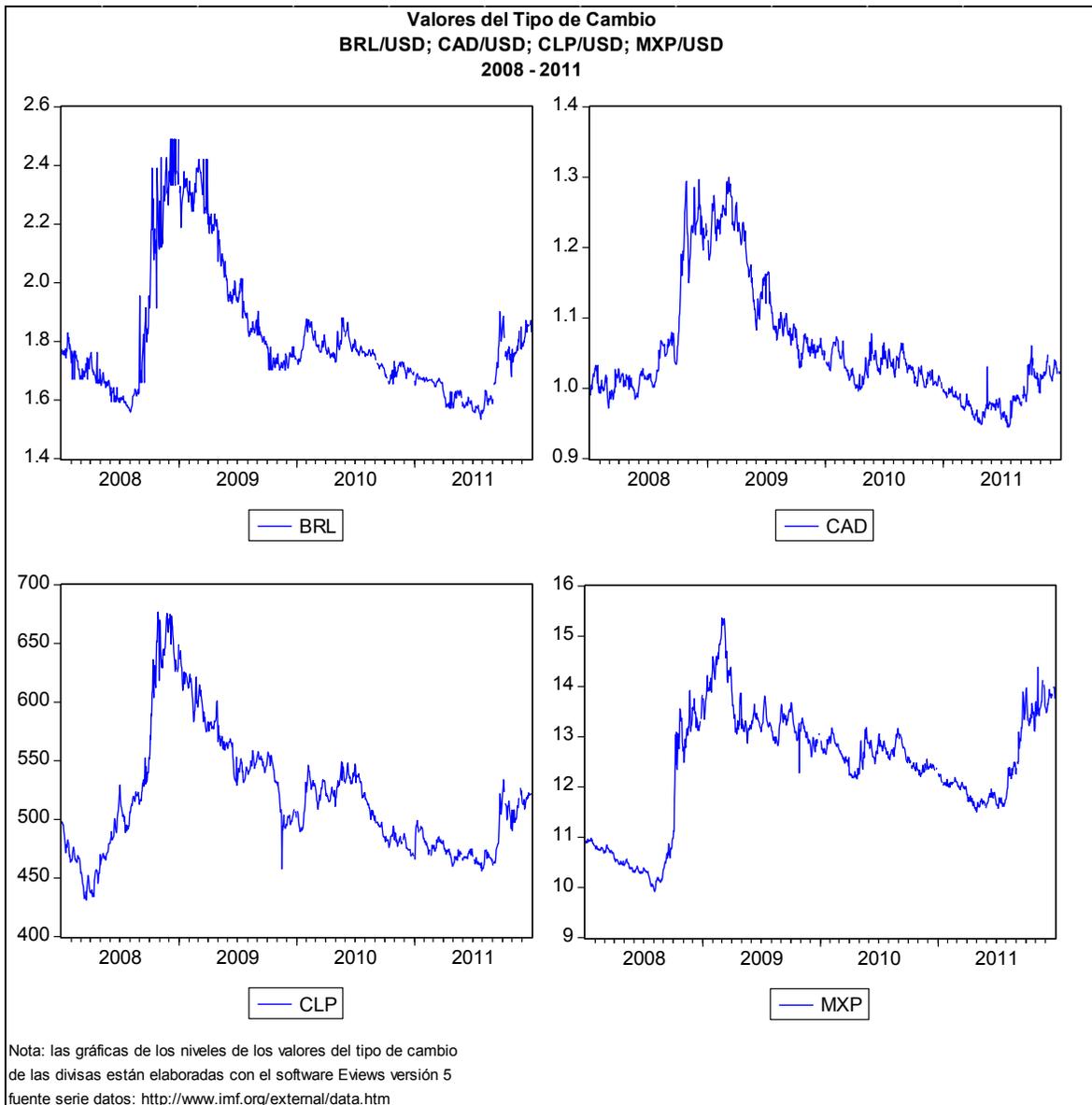
Para ilustrar las características típicas de la dinámica de los movimientos extremos en las series financieras de frecuencia alta que permitirán estimar el riesgo de la cola de la distribución utilizando la teoría del valor extremo; esta investigación hace uso de un conjunto de datos diarios de las monedas el Real de Brasil (BRL), el Dólar de Canadá (CAD), el Peso de Chile (CLP) y el Peso de México (MXP), al tipo de cambio del Dólar estadounidense (USD) del 1 de enero del 2008 al 31 de diciembre del 2011, totalizando en promedio 1022 observaciones diarias por cada país. La fuente de los datos es la página web del Fondo Monetario Internacional (<http://www.imf.org/external/data.htm>).

Esta muestra permite también comparar el comportamiento del riesgo en los principales mercados de monedas de América.

El conjunto de datos es suficientemente representativo para realizar un análisis de los movimientos extremos en los mercados de monedas, porque el periodo 2008–2011, incluyen crisis financieras tales como: crisis de las hipotecas “subprime” (2004-2008); crisis de países desarrollados, efecto Jazz (2008-2010) y en octubre de 2010 empezaron a surgir señales claras de una posible guerra de monedas (dólar, euro, yen y yuan) ya que los países rebajaron la cotización de sus

monedas en busca de ventajas competitivas para facilitar la exportación y de esta manera salir de la crisis.

Gráfica 15. Valores del Tipo de Cambio. 2008-2011



Como se puede observar en la gráfica 15, los datos de las monedas del 2008 a 2009 muestran una tendencia de crecimiento y después una tendencia descendente para 2010 a 2011, lo que permitirá estimar el riesgo de la cola de la distribución.

5.2 Descripción de método utilizado para el cálculo del VaR

Desarrollé el modelo de simulación histórica, el cual consiste en generar escenarios de los factores de riesgo, de cada moneda (BRL, CAD, CLP, MXP) que conforman la muestra total de datos; a partir de la información descrita anteriormente.

La estimación del VaR se realizó en las siguientes fases:

1. Se crea una serie histórica del factor de riesgo (FR)
2. Se construye la serie de rendimientos es decir, se estima las variaciones diarias $\left(\frac{FR_t}{FR_{t-1}}\right) - 1$, por que los rendimientos son efectivos diarios, con ganancias diarias y no hay capitalización diaria. Si fueran rendimientos compuestos continuos, es decir que el rendimiento se capitalizara continuamente se estimarán de la siguientes forma: $\ln\left(\frac{FR_t}{FR_{t-1}}\right)$
3. Se estima la serie alternativa del factor de riesgo. Para ello, el valor actual del factor de riesgo se agrega el valor de las variaciones calculadas

$$FR_n * \exp \begin{bmatrix} R_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} FR_{n2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ FR_{nn} \end{bmatrix}$$

4. Se revalúan con cada uno de los valores estimados de los factores de riesgo
5. Se calcula las pérdidas y ganancias. Estas se obtienen de la diferencia del valor con cada uno de los escenarios y valor vigente a la fecha de valuación
6. Se ordenan los resultados del portafolio de mayores pérdidas a mayores ganancias, y se calcula el VaR con base en el nivel de confianza (percentil o cuantil) elegido.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

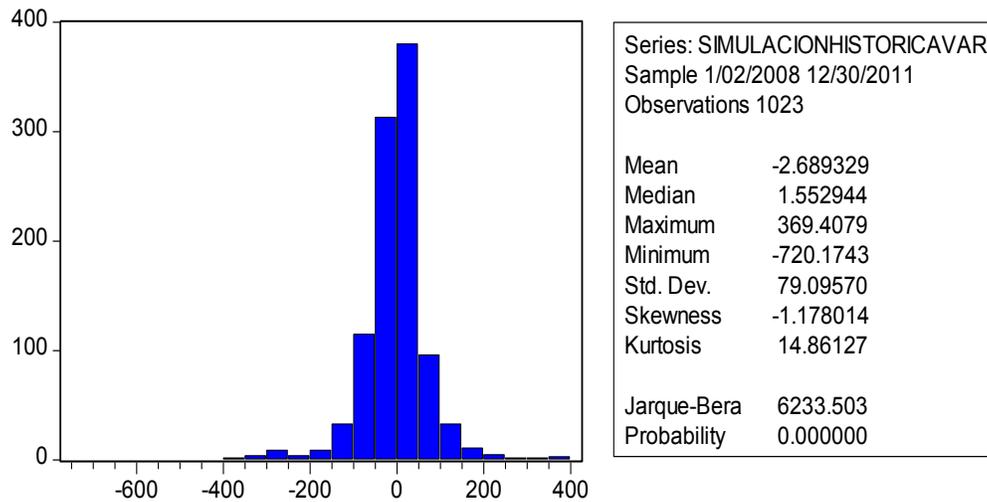
Cuadro 14. Resultados VaR, Modelo de Simulación Histórica

Valor en Riesgo. Modelo de Simulación Histórica		
Múltiplo desviación estándar	Probabilidad	VaR 1 día dlls
1.00	84.10	-56.23
1.28	90.00	-77.85
1.64	95.00	-109.47
1.96	97.50	-180.28
2.00	97.70	-194.98
2.33	99.00	-281.17
3.09	99.90	-720.17

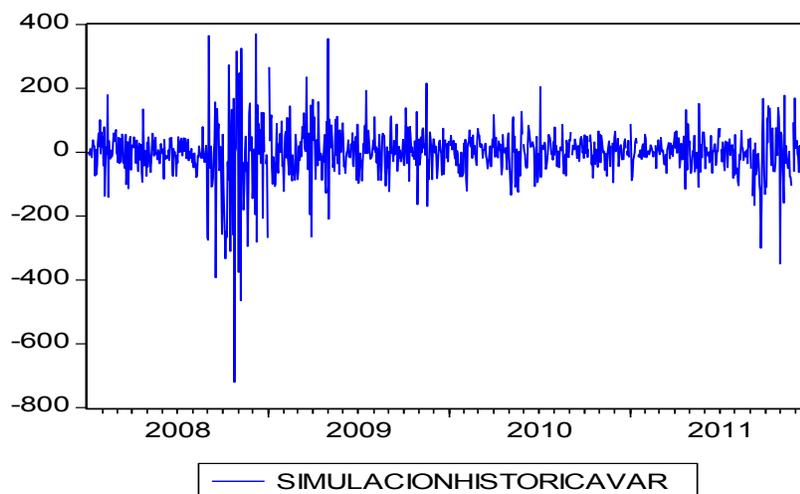
La interpretación de la tabla anterior es, si se supone un horizonte de inversión de un día y un nivel de confianza de 99% es decir, se excluye los datos más adversos (1% de 1023 es 10), el VaR asciende al valor de -281.17, lo que significa que en 1013 de 1023 observaciones las pérdidas deberían ser inferiores al valor -281.17. Otra interpretación pero ahora con un nivel de confianza de 95% (5% de 1023 es 51), el VaR estimado es -109.47, es decir que en 972 de 1023 observaciones las pérdidas deberían ser inferiores a los -109.47.

Este modelo capturó eventos extremos, un ejemplo es -720.17, con un nivel de confianza de 99.90 % (0.1% de 1023 es 1), es decir, que sólo una de 1023 observaciones las pérdidas deberían ser inferiores a los -720.17. Otra interpretación es para un nivel de confianza de 99% (1% de 1023 es 10), lo que significa que en 10 de 1023 observaciones las pérdidas deberían ser inferiores al valor de -281.17.

Gráfica 16. Resultados VaR, Modelo de Simulación Histórica



Gráfica 17. Gráfica Pérdidas y Ganancias Var, Modelo Simulación Histórica



Se observa en la gráfica 16 y 17, que el modelo no hace ningún supuesto sobre la forma de la distribución de los cambios en el valor del conjunto de las monedas, de tal manera que el modelo de simulación histórica puede capturar los eventos extremos, las características leptocurtóticas de la distribución (colas más anchas que las de una normal) y el sesgo a la izquierda de la distribución que se deriva de grandes pérdidas y ganancias del grupo de monedas (BRL, CAD, CLP, MXP). El método es robusto, fácil de instrumentar y muy intuitivo, lo que facilita su comprensión y explicación.

Verificando el modelo anterior basándose en el cociente de fallas, el método más simple es registrar el cociente de fallas, que muestra la proporción de ocasiones en que el VaR es excedido en una muestra dada.

Kupiec(1995) desarrolla intervalos de confianza para dicha prueba, los cuales se indican en la siguiente tabla. Estas regiones se definen por los puntos de la cola de la proporción log-probabilística

$$1 = -2\ln[(1 - p)^{T-N} p^N] + 2\ln \left[\left(1 - \left(\frac{N}{T} \right) \right)^{T-N} (N/T)^N \right]$$

la cual está distribuida con ji-cuadrada con el grado de libertad bajo la hipótesis nula de p es la probabilidad verdadera.

Cuadro 15. Verificación del Modelo

Verificación del modelo; regiones de no rechazo. Número de fallas en un nivel de 0.05			
Nivel de probabilidad	Regiones de no rechazo para un número de fallas, N		
p	T=255 días	T=510 días	T=1000 días
0.01	N < 7	1 < N < 11	4 < N < 17
0.025	2 < N < 12	6 < N < 21	15 < N < 36
0.05	6 < N < 21	16 < N < 36	37 < N < 65
0.075	11 < N < 28	27 < N < 51	59 < N < 92
0.1	16 < N < 36	38 < N < 65	81 < N < 120

Notas: N es el número de fallas que pudieron ser observadas en una muestra de tamaño T sin rechazar la hipótesis nula de que p es la probabilidad correcta, en un nivel de confianza de 5 por ciento.
Adaptada de Kupiec
* Elaboración propia en base a Jorion 2010

Entonces, los datos totales de la muestra son 1023 ($T = 1023$), esperaríamos observar $N = pT = 5\% * 1023 = 51$ desviaciones (51 veces que la pérdida rebasa el VaR). Pero el regulador no será capaz de rechazar la hipótesis nula mientras N se encuentre en el intervalo de confianza [$37 < N < 65$].

No existen indicadores estadísticos que permitan de manera óptima cuántas observaciones se deben incluir a priori en la estimación del VaR. Mientras mayor es el intervalo elegido, en principio mayor es la calidad de la estimación; no obstante, existe el riesgo de incorporar datos que impidan capturar los cambios

estructurales en los mercados (Basilea indica 250 datos como obligatorios para estimar el VaR).

5.3 Descripción de método utilizado para el cálculo TVE

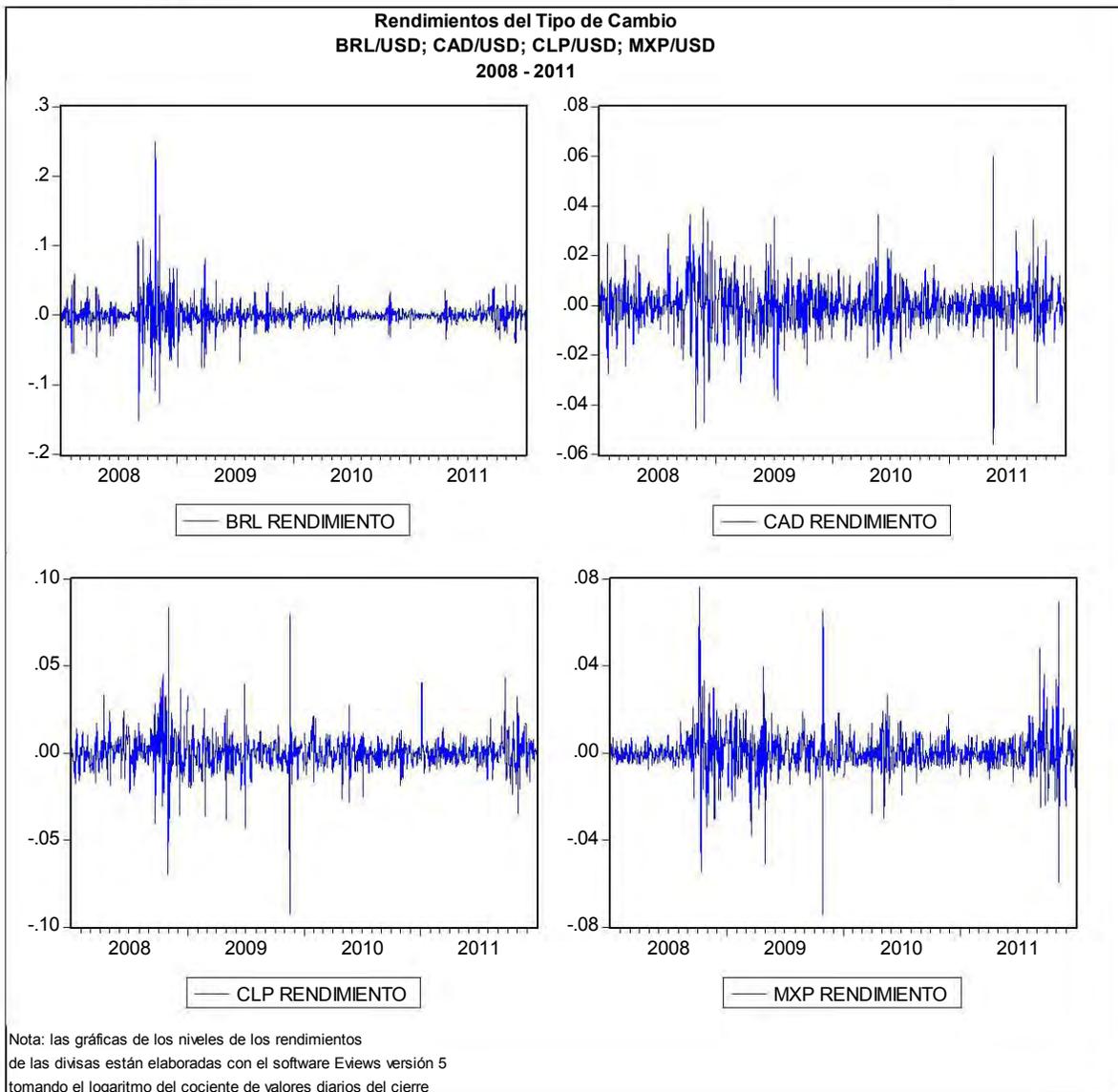
Para llevar a cabo el análisis de las principales características de los valores de las monedas es necesario transformar el tipo de cambio diario en rendimientos continuos, tomando el logaritmo del cociente de precios diarios de cierre durante un intervalo de tiempo $(t - 1)$, como sigue:

$$R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

donde P_t indica el precio del cierre en el día t para cada moneda. Asimismo, el análisis requiere que los rendimientos diarios de los valores de las series financieras de las monedas sean a un mismo tipo de cambio en este caso es al tipo de cambio del dólar estadounidense. Esto permite trabajar con series financieras estacionarias que se distribuyen independientemente e idénticamente, como generalmente se hace en la investigación estadística en finanzas.

La siguiente gráfica 18, muestra el comportamiento de los rendimientos de la muestra total a través del periodo 2008-2011

Gráfica 18. Rendimientos del Tipo de Cambio. 2008-2011



Cuadro 16. Estadística Rendimientos Diarios de las Monedas. 2008-2011

Estadística básica para los Rendimientos Diarios de Divisas				
	BRL	CAD	CLP	MXP
Mean	0.000243	7.58E-05	0.000105	0.00028
Median	0	-7.78E-05	0	-0.000381
Maximum	0.249856	0.060167	0.083354	0.076083
Minimum	-0.151245	-0.055588	-0.092126	-0.074166
Std. Dev.	0.020688	0.009518	0.010764	0.01022
Skewness	1.646727	-0.060542	0.183865	0.540537
Kurtosis	33.51231	8.422267	17.73745	17.05566
Jarque-Bera	40146.26	1253.842	9263.595	8470.874
Probability	0	0	0	0
Observations	1023	1023	1023	1023

Nota: las estadísticas básicas para los rendimientos diarios de las divisas están estimadas con el software Eviews versión 5 a un nivel de confianza del 1%

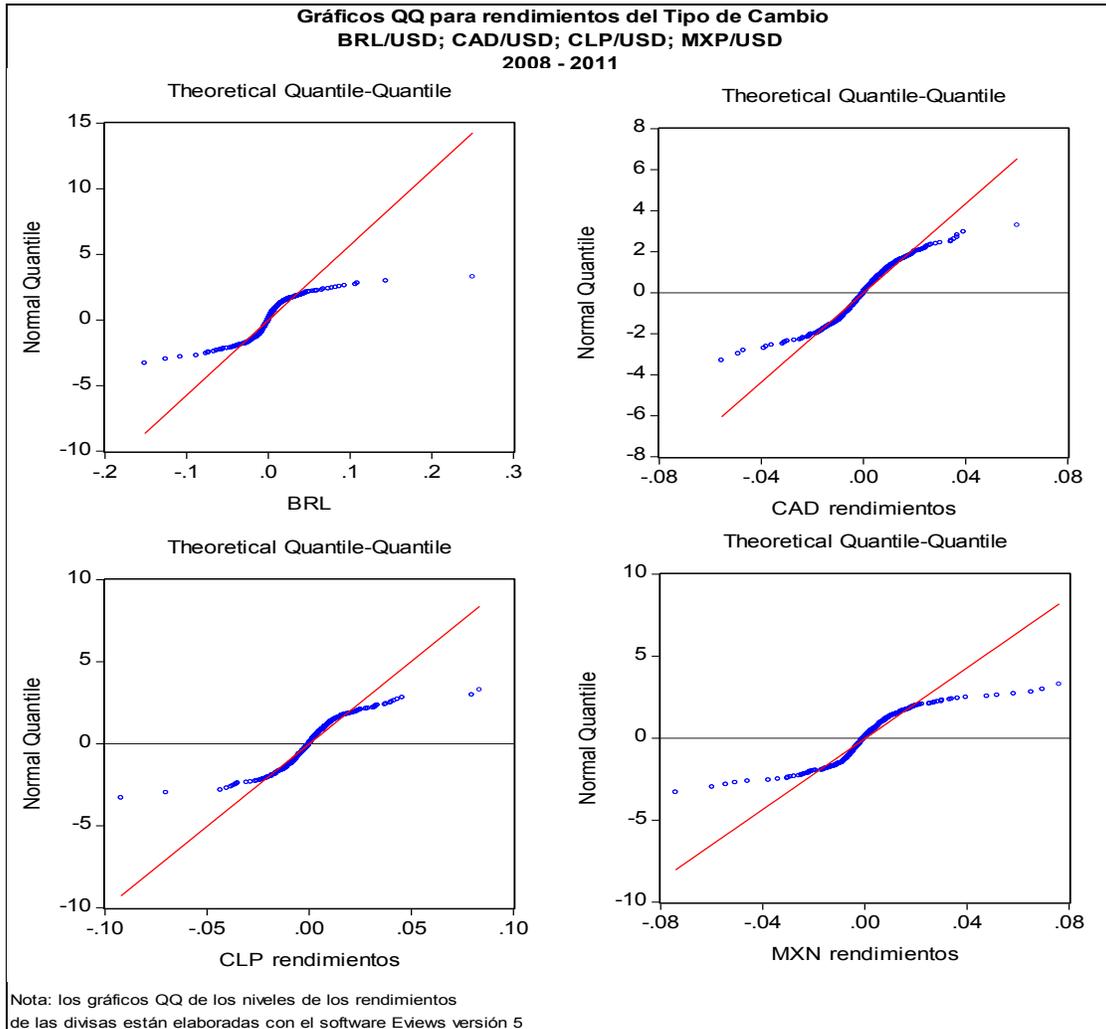
Los rendimientos de las dos series financieras presentan evidencia de exceso de curtosis extremadamente alta y estadísticamente significativa. Por ejemplo, la curtosis más alta se observó en la moneda Real de Brasil (BRL) con valor 33.51, seguida por la del Peso de Chile (CLP) con valor de 17.73, por la del Peso de México (MXP) con valor de 17.05 y por el Dólar de Canadá (CAD) con valor de 8.42. Esto confirma que las colas de la distribución de rendimientos de las series financieras tienden a ser más pesadas que las colas de la distribución normal, ya que poseen mayor densidad probabilística. En finanzas, el fenómeno de leptocurtosis ha sido significativamente más fuerte en los rendimientos de frecuencia alta o diarios que para rendimientos de frecuencia baja y horizonte de tiempos más largos.

La ausencia de normalidad también puede ser confirmada por la prueba estadística Jarque-Bera (1980) que sigue una distribución Chi cuadrada con dos grados de libertad. La evidencia del rechazo del supuesto de normalidad para las distribuciones de los rendimientos diarios es notable, principalmente para CLP, MXP, BRL y CAD respectivamente.

Por otra parte, el gráfico 19 ó Gráfico QQ es considerado otra herramienta estadística alternativa que permite explicar la estructura principal en los mercados y el análisis de los valores extremos capturados en las colas de la distribución de

rendimientos de las series financieras. Básicamente, el Gráfico QQ compara los cuantiles de la distribución empírica contra los cuantiles de la distribución de referencia.

Gráfica 19. Gráficos QQ para Rendimientos del Tipo de Cambio. 2008-2011

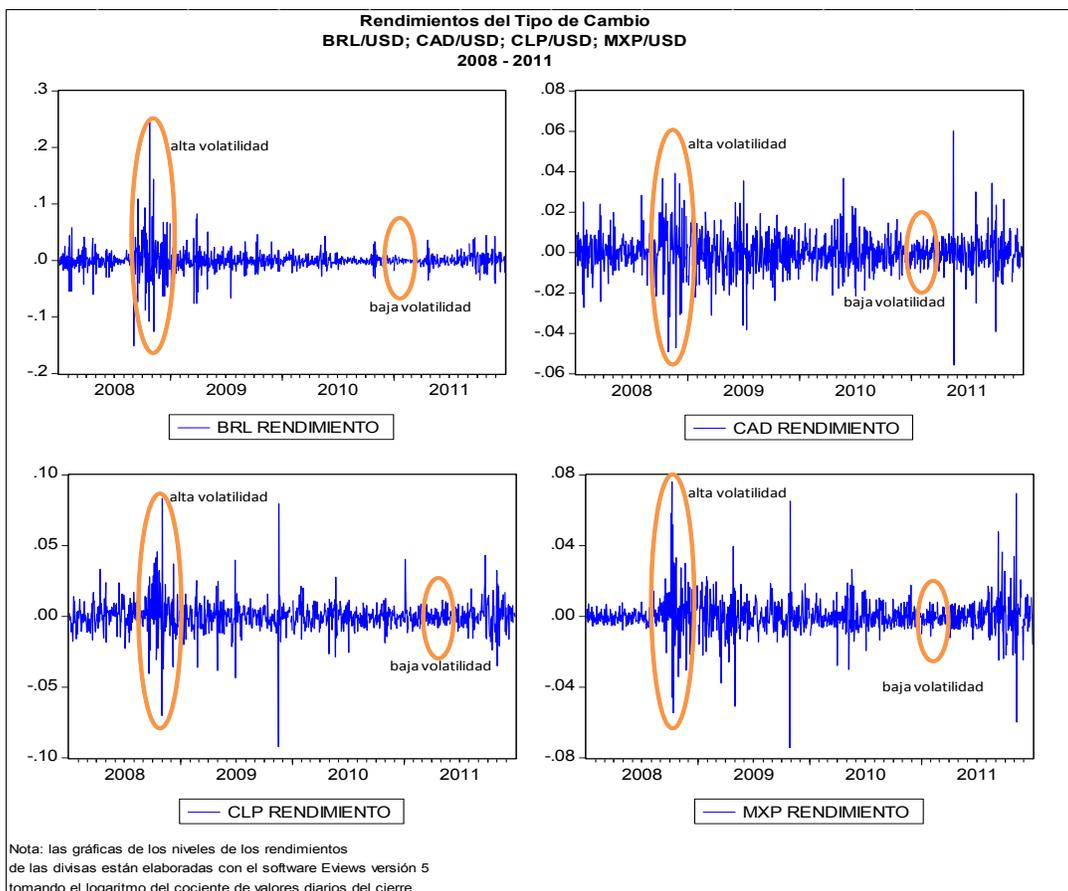


La Gráfica 19 muestra claramente que las distribuciones de rendimientos de los índices accionarios presentan propiedades de colas pesadas y formas más picudas que la distribución normal. Si los rendimientos realmente siguen una distribución normal, todas las observaciones deberían permanecer sobre una línea recta de 45 grados cuando se grafican contra los cuantiles de la distribución normal. Sin embargo, las observaciones se desvían de la línea recta en los puntos extremos o colas, presentando mayor variabilidad que las observaciones

capturadas en la parte central de la distribución. De ahí, la típica curva en forma de “S” que indica que las distribuciones de rendimientos de las monedas BRL, CAD, CLP y MCP presentan un comportamiento más leptocúrtico y asimétrico con respecto a la distribución normal.

La gráfica 20 muestra las series de los rendimientos financieros presentan periodos de tranquilidad donde los rendimientos se comportan más o menos estables seguidos de periodos relativamente volátiles, caracterizados por cambios grandes en los precios que generalmente ocurren en clusters. Esto implica que las series financieras presentan evidencia de heteroscedasticidad condicional, comúnmente conocido como el efecto clustering.

Gráfica 20. Rendimientos del Tipo de Cambio. 2008-2011



Por lo anterior los rendimientos de las monedas BRL, CAD, CLP y MXP son candidatos para analizar las relaciones entre el comportamiento de los

rendimientos extremos y el riesgo financiero en mercados altamente volátiles utilizando distribuciones de colas pesadas.

Otro enfoque de análisis de los rendimientos extremos en rendimientos de las monedas BRL, CAD, CLP y MXP; es aplicando el método de regresión de mínimos cuadrados, se eligió como variable independiente al índice Down Jones (DJ), por que las series de las monedas BRL, CAD, CLP y MXP están expresadas en dólares estadounidenses.

Cuadro 17. Regresión Rendimientos Monedas. 2008-2011

Dependent Variable: DJ				
Method: Least Squares				
Date: 04/16/12 Time: 22:11				
Sample (adjusted): 1/03/2008 12/30/2011				
Included observations: 1023 after adjustments				
Variable	Coeficiente	Error estándar	Estadístico t	Prob.
C	-0.116356	0.114251	-1.018421	0.3087
BRL	10.94686	5.663366	1.932925	0.0535
CAD	16.35487	13.12667	1.245926	0.2131
CLP	-21.44095	10.88218	-1.970281	0.0491
MXP	1.107387	12.24947	0.090403	0.9280
R-squared	0.008344	Mean dependent var		-0.114397
Adjusted R-squared	0.004447	S.D. dependent var		3.660764
S.E. of regression	3.652615	Akaike info criterion		5.43364
Sum squared resid	13581.75	Schwarz criterion		5.457738
Log likelihood	-2774.307	F-statistic		2.141287
Durbin-Watson stat	1.021014	Prob(F-statistic)		0.073753
Nota: El método de mínimos cuadrados es estimado con el software Eviews v. 5				

Entonces, el modelo estimado es:

$$DJ = -0.1163 + 10.94686 \text{ BRL} + 16.35487 \text{ CAD} + -21.44095 \text{ CLP} + 1.107387 \text{ MXP}$$

El coeficiente de determinación R-cuadrado es igual a 0.008344 y en contraste con los individuales se observa que todas las variables independientes (BRL, CAD, CLP y MXP), son significativas.

El logaritmo de la función de verosimilitud (Log likelihood) es el valor de la función objetivo cuando estimamos por máxima verosimilitud es igual a -2744.307,

lo que indica que los datos tienen distribuciones Fréchet ó Tipo II (distribución de colas pesadas) lo que generalmente válida que se trata de series financieras y es una condición suficiente para garantizar que la cola de la distribución de una secuencia de pérdidas extremas se localiza en el dominio de la distribución de valores extremos.

Ahora bien, contando con una muestra para realizar el análisis de los rendimientos extremos en las series BRL, CAD, CLP y MXP se aplica la técnica de bloques máximos de la teoría de valor extremo, la cual consiste en dividir la muestra total de datos de cada serie financiera en sub-muestras que contienen un determinado número de observaciones y donde se seleccionan los rendimientos extremos mínimos y máximos. El número de rendimientos extremos para cada muestra depende de la selección del tamaño de la sub-muestra y el tamaño de la muestra total. Aquí, los rendimientos extremos diarios son seleccionados para el periodo de un año ($n=252$). Finalmente, una vez formados las muestras de rendimientos extremos se estiman los parámetros de la distribución de valor extremo generalizada. Los parámetros de localización, escala e índice de la cola se estiman por el método de estimación de máxima verosimilitud de manera independiente para cada cola de la distribución de rendimientos y después se estima el VaR.

El resultado de la estimación de los parámetros de la distribución de valor extremo generalizada, lo muestra en la siguiente cuadro:

Cuadro 18. Resultado Estimadores. Distribución de Valor Extremo Generalizada

Estimadores de Máxima Verosimilitud de la Distribución de Valor Extremo Generalizada para los Rendimientos Diarios Máximos y Mínimos de las Divisas BRL, CAD, CLP y MXP				
Moneda	Tamaño Submuestra	Parámetro Localización	Parámetro Escala	Índice de la Cola
	n	β_n	α_n	ξ_n
Rendimientos Máximos				
BRL	252	0.032062	0.029540	-0.038196
CAD	252	0.015895	0.007763	-0.069363
CLP	252	0.017487	0.011784	-0.039887
MXP	252	0.016933	0.012108	-0.032917
Rendimientos Mínimos				
BRL	252	-0.029427	0.022537	-0.040984
CAD	252	-0.014979	0.007674	-0.007894
CLP	252	-0.016073	0.011077	-0.021588
MXP	252	-0.014285	0.011012	-0.020269

Nota: datos estimados en Eviews versión 5 a un nivel de confianza del 5%

De los resultados se puede observar que el parámetro del índice de la cola considerado el más importante para explicar el comportamiento asintótico de las colas de la distribución de rendimientos de las series financieras. Los valores estimados del índice de la cola izquierda para los rendimientos mínimos negativos en las monedas oscilan entre -0.040984 y -0.007894, indicando que la moneda con el índice de cola más pesada, más ancha o de mayor riesgo es la BRL y la de menor riesgo es CAD. La cola derecha muestra que la moneda que puede llegar a presentar mayores rendimientos positivos es CAD con -0.069363 y la de menores es MXP con -0.032917.

La distribución asintótica de los rendimientos extremos se encuentra en el máximo dominio de atracción de la distribución de Fréchet comúnmente conocida como la distribución de colas pesadas o gruesas, generalmente utilizada para modelar datos financieros reales. Debido a que las economías de Brasil, Chile, México han experimentado una oleadas de trastornos profundos tales como crisis financieras, devaluaciones, presiones inflacionarias, cambios de regímenes dramáticos, así como importantes auges económicos como consecuencia del creciente interés de los inversionistas internacionales para tomar posiciones financieras en los mercados emergentes que violan el supuesto de normalidad.

El resultado de la estimación del VaR lo muestra el cuadro 16:

Cuadro 19. Resultados VaR estimado Modelo Histórico vs. Modelo TVE

Valor en Riesgo estimado				
Moneda	VaR 5 %		VaR 1 %	
	Histórico	TVE	Histórico	TVE
BRL	-0.2111	-0.9814	-0.2981	-1.0228
CAD	-0.0919	-0.9662	-0.1297	-1.0068
CLP	-0.1060	-0.9836	-0.1497	-1.0250
MXP	-0.1014	-1.0169	-0.0868	-1.0598

La interpretación de la tabla anterior es, si se supone un horizonte de inversión de un día y un nivel de confianza de 5% se tienen que los datos que presenta el VaR más adversos los presenta la moneda BRL, seguida por CLP, MXP y CAD. Ahora bien, el VaR TVE se refiere a los eventos que muestran mayor volatilidad a la normal, que provocan pérdidas adicionales al VaR, es este caso los datos más adversos los presenta la moneda MXP con -1.0169, seguida por CLP con -0.9836, BRL con -0.9814 y CAD con -0.9662, al 5%. En resumen la moneda MXP es la que puede presentar mayor valor al riesgo ante eventos irregulares, seguida por CLP, BRL y CAD.

Una observación importante que se debe resaltar en la mayoría de los modelos de medición de riesgo propuestos en la literatura es que únicamente tratan los rendimientos negativos capturados en la cola izquierda de la distribución de probabilidad, esto es, las instituciones financiera y los inversionistas compran activos financieros cuando los precios presentan una tendencia a la baja y venden cuando los precios suben. En este sentido, el potencial de la teoría del valor extremo permite proporcionar información del riesgo de las colas de la distribución de rendimientos de manera independiente. En otras palabras, la estimación del VaR para las posiciones para las posiciones financieras larga y corta. En el primer caso, los inversionistas podrían incurrir en pérdidas cuando el precio de los activos financieros baja de precio como consecuencia de la necesidad de liquidez, mientras que en el segundo caso el inversionista sufrirá pérdidas cuando el activo financiero suba de precio. Esto generalmente sucede cuando los inversionistas realizan operaciones de ventas en corto, es decir, especulan con activos

financieros que ha pedido prestados para venderlos en ese mismo momento, con el fin de obtener un beneficio significativo siempre y cuando sus expectativas a la baja se cumplan en el futuro. En este contexto, la estimación del VaR para una posición financiera corta se considera la cola derecha de la distribución de rendimientos positivos.

Los resultados empíricos anteriores explican los efectos positivos de utilizar el cuantil de la distribución de valor extremo generalizada como medida de riesgo en el análisis del VaR para altos niveles de confianza, puesto que proporcionan mejor información del perfil del riesgo o de las pérdidas potenciales a que están expuesto los inversionistas a medida que se toma información capturada en las colas de la distribución de rendimientos.

Capítulo 6. Conclusiones

En esta investigación se inició con una pregunta principal ¿Cuál es el impacto en la estimación de aplicar la TVE en el cálculo del VaR en el mercado cambiario? buscando el objetivo general “Estimar la aplicación de TVE al VaR en el mercado cambiario 2008 – 2001”, la cual nos llevó a dos hipótesis principales: el VaR histórico sobre valúa las pérdidas reales y el VaR al aplicar TVE sobre valúa las pérdidas reales.

Entonces, se han comprobado las hipótesis principales y se sustentan en el hecho de que al aplicar TVE se puede identificar la forma de la distribución de los cambios en los rendimientos de las series financieras utilizadas en éste estudio y así poder analizar el comportamiento de las colas de distribución para identificar el impacto sobre el riesgo en el mercado cambiario. Por lo que se considera que la Teoría del Valor Extremo es un complemento en la estimación del Valor en Riesgo para la toma de decisiones.

En el siguiente cuadro presenta que el VaR histórico sobre valúa las pérdidas reales y que el VaR al aplicar TVE sobre valúa las pérdidas.

Cuadro 20. Valor en Riesgo estimado y observado

Valor en Riesgo estimado y observado						
Moneda	VaR 5 %			VaR 1 %		
	Histórico	TVE	Observado	Histórico	TVE	observado
BRL	-0.2111	-0.9814	-0.1079	-0.2981	-1.0228	-0.1524
CAD	-0.0919	-0.9662	-0.0497	-0.1297	-1.0068	-0.0701
CLP	-0.1060	-0.9836	-0.0562	-0.1497	-1.0250	-0.0793
MXP	-0.1014	-1.0169	-0.0533	-0.0868	-1.0598	-0.0753

La interpretación del cuadro anterior es, si se supone un horizonte de inversión de un día y un nivel de confianza de 5% se tienen que los datos que presenta el VaR más adversos los presenta la moneda BRL, seguida por CLP, MXP y CAD. Ahora bien, el VaR TVE se refiere a los eventos que muestran mayor volatilidad a la normal, que provocan pérdidas adicionales al VaR, es este caso los datos más adversos los presenta la moneda MXP con -1.0169, seguida por CLP con -0.9836, BRL con -0.9814 y CAD con -0.9662, al 5%. En resumen la moneda

MXP es la que puede presentar mayor valor al riesgo ante eventos irregulares, seguida por CLP, BRL y CAD.

En esta investigación los principales hallazgos se resumen de la siguiente manera:

- ✓ Los resultados empíricos obtenidos en el modelo de Simulación Histórica también pueden capturar los eventos extremos, las características leptocurtósicas de la distribución (colas más anchas que la normal) sin hacer ningún supuesto sobre la forma de la distribución de los cambios en el valor del conjunto de las monedas. Lo anterior sustentado por la prueba de Kupiec.
- ✓ Los resultados indican que las distribuciones de rendimientos de las monedas el Real de Brasil, el Dólar de Canada, el Peso de Chile y el Peso de México, en el periodo 2008-2011, presentan propiedades de colas pesadas o gruesas como consecuencia del exceso de kurtosis. Este hecho es sustentado por los valores negativos estimados del índice de la cola de la distribución del valor extremo, demostrando así que la distribución asintótica para rendimientos extremos se encuentra en el dominio de atracción de la distribución de Fréchet consistente con la distribución de colas pesadas, comúnmente utilizada para modelar los rendimientos financieros reales.
- ✓ Las colas derecha e izquierda de la distribución de rendimientos presentan diferentes características como consecuencia del sesgo o asimetría, razón por la que el grado del riesgo tiene un comportamiento diferente en cada país, principalmente en las economías emergentes como la de Brasil, México y Chile donde los movimientos atípicos ocurren con mayor frecuencia como resultado de los cambios de regímenes en periodos de corto plazo.
- ✓ Los resultados empíricos demuestran que el uso del cuantil de la distribución de valor extremo generalizada como medida de riesgo

para el análisis del VaR proporciona información más robusta del riesgo financiero que las medidas paramétricas convencionales para niveles de confianza del 99% y 95 %.

- ✓ Una de las principales debilidades que presenta el modelo de valor extremo basado en el procedimiento de bloques máximos es que puede subestimar el riesgo en periodos de inestabilidad o turbulencia financiera, en donde varios rendimientos extremos importantes pueden quedar fuera de la muestra.
- ✓ Otra limitación del modelo de valor extremo es que la aproximación estima el riesgo de manera individual al no capturar los efectos de la diversificación.
- ✓ El modelo de valor extremo no recoge la volatilidad estocástica exhibida por las series financieras, estimando el riesgo de manera estática.

Aplicando el modelo de simulación del VaR y el modelo de la teoría del valor extremos del VaR como un complemento para la toma de decisiones puede ser una manera efectiva en la administración del riesgo financiero, permitiendo así a los inversionistas tener una mejor perspectiva de la magnitud del verdadero riesgo derivado de las decisiones de inversión de compra o venta bajo incertidumbre en los mercados desarrollados y emergentes, principalmente para los inversionistas institucionales considerados, hoy en día, como las nuevas figuras del sistema financiero internacional como resultado de la desregulación financiera generalizada a nivel mundial. Estos nuevos actores que operan en el mercado de dinero, mercado de renta variable y mercados de productos derivados requerirán del desarrollo de la combinación de estrategias de operación para maximizar sus rendimientos, así como de nuevas metodologías o herramientas de fácil aplicación como el modelo de Simulación Histórica del VaR, así como complementos de análisis de herramientas innovadoras como el modelo de la Teoría del Valor Extremo del VaR que coadyuven a dar un seguimiento fácil, rápido y mejor sobre la sensibilidad de un portafolio de inversión, y un mejor control en el análisis del riesgo financiero, a fin de conservar el régimen de inversión en el cual se

comprometieron a operar. Por lo que las medidas del valor extremo desempeñan un papel complementario en la nueva era del desarrollo de la administración de riesgos, puesto que el análisis del perfil del riesgo extremo no sólo se debe de explicar en función de la volatilidad o desviación estándar sino también debe incluir eventos poco probables y de magnitudes extremas.

Los resultados de ésta tesis coinciden en alguna de sus partes con los estudios presentados en el capítulo cuatro, realizados por Balzarrotti (2001), Seymour (2003), Johnson (2005), Dunis (2010), Cayton (2010), Arreyah (2011) y Rufino (2011), por lo siguiente:

- Balzarrotti (2001), realizó su estudio con series financieras: índice Merval, acciones Telecom, Acindar y Global, con periodo de tiempo de 1994 al 2001, utilizó una metodología tradicional para valuar el riesgo y después integró la teoría del valor extremo, concluyendo que el uso de TVE es simple y provee una cobertura mucho más adecuada que la forma del cálculo tradicional. Coincide con esta Tesis por que utiliza un modelo tradicional y después incorpora la TVE, lo que da valor agregado a la estimación del riesgo. Difiere de ésta Tesis porque Balzarrotti para su estudio, trabajó con series financieras del mercado accionario y además utiliza la Distribución Generalizada de Pareto.
- Seymour (2003), en su estudio utilizó para la predicción del VaR el método de Simulación Histórica Tradicional, aplicando la Teoría del Valor Extremo, concluyendo que la estimación es más precisa para analizar el comportamiento en las colas de distribución, coincidiendo con esta Tesis, y difiere en que el utilizó series financieras del mercado accionario de Sudáfrica y agregando en su estudio una comparación con los modelos Garch.
- Johnson (2005), aplicó en su estudio las metodologías Delta-Normal, Monte Carlo y TVE, concluyendo que la metodología de valores extremos (TVE) es la que mejor captura la forma de la cola de la distribución y reporta un incremento en las probabilidades de ocurrencia de valores atípicos.

Coincide con esta Tesis por que TVE captura la forma de la cola de la distribución y difiere por que utiliza diferentes activos de renta fija del mercado accionario de Chile.

- Dunis (2010), utiliza un Modelo Neuronal en el que incluye el modelo de la Teoría al Valor Extremo, Promedios Móviles y Modelos Garch, concluyendo que el modelo híbrido presentado demostró un mejor pronóstico del rendimiento y que el modelo TVE presentó un pronóstico decepcionante, el cual se atribuye al hecho de que sólo unos pocos eventos extremos están presentes en la base de datos del 1 de abril del 2002 al 31 de marzo del 2007; y es en éste punto en el que coincide con el capítulo 5 de ésta Tesis, porque antes de aplicar la TVE se realizó una descripción y análisis de los datos de las series financieras del periodo 2008 al 2011, y se determinó que si existe viabilidad en aplicar la TVE a los datos utilizados en ésta Tesis, lo cual se sustenta al observar los gráficos QQ de la gráfica número 19.
- Cayton (2010), en su estudio aplicó Modelos econométricos VaR y Garch, además de utilizar la técnica de picos sobre un umbral o POT (*Peaks over threshold* por sus siglas en inglés) para abordar el cálculo de la TVE, concluyendo que la TVE se observa como el mejor modelo, por que identificó eventos situados en las colas de la distribución, es precisamente en esta parte en la que coincide con ésta Tesis solo difiere en que al abordar el cálculo de TVE aquí se utilizó el procedimiento de bloque máximo, según se explica en el capítulo 3 apartado 3.5.
- Arreyah (2011), presentó en su estudio una construcción de análisis de series temporales a lo largo de la memoria con series de tiempo en una distribución de valor extremo, con concluyendo que la TVE es una medida complementaria esencial en la gestión del riesgo en las finanzas. Coincide con ésta Tesis en que la TVE debe utilizarse como una medida complementaria al VaR y difiere por que las series financieras que utiliza en su investigación son las del mercado accionario de Singapore en el periodo de 1997 a 2009.

- Rufino (2011), en este estudio se aplica el modelo tradicional histórico del VAR agregando la Teoría del Valor en Riesgo. Este trabajo propone aplicar de la teoría del valor extremo en el cálculo del Valor en Riesgo para centrarse directamente en el comportamiento de la cola de la distribución de la rentabilidad. El modelado se realiza en tipos de cambio diarios rendimientos de 3 países de Asia del 24 de enero del 2004 al 31 de enero del 2010. Concluye que la evidencia empírica confirma los hechos estilizados que las distribuciones de los retornos de los activos financieros son típicamente de forma leptocurtica y de gruesa cola en la distribución. La gestión de riesgos se debe de ocupar de analizar la distribución de las colas, o eventos en los extremos de la distribución de los activos financieros. Además en la estimación de la magnitud y la probabilidad de eventos extremos se debe prestar mayor atención, que a las características estadísticas básicas de tendencia central que presenten los activos financieros. Por lo tanto el autor propone la aplicación de la teoría del valor extremo en el cálculo del VaR para centrarse directamente en el comportamiento de la distribución de la rentabilidad de la cola de las monedas de Asia. Por lo anterior éste estudio coincide con ésta Tesis y solo difiere por las monedas utilizadas, que para este caso fueron el Real de Brasil, el Peso de Chile, el Peso de México, el Dólar de Canadá al tipo de cambio del Dólar estadounidense.

Los resultados de ésta tesis difieren con los estudios presentados en el capítulo cuatro, realizados por Yu Chuan (2004), Mauricio Zevallos (2007), Ramón Aragonés (2008), Reza Noubary (2008), Pilar Abad (2009), Houduo Qi (2010), Ravi Ravidran (2010), Xupeng Wang (2010) y son diferentes por la metodología utilizada y por los objetivos de las investigaciones.

En los cuadros 21 y 22 se presentan en forma de resumen una correlación de similitudes y diferencias de los estudios descritos en el capítulo cuatro y las conclusiones de la tesis del capítulo 6.

Cuadro 21. Correlación Conclusiones I

Cuadro. Correlación Conclusiones. I Estudios Relacionados capítulo 4 y Tesis capítulo 6							
				Las conclusiones de los Estudios relacionados y las de la Tesis:			
Año	Autor	Titulo del Estudio	Metodología empleada	Coincide con Tesis	Difiere de Tesis	Conclusiones del Autor	
1	2001	Veronica Balzarrotti	Teoría de valores extremos aplicada a la medición de riesgos de mercado en Argentina	La metodología es primero un modelo tradicional de Valor en Riesgo y luego aplicar TVE como una herramienta que trata de proveernos con la mejor estimación posible de las colas de la distribución.			El cálculo de los VaR de las posiciones individuales en los distintos activos mediante el uso de EVT es bastante simple, y provee una cobertura mucho más adecuada que la forma de cálculo tradicional.
2	2003	Anthony J. Seymour	A Coupling of Extreme-Value Theory and Volatility Updating with Value-at-Risk Estimation in Emerging Markets: A South African Test	Tres modelos para la predicción del VaR: Simulación Histórica Tradicional, RiskMetrics, Garch, así como extensiones de éstos modelos aplicando la Teoría del Valor Extremo			El aplicar la Teoría del Valor Extremo a cada uno de los modelos, da estimaciones más precisas del comportamiento en las colas de distribución.
3	2004	Yu Chuan Huang	Value-at-Risk Analysis for Taiwan Stock Index Futures: Fat Tails and Conditional Asymmetries and Return Innovations	Métodos en Valor en Riesgo, RiskMetrics y Arch			Los resultados muestran que en los niveles de confianza más bajos se pueden hacer uso de modelos Garch y para los niveles de confianza más altos, el modelo t-Student puede proporcionar mejores resultados en predicción del VaR.
4	2005	Christian A. Johnson	Métodos alternativos de evaluación del riesgo para portafolios de inversión	Delta Normal, teoría de valores extremos, tracking error y Monte Carlo			El cálculo efectuado por la metodología de valores extremos (EVT) es la que mejor captura la forma de la cola de la distribución y reporta un incremento en las probabilidades de ocurrencia de outliers (valores atípicos).
5	2005	Federico Alcalde Bessia	La Teoría de los Eventos Extremos, aplicación para evaluación de riesgos	Metodos paramétricos a partir del caso univariado de Teoría de Valores Extremos, se llega al bivariado presentando, la valuación del riesgo			El uso del caso univariado puede ser útil en situaciones en las que la simplicidad del problema justifica su uso. En el caso bivariado, la estimación se hace más compleja. Sin embargo, el uso de software apropiado (R, S-Plus) simplifica el camino y ayuda a obtener mejores resultados en la estimación.
6	2007	Mauricio Zevallos	Estimación de riesgo en carteras de inversión	Métodos Econométricos, Regresión Cuantílica y Teoría del Valor Extremo.			Se encuentra evidencia a favor de los métodos condicionales, la normal condicional subestima para la probabilidad menor a .95 y para elegir el mejor método se debe considerar la naturaleza de las pérdidas (intradía, diaria y semanal) y por lo tanto tener cuidado con horizontes a largo de plazo del VaR. Propone utilizar Modelos Multivariados de Covarianza Condicional y Cópulas.
7	2008	Aragónes Ramón	Crisis Financieras y Gestión del Riesgo de Mercado	Utilizar medidas "coherentes" de riesgo como la pérdida esperada de la cola; el uso de técnicas de medición de movimientos extremos como la Teoría del Valor Extremo y un Sistema de Contraste de Tensión que tenga en cuenta las interrelaciones de los factores de riesgo en las colas de la distribución y pueda ser incorporado a los modelos tradicionales de medición del riesgo.			el enfoque del valor extremo proporciona una solución natural al problema práctico de cómo estimar los cuantiles extremos cuando tenemos, por definición, muy poca información histórica en la cual basar el análisis. El análisis de tensión debe ser realizado con una metodología consistente y realista, que tenga en cuenta las características de riesgo de las colas de la distribución de rendimientos y deber ser incorporado a los modelos tradicionales de valoración del riesgo
8	2008	Reza Noubary	It is Time to Include Extremes in Statistics Curriculum	El objetivo del artículo es de dar valor a temas relacionados para el estudio de valores atípicos y valores encontrados fuera del promedio, por lo que analiza la posibilidad en utilizar la Teoría del Valor Extremo, para evaluar eventos atípicos.			Añadir el Teorema del Límite Central y/o la Teoría del Valor Extremo al análisis de valores de datos con frecuencias altas y medias debido a que son el foco de análisis estadístico. considera el autor que se ha descuidado el tratar como propone comprender la teoría que rodea el análisis de los valores extremos ya que puede simplificar la comprensión del cálculo del Valor en Riesgo de activos financieros, así como la interpretación adecuada de los resultados.

Fuente: Elaboración propia en base a Balzarrotti (2001), Seymour (2003), Chuan (2004), Johnson (2005), Alcalde (2005), Zevallos (2007), Aragónes (2008), Noubary (2008)

Cuadro 22. Correlación Conclusiones II

Cuadro. Correlación Conclusiones. II Estudios Relacionados capítulo 4 y Tesis capítulo 6							
				Las conclusiones de los Estudios relacionados y las de la Tesis:			
Año	Autor	Título del Estudio	Metodología empleada	Coincide con Tesis	Difiere de Tesis	Conclusiones del Autor	
9	2009	Riar Abad	Accurate of VaR Calculated Using Empirical Models of the Term Structure	Modelos de regresión, Modelos paramétricos y Modelos Garch, incluyendo Riskmetrics.			es importante incluir la volatilidad en cada uno de los modelos que se pretenda utilizar para estimar el Valor en Riesgo para lograr que la predicción del riesgo sea más precisa.
10	2010	Christian L. Dunis	Modelling commodity value at risk with order neural networks	Modelo Neuronal incluyendo la Teoría del Valor Extremo, Promedios Móviles y los Modelos Garch			El modelo híbrido presentado demostró un mejor pronóstico del rendimiento y por otro lado el modelo de la Teoría del Valor Extremo presentó un pronóstico decepcionante, el cual se puede atribuir al hecho de que sólo unos pocos eventos extremos están presentes en la base de datos (1 abril 2002 al 31 marzo 2007).
11	2010	Houduo Qi	Correlation stress testing for value-at-risk: an unconstrained convex optimization approach	pruebas de correlación de escenarios de estrés para valorar el riesgo (VaR) y prueba sin restricciones de optimización convexa			El método utilizando el algoritmo de Newton optimiza la valuación del riesgo en los escenarios de estrés.
12	2010	Peter Julian A. Cayton	Estimating Value At-Risk (VaR) Using Tivex-Pot Models	Modelos econométricos: VaR y Garch. Técnica POT para abordar el cálculo de la Teoría del Valor Extremo			los modelos econométricos son conservadores, precisos y eficientes en la predicción de las pérdidas del tipo de cambio a través de la metodología Valor en Riesgo, excepto en EGARCH el cual exagera los niveles de riesgo y de capital en situaciones sin crisis. Que la técnica POT (<i>Peaks Over Thresholds</i>), que aplica para abordar el cálculo utilizando la Teoría del Valor Extremo se ve como el mejor modelo, porque es más preciso en la predicción de la ocurrencia de eventos extremos o eventos situados en las colas de la distribución.
13	2010	A. Ravi Ravindran	Risk Adjusted multicriteria supplier selection models with applications	Modelos de riesgo, el valor en riesgo (VaR) y el de pérdida de meta, en sus siglas en inglés <i>miss-the-target</i> (MT).			El modelo matemático de varios criterios puede ser ampliado para incorporar los riesgos en las cadenas de suministro descentralizados que incluyen proveedores, fabricantes, mayoristas, minoristas y clientes.
14	2010	Xupeng Wang	Risk Measure estimation in Finance	Métodos: Simulación Histórica (HS), Teoría del Valor Extremo (EVT) y Garch			Los modelos Garch-EVT y Garch-HS aportan los mejores resultados para valorar el Valor en Riesgo debido a que los modelos toman en cuenta la volatilidad.
15	2011	Chaitip Arreyah	The Value at Risk of South East Asian Countries	Construcción de análisis de series temporales a lo largo de la memoria con series de tiempo en una distribución de valor extremo.			La teoría del valor extremo es una medida complementaria esencial de la gestión del riesgo en las finanzas.
16	2011	Cesar C Rufino	Empirical Comparison of Extreme Value Theory	Modelos tradicionales del Valor en Riesgo agregando la Teoría del Valor en Riesgo			El autor propone la aplicación de la teoría del valor extremo en el cálculo del VaR para centrarse directamente en el comportamiento de la cola de la distribución de la rentabilidad.

Fuente: Elaboración propia en base a Abad (2009), Dunis (2010), Houduo (2010), Cayton (2010), Ravindran (2010), Wang (2010), Arreyah (2011), Rufino (2011)

Finalmente, las contribuciones de la presente tesis son relevantes desde el punto de vista académico, ya que los resultados alcanzados contribuyen a un mejor conocimiento sobre la aplicación del Valor en Riesgo en el modelo de simulación histórica, complementado por un modelo de teoría del valor extremo,

haciendo uso de conocimientos de estadística y econometría, adquiridos en mis estudios de maestría en finanzas bursátiles en la Universidad Nacional Autónoma de México, para la interpretación de los resultados. También proporciona a un mejor conocimiento del comportamiento del mercado de divisas en el grupo de monedas de Brasil, Chile, Canadá y México, además de proporcionar evidencia empírica sobre el potencial de la teoría de valor extremos como complemento al análisis del riesgo financiero para explicar el comportamiento de los rendimientos extremos durante periodos de crisis financieras o auges económicos.

Para estudios posteriores, queda como líneas de investigación la aplicación de redes neuronales al valor extremo y análisis fractal en valor extremo.

Bibliografía

- Abad Pilar. (2009). Accurate of VaR calculated using empirical models of the term structure. International journal of theoretical and applied finance, World scientific publishing company, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España. 811-832 pp.
- Alcalde Bessia Federico. (2005). La teoría de los eventos extremos, aplicación para evaluación de riesgos. Centro de investigación en métodos cuantitativos aplicados a la economía y gestión. Facultad de ciencias económicas, Universidad de Buenos Aires. 1-17 pp.
- Anderson David R., Sweeney Dennis J. and Williams Thomas A. (2004). Estadística para administración y economía. Thomson, México.
- Aragonés Ramón. (2004). Crisis Financieras y Gestión del Riesgo de Mercado. Business review actualidad económica, Universidad Complutense de Madrid.78-87 pp.
- Artzner P. (1999). Application of Coherent Risk Measures to Capital Requirements in Insurance, North American Actuarial Journal, Vol. 3, No. 2, 11-24 pp.
- Artzner P. (1999). Coherent Measures of Risk, Mathematical Finance, Vol. 9, 203-228 pp.
- Arreyah Chaitip. (2011). The Value at Risk of South East Asian Countries. Bussiness Review, Chiang Main University, ISSN 1537-1514, China, 763-770 pp.
- Balzarrotti Veronica. (2001) Teoría de valores extremos aplicada a la medición de riesgos de mercado en Argentina. Gerencia de investigación y planificación normativa, Argentina. 1-18 pp.
- Basel Committee. (2002). The quantitative impact study for operational risk: overview of individual loss data and lessons learned. Risk management group of the Basel committee on banking supervision, January, (<http://www.bis.org>).

- Castillo Carranco Nayeli. (2011). VaR: Análisis para inversiones en divisas. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México.
- Cayton Peter Julian A. (2010). Estimating Value-At-Risk (VaR) using Tivex-Pot models. *Journal of Advanced Studies in Finance*, University of the Philippines. 152-170 pp.
- Coles Stuart. (2001). An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer, London.
- Comité de Basilea (2011). Basilea III: Marco regulador global para reforzar los bancos y sistemas bancarios. Junio, (<http://www.bis.org>).
- Crouhy Michel, Galai Dan, Mark Robert. (2001). Risk management. Mc Graw Hill, New York.
- Chuan Huang Yu. (2004). Value-at-Risk for Taiwan stock index futures: fat tails and conditional asymmetries and return innovations. *Review of quantitative finance and accounting*, Kluwer academic publishers. Manufactured in the Netherlands. 79-95 pp.
- De Lara Haro Alfonso. (2011). Medición y control de riesgos financieros. Limusa, 3era. edición, México.
- Domínguez Ameyro Ramiro Alberto. (2011). El riesgo en carteras de crédito mexicanas: aplicación de Basilea II al cálculo del VaR. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México.
- Dunis Christian L. (2010). Modelling commodity value at risk order neural networks. Center for International Banking, Economics and Finance (CIBEF), Liverpool Business School, UK. 585- 600 pp.
- Embrechts Paul. (2000). Extremes and integrated Risk Management. UBS Warburg, Risk Waters Group, London.
- Embrechts Paul, Klüppelberg and Mikosh Thomas. (2005). Modelling extremal events for insurance and finance. Springer, London.
- Embrechts Paul, Rüdiger Frey and McNeil Alexander J. (2005). Quantitative risk management, concepts, techniques and tools. Princeton University Press, United States of American.

- Frenkel Michael, Hommel Ulrich, Rudolf Markus. (2000). Risk Management, Challenge and Opportunity. Springer, Germany.
- González Serna José de Jesús. (2009). Manual de fórmulas financieras. Alfaomega, México.
- Gitman J. Lawrence. (2005). Principios de administración financiera. Pearson Education, México.
- Gutiérrez Raúl de Jesús. (2008). Mercados accionarios emergentes: aplicación VaR y CVaR. Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- Gujarati Damodar N, Porter Dawn C. (2010) Econometría. 5ta edición, Mc Graw Hill, México.
- Houduo Qi. (2010). Correlation stress testing for value-at-risk: an unconstrained convex optimization approach. Spring Science Business Media, National University of Singapore. 427-462 pp.
- Hull, John C. (2007). Risk Management and Financial Institutions. Pearson Education, Prentice Hall, Toronto.
- Johnson Christian A. (2005). Métodos alternativos de evaluación del riesgo para portafolios de inversión. Revista latinoamericana de administración, Escuela de Negocios, Universidad Adolfo Ibáñez, Santiago, Chile. 33-65 pp.
- Jorion Phillipe. (2010). Valor en Riesgo, el nuevo paradigma para el control de riesgos con derivados. Limusa. México.
- J.P. Morgan (1995). Riskmetrics technical document. Third edition, New York.
- Kotz Samuel. (2010). Extreme value distributions. Imperial college press, the University of Nottingham, UK.
- Lacayo Hortensia. (2007) Metodología de la Investigación. Carpeta de apuntes, México.
- Lacayo Linares Rocio. (2007). VaR y CVaR medición del riesgo. Tesis licenciatura en Actuaría, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México.
- Loria Eduardo. (2007). Econometría con aplicaciones. Pearson Prentice Hall, México.

- Luna Arias Andrés. (2006). Alternativas estadísticas para el cálculo del valor en riesgo: VaR. Tesis licenciatura en Actuaría. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México.
- Marhuenda, Pedro (2001). Comparación entre métodos alternativos para la estimación del Valor en Riesgo. Working Paper, Universidad de Castilla-La Mancha.
- Martínez Preece Marissa del Rosario, López Herrera Francisco, Zubiera Badillo Carlos (Coordinadores). (2010). Administración de riesgos. Vol. I, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México.
- Martínez Preece Marissa del Rosario, López Herrera Francisco, Zubiera Badillo Carlos (Coordinadores). (2011). Administración de riesgos. Vol. II, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México.
- Noubary Reza. (2008). It is time to include extremes in statistics curriculum. Northeast decision sciences Institute Proceedings, 192-197 pp.
- Newbold Paul, Carlson William, Thorne Betty. (2011). Estadística para administración y economía. Pearson Prentice Hall, España.
- Ravindran Ravi A. (2010). Risk adjusted multicriteria supplier selection models with applications. International Journal of production Research, Pennsylvania State University, USA, 405-424 pp.
- Reiss R. D., M. Thomas. (1998). Statistical analysis of extreme values, from insurance, finance, hidrology and other fields. Birkhäuser Verlag, Berlin.
- Rufino Cesar C. (2011). Empirical Comparison of Extreme Value Theory. DLSU Business & Economics Reviews. De la Salle University, Philippines, 9-22 pp.
- Sánchez Cerón Carlos. (2001). Valor en riesgo y otras aproximaciones. Valuación, Análisis y Riesgo, S.C., México.
- Seymour Anthony J. (2003). A Coupling of extreme value theory and volatility updating with Value-at-Risk estimation in emerging markets: A South African test. Multinational Financial Journal, University of Cape Town and Cadiz Holdings, South Africa. 3-23 pp.

- Venegas Martínez Francisco. (2008). Riesgos financieros y económicos, productos derivados y decisiones económicas bajo incertidumbre. segunda edición, CENGAGE Learning, México.
- Wang Xupeng. (2010). Risk measure estimation in finance. University of Alberta, ISBN: 978-0-949-625149, Edmonton Alberta, Canada, 1-72 pp.
- Zevallos Mauricio. (2007). Estimación de riesgo en carteras de inversión. UNICAMP, departamento de estadística, Universidad de Campinas, Brasil. 1-35 pp.

Anexo I

En ésta investigación hace uso de un conjunto de datos diarios de las monedas el Real de Brasil (BRL), el Dólar de Canadá (CAD), el Peso de Chile (CLP) y el Peso de México (MXP), al tipo de cambio del Dólar estadounidense (USD) del 1 de enero del 2008 al 31 de diciembre del 2011, totalizando en promedio 1022 observaciones diarias por cada país. La fuente de los datos es la página web del Fondo Monetario Internacional (<http://www.imf.org/external/data.htm>). A continuación se presentan tabla con 1023 escenarios utilizados en Eviews versión 5 para el cálculo.

ESTIMACION ESCENARIOS

	Brazilian real(BRL)	Canadian dollar(CAD)	Chilean peso(CLP)	Mexican peso(MXN)
0				
1	1.832031	1.021875	522.678781	13.738895
2	1.815352	1.033073	520.184219	13.810379
3	1.831621	1.030311	520.306745	13.746612
4	1.841659	1.017540	521.365337	13.710277
5	1.818602	1.034346	515.778308	13.852944
6	1.845453	1.029641	518.320793	13.749273
7	1.824588	1.030221	518.876512	13.723445
8	1.821564	1.025348	516.450632	13.732915
9	1.854016	1.019938	512.331267	13.763237
10	1.799999	1.031216	521.482112	13.787452
11	1.850095	1.029558	528.796468	13.753661
12	1.837032	1.024341	519.045183	13.728927
13	1.848061	1.027031	527.025787	13.828272
14	1.877975	1.017123	523.007565	13.682710
15	1.805258	1.027444	519.647654	13.791862
16	1.841895	1.003055	519.468458	13.681643
17	1.804643	1.050089	513.241230	13.725527
18	1.817933	0.996739	517.646660	13.766182
19	1.846851	1.017333	523.145386	13.712370
20	1.816427	1.020044	514.969431	13.746419
21	1.799202	1.032940	523.398343	13.741087
22	1.812508	1.016101	521.504830	13.739549
23	1.874998	1.022907	520.687359	13.695298
24	1.733699	1.035758	523.776996	13.835210
25	1.913569	1.022410	527.799862	13.747421
26	1.839517	1.033274	523.805675	13.731548
27	1.841159	1.011664	523.629604	13.696220
28	1.836721	1.026811	518.763599	13.775897
29	1.733699	1.018636	515.944388	13.720738
30	1.940095	1.027437	517.902602	13.760928

31	1.808242	1.021584	522.233156	13.743017
32	1.832150	1.028878	519.295528	13.786063
33	1.838666	1.029781	522.246482	13.716633
34	1.815812	1.033233	519.233956	13.773117
35	1.824267	1.027171	522.790168	13.813002
36	1.833427	1.013842	526.968965	13.760521
37	1.805206	1.031172	520.405346	13.734673
38	1.824258	1.006547	519.736865	13.760016
39	1.833467	1.011800	521.974183	13.701199
40	1.811875	1.015762	520.835337	13.744288
41	1.813067	1.017981	517.696570	13.687419
42	1.831977	1.032501	515.594924	13.810781
43	1.843190	1.031696	516.846794	13.730050
44	1.829251	1.033105	522.598471	13.795944
45	1.821755	1.018193	519.366636	13.706200
46	1.869047	1.018982	517.310534	13.841843
47	1.793612	1.031134	516.127720	13.849405
48	1.844406	1.030462	520.488012	13.767357
49	1.848039	1.021784	517.098007	13.690399
50	1.825826	1.018396	515.326148	13.726023
51	1.814849	1.018466	518.210294	13.760786
52	1.850287	1.027060	522.703684	13.734252
53	1.828511	1.035410	522.821341	13.723233
54	1.863929	1.020045	526.270160	13.714118
55	1.805681	1.033459	512.839660	13.742964
56	1.834766	1.049053	526.783579	13.809148
57	1.876262	0.999632	530.323651	13.755295
58	1.755466	1.042992	526.687181	13.755295
59	1.908855	1.021536	527.132319	13.682603
60	1.824170	1.024444	519.917050	13.776435
61	1.824670	1.020828	516.281234	13.755938
62	1.808458	1.027580	515.789992	13.758510
63	1.872661	1.034048	518.644647	13.690520
64	1.834777	1.023246	519.823695	13.691242
65	1.835609	1.014910	522.270739	13.699859
66	1.841473	1.014626	519.951535	13.766636
67	1.791942	1.025057	524.931041	13.684991
68	1.816821	1.026072	517.140587	13.793607
69	1.817558	1.028202	518.623589	13.783383
70	1.836283	1.028591	525.282942	13.747742

71	1.813977	1.022636	519.471719	13.748911
72	1.840568	1.027771	519.893714	13.733669
73	1.821515	1.023441	539.169302	13.700819
74	1.830123	1.021437	522.402261	13.745334
75	1.826219	1.008569	526.261752	13.720702
76	1.817754	1.033172	524.445989	13.788085
77	1.818963	1.021209	522.615786	13.726719
78	1.873213	1.022316	520.115885	13.836135
79	1.904674	1.020790	521.906157	13.749805
80	1.724416	1.040813	516.830594	13.714422
81	1.831874	1.017833	513.611419	13.722804
82	1.842737	1.027382	524.995309	13.766080
83	1.831210	1.023739	527.988403	13.724063
84	1.818737	1.021223	521.437032	13.862101
85	1.885270	1.020509	527.361798	13.650122
86	1.786335	1.012938	534.033562	13.740492
87	1.857274	1.044765	511.996259	13.786105
88	1.791788	1.018325	525.247719	13.768717
89	1.839109	1.015079	523.032929	13.788183
90	1.835193	1.022714	522.882382	13.814803
91	1.845046	1.037308	523.606015	13.765087
92	1.852564	1.015300	523.050952	13.781535
93	1.832507	1.021905	521.659386	13.676374
94	1.808969	1.020679	518.325400	13.726128
95	1.813677	1.025679	519.581107	13.761725
96	1.837519	1.021896	523.734106	13.740221
97	1.830550	1.021074	519.748839	13.689413
98	1.808990	1.025782	519.587414	13.692904
99	1.834001	1.018623	523.413620	13.783154
100	1.843384	1.015311	524.876460	13.708027
101	1.838412	1.025912	522.514856	13.777343
102	1.815311	1.026430	522.324188	13.780494
103	1.837220	1.025490	521.670028	13.735205
104	1.838088	1.027875	524.562468	13.765498
105	1.838948	1.022391	526.403340	13.692173
106	1.826165	1.019710	521.568808	13.704727
107	1.815748	1.031430	521.742888	13.787363
108	1.808803	1.031482	521.329559	13.770082
109	1.815204	1.028036	525.422302	13.698882
110	1.863597	1.033765	523.655481	13.784575

111	1.777831	1.029506	526.188638	13.741574
112	1.867170	1.023038	514.004732	13.818675
113	1.833354	1.027970	521.751865	13.760342
114	1.829188	1.025947	522.270685	13.785461
115	1.845461	1.017266	522.917873	13.811172
116	1.836024	1.029997	522.224091	13.713407
117	1.777831	1.029159	533.978358	13.716314
118	1.854332	1.017094	525.059746	13.721365
119	1.808443	1.022939	520.533645	13.722608
120	1.852355	1.022838	513.886601	13.726255
121	1.810327	1.018727	519.514848	13.784859
122	1.854332	1.028193	519.454612	13.701662
123	1.863597	1.023236	526.758756	13.792695
124	1.795887	1.021425	529.798583	13.775068
125	1.823047	1.024041	525.343295	13.723071
126	1.825969	1.022728	524.016197	13.742339
127	1.825384	1.024345	526.414648	13.780329
128	1.845629	1.030536	529.417624	13.760770
129	1.813184	1.018223	527.418787	13.867722
130	1.847515	1.024349	524.641746	13.730694
131	1.823360	1.031957	509.788923	13.751317
132	1.842130	1.019037	515.336743	13.718069
133	1.832353	1.025959	520.838080	13.735622
134	1.824399	1.027571	518.252592	13.768622
135	1.829502	1.014257	519.767033	13.706144
136	1.838545	1.023534	518.191507	13.766384
137	1.837372	1.023129	522.321909	13.761168
138	1.818099	1.021001	522.050784	13.729308
139	1.820844	1.019977	515.605643	13.795982
140	1.827426	1.023836	525.622169	13.659556
141	1.836867	1.024040	512.003714	13.728885
142	1.825713	1.027932	517.078806	13.719847
143	1.833980	1.020887	528.190778	13.709675
144	1.817358	1.030704	521.396817	13.683802
145	1.830289	1.024447	516.376716	13.670452
146	1.833767	1.026785	526.375869	13.715953
147	1.824978	1.029218	520.438841	13.745146
148	1.826925	1.030003	519.215896	13.826320
149	1.832148	1.028057	523.414822	13.742188
150	1.828311	1.022247	522.274112	13.718430

151	1.820764	1.025643	530.417638	13.757077
152	1.834031	1.023743	525.478819	13.666760
153	1.822583	1.053621	520.760578	13.704344
154	1.838871	1.012749	526.513831	13.733848
155	1.839661	1.028473	521.950209	13.797660
156	1.836932	1.028160	523.421756	13.809602
157	1.838195	1.040544	520.039516	13.953375
158	1.865297	1.023950	527.072990	13.753937
159	1.832463	1.020694	523.743070	13.795412
160	1.832575	1.025780	521.620604	13.806571
161	1.836777	1.020593	519.627172	13.703860
162	1.830309	1.023082	520.245137	13.806845
163	1.852136	1.023756	519.976559	13.678482
164	1.826634	1.024335	525.615928	13.779735
165	1.830428	1.026172	525.653918	13.723913
166	1.815918	1.007701	518.787253	13.723164
167	1.823880	1.024338	520.899581	13.739658
168	1.839517	1.024730	521.279606	13.781471
169	1.837664	1.026003	522.433538	13.829858
170	1.842391	1.024435	523.596162	13.713577
171	1.813065	1.028056	518.240447	13.809788
172	1.836645	1.033918	518.021134	13.894463
173	2.036994	1.019997	517.777701	13.832548
174	1.997565	1.035635	523.752979	13.802991
175	1.574081	1.015185	522.828568	13.764708
176	1.845057	1.027527	521.864068	13.862465
177	1.862245	1.024046	520.552692	13.819187
178	1.787682	1.029449	528.860226	13.711799
179	1.907695	1.022516	522.058370	13.781962
180	1.859085	1.029816	528.445503	13.866953
181	1.864183	1.029689	521.892478	13.870508
182	1.872282	1.006555	523.969309	13.637635
183	1.797001	1.030728	515.911107	13.915574
184	1.701906	1.029624	525.813450	13.676227
185	2.041882	1.028828	529.732427	14.051166
186	1.856146	1.016383	532.834949	13.712716
187	1.880749	1.002271	500.830834	13.474874
188	1.759765	1.015473	536.262399	13.722415
189	1.790825	1.021580	509.066148	13.936409
190	1.857046	1.023747	523.129299	13.834387

191	1.851600	1.022857	527.860856	13.726508
192	1.814491	1.025232	520.784609	13.789325
193	1.859177	1.028605	522.040356	13.944976
194	1.932954	1.044542	533.631869	13.807827
195	1.792550	1.025109	520.366259	13.754919
196	1.837811	1.039705	525.495423	13.942574
197	1.915758	1.028240	536.657635	13.741953
198	1.873453	1.044711	518.575670	14.580638
199	1.944052	1.027025	541.478315	14.174084
200	1.840718	1.041985	520.232423	14.842686
201	2.010171	1.045948	538.400253	13.138413
202	1.676752	1.062377	524.630065	14.485242
203	1.922469	1.019037	543.537499	13.026515
204	1.728565	1.003139	505.742934	13.722763
205	1.766594	1.041950	510.649288	14.178627
206	1.899489	1.037242	545.786098	14.132504
207	1.857036	1.013148	521.047178	13.529930
208	1.762513	1.037482	509.836884	13.663738
209	1.844570	1.043652	517.936977	14.150622
210	1.855133	1.049376	537.917665	14.219860
211	1.644316	1.030224	538.692295	13.697895
212	2.350841	1.037176	520.972352	13.651271
213	1.769974	1.040193	533.927110	13.661485
214	1.785086	1.025172	529.323751	13.818384
215	1.765300	0.975109	516.704496	13.295031
216	1.799302	1.016928	517.130949	13.670348
217	1.816637	1.019460	486.192734	13.625477
218	1.979442	1.000016	566.788512	13.836687
219	1.754029	0.992223	520.099633	13.434980
220	1.782148	1.032818	502.377965	13.885904
221	2.114157	1.043938	513.137147	14.137900
222	1.614850	1.025616	518.928606	13.638107
223	1.864715	1.033443	526.476280	13.697350
224	1.807689	1.044777	516.002555	13.976756
225	1.889981	1.033839	533.396390	13.859787
226	1.897869	1.025809	522.961467	13.838365
227	1.873032	1.018503	517.587421	13.607636
228	1.791158	1.021136	520.906649	13.838587
229	1.842382	1.026493	525.929209	13.852398
230	1.835577	1.035163	522.009833	13.739667

231	1.893473	1.065094	528.441033	14.174636
232	1.846269	1.024062	528.502206	14.106738
233	1.855338	0.977132	528.735093	13.344017
234	1.773404	1.018325	523.853761	13.360542
235	1.796817	1.037836	518.949728	13.870064
236	1.844256	1.023064	514.349905	13.776968
237	1.787146	1.027720	518.597449	13.849169
238	1.886410	1.024556	525.540460	14.023746
239	1.869336	1.027789	526.601147	13.704742
240	1.803920	1.036752	518.168039	13.826236
241	1.891097	1.021458	527.745655	13.690915
242	1.884205	1.059785	520.279065	13.981619
243	1.718920	0.993267	503.212098	13.461508
244	1.958941	1.026671	541.156063	13.788446
245	1.752522	1.020411	515.638424	13.735021
246	1.917054	0.994089	520.779085	13.462265
247	1.718920	1.047007	515.185267	13.966090
248	1.866533	1.015950	518.957592	13.703098
249	1.833798	1.014816	513.073146	13.693527
250	1.917054	1.009108	517.333276	13.606649
251	1.752522	1.016274	518.599209	13.847285
252	1.794397	1.051023	514.659102	13.656455
253	1.958941	1.016909	529.583522	13.812554
254	1.747391	1.022295	518.809762	13.800579
255	1.837980	1.020697	517.477622	13.853363
256	1.825114	1.042894	519.635816	13.799178
257	1.831100	1.009481	523.414157	13.946661
258	1.801951	1.028359	522.440844	13.996663
259	1.955453	1.026576	538.480753	13.814041
260	1.700995	1.012583	511.228738	13.691106
261	1.849293	1.007946	525.127027	13.540093
262	1.790824	1.016349	523.873898	13.548866
263	1.760838	1.026744	512.913643	13.835716
264	1.855106	1.027171	518.962583	13.838444
265	1.873634	1.027162	520.889362	13.956700
266	1.846019	1.037456	511.166880	13.815665
267	1.839289	1.039521	515.693891	13.833686
268	1.840214	1.034724	525.544410	14.025587
269	1.851688	1.044354	522.308799	13.863846
270	1.867718	1.017431	529.807143	13.455436

271	1.788885	1.022429	513.068274	13.826601
272	1.835676	1.031036	525.969768	13.716478
273	1.850219	1.035252	524.856243	13.731926
274	1.830789	1.015259	520.484444	13.773100
275	1.812138	1.012051	520.340755	13.916667
276	1.852371	1.001822	520.513969	13.599262
277	1.798823	1.032060	517.921061	13.987538
278	1.827938	1.007541	520.834900	13.484247
279	1.821061	1.031789	517.825383	14.067824
280	1.813570	1.039038	521.920398	13.864431
281	1.863657	1.027461	525.451520	14.033904
282	1.856021	1.018625	525.429713	13.702396
283	1.805454	1.018265	523.215742	13.685751
284	1.819267	1.027236	515.914596	13.592533
285	1.836765	1.031326	524.068734	13.643454
286	1.799061	1.007986	517.723993	13.717896
287	1.814041	1.035970	516.664050	13.969315
288	1.837804	1.031811	517.687523	13.922817
289	1.877538	1.028520	518.386992	13.821716
290	1.780567	1.020537	513.638291	13.597284
291	1.850296	1.024472	512.999883	13.847286
292	1.834253	1.037736	522.381584	13.834101
293	1.864621	1.023736	528.666195	13.812555
294	1.852206	1.024061	521.530428	13.641395
295	1.819627	1.019761	531.878367	14.008877
296	1.818772	1.021777	534.807523	13.789223
297	1.897643	1.020710	523.121035	13.736693
298	1.831100	1.031230	502.973376	13.843490
299	1.823305	1.016018	522.950819	13.759626
300	1.838962	1.044989	517.197773	13.882635
301	1.821018	1.038998	524.338854	14.027401
302	1.857239	1.027963	525.558635	13.730430
303	1.838481	1.010539	526.197358	13.648626
304	1.808475	1.033167	526.327475	13.816625
305	1.823839	1.023029	518.028020	13.735332
306	1.826953	1.035108	516.878549	13.835192
307	1.832102	1.008274	525.593540	13.721735
308	1.810726	1.024943	516.950233	13.577088
309	1.819530	1.032009	518.528549	13.568912
310	1.814867	1.011836	518.537840	13.445772

311	1.819588	1.022136	517.906194	13.880007
312	1.854410	1.023659	514.440746	13.755295
313	1.904455	1.024303	519.098126	13.245845
314	1.696880	0.992828	529.051125	13.691556
315	1.831427	1.027972	514.909654	13.821887
316	1.846553	1.020176	524.054813	13.923935
317	1.826074	1.019085	514.964120	13.705342
318	1.836153	1.022723	518.464606	13.723999
319	1.970136	1.031276	519.680937	13.736466
320	1.696880	1.029305	522.168505	13.867407
321	1.988370	1.040637	521.586924	13.807028
322	1.763186	1.025119	527.576683	13.533544
323	1.731713	1.027480	522.500194	13.523124
324	1.860217	1.003375	520.406095	13.638715
325	1.802880	1.020263	515.261970	13.578225
326	1.805966	1.015380	526.223656	13.774303
327	1.878383	1.033394	523.124927	13.693581
328	1.830853	1.025222	522.006646	13.547678
329	1.810958	1.017532	519.495295	13.830700
330	1.860217	1.020560	523.769430	13.755295
331	1.783857	1.022552	516.241326	13.405178
332	1.825470	1.014128	521.902784	13.749622
333	1.846103	1.019579	521.396829	13.842077
334	1.840839	1.026186	522.915215	13.633414
335	1.814435	1.031299	519.465617	13.866088
336	1.837247	1.040888	522.853334	13.928053
337	1.842783	1.025387	526.258039	13.606368
338	1.860217	1.024308	520.719360	13.724738
339	1.812995	1.018358	521.943115	13.928187
340	1.829362	1.007857	521.960553	13.674818
341	1.816739	1.025328	524.422757	14.310091
342	1.850579	1.035284	532.736461	13.867452
343	1.820552	1.005074	522.268741	13.540542
344	1.814633	1.018359	510.795027	13.976969
345	1.740799	1.018326	501.873506	13.073802
346	1.926162	1.016322	534.531325	13.953088
347	1.796615	1.022318	515.605229	13.626284
348	1.840295	1.021620	517.204316	13.757999
349	1.808804	1.022659	523.545047	13.634672
350	1.811432	1.012580	515.396369	13.751518

351	1.810786	1.025027	519.698422	13.749104
352	1.816066	1.031680	526.976762	13.881869
353	1.837342	1.024756	521.129863	13.856483
354	1.861782	1.028006	523.990394	13.735272
355	1.825611	1.026678	515.429528	13.659948
356	1.816542	1.002866	517.904584	13.683093
357	1.833042	1.029477	526.833876	13.580188
358	1.805197	1.012261	515.483880	13.651211
359	1.805442	1.022352	527.576310	14.007144
360	1.837004	1.008030	514.928706	13.828765
361	1.874084	1.026424	523.891263	13.718483
362	1.787455	1.018789	522.240615	13.751421
363	1.833546	1.016943	523.261915	13.781713
364	1.816153	1.024511	522.634844	13.833602
365	1.835572	1.009245	520.575670	13.685830
366	1.793837	1.015860	517.723930	13.743077
367	1.804372	1.019912	521.497210	13.866474
368	1.824516	1.038334	523.230281	13.813818
369	1.852981	1.026290	524.388263	13.704055
370	1.821499	1.049803	521.874995	13.836813
371	1.834580	1.020405	521.137710	13.863013
372	1.847112	1.007050	524.176798	13.785292
373	1.801682	1.029723	519.209255	13.931321
374	1.850193	1.013222	520.880155	13.562582
375	1.820655	1.042490	520.189292	13.695734
376	1.814899	1.039280	519.476791	13.809397
377	1.846062	1.024684	524.362523	13.653624
378	1.831382	1.026311	510.442336	13.876666
379	1.861758	1.015354	518.498850	13.653148
380	1.824169	1.023979	511.896851	13.731132
381	1.820258	1.049511	518.205099	13.788631
382	1.876726	1.025296	519.509749	13.694253
383	1.826088	1.015409	520.855386	13.741256
384	1.804304	1.034831	520.376787	13.727100
385	1.816116	1.019818	520.716553	13.677302
386	1.815621	1.028771	542.611417	13.733328
387	1.839715	1.027862	499.306996	13.745906
388	1.833828	0.987943	524.118059	13.677197
389	1.814840	1.061105	524.637075	13.831438
390	1.833754	1.025644	529.910241	13.832069

391	1.840487	1.023349	519.334721	13.767661
392	1.854012	1.025819	520.478438	13.773675
393	1.824606	1.026258	521.527557	13.923064
394	1.863182	1.021246	526.920874	13.901987
395	1.825516	1.026612	522.990189	13.887032
396	1.852000	0.985901	525.330613	13.861387
397	1.808330	1.038992	518.613332	13.709555
398	1.813598	1.008586	521.146466	13.643923
399	1.872752	1.022040	513.973564	13.689360
400	1.713568	1.023867	522.309378	13.556795
401	1.878346	1.014922	512.738397	13.679789
402	1.838713	1.025161	520.637554	13.726504
403	1.800435	1.015214	522.698062	13.696725
404	1.829754	1.013565	522.459641	13.714084
405	1.820828	1.021789	521.958626	13.789957
406	1.834783	1.023481	525.478222	13.746976
407	1.819254	1.028404	524.014338	13.823947
408	1.829350	1.024990	525.204638	13.736460
409	1.847036	1.017206	520.322057	13.711809
410	1.814672	1.021777	519.898529	13.745103
411	1.822841	1.032921	520.882951	13.668949
412	1.796507	1.005852	518.501315	13.732265
413	1.821452	1.027406	522.604509	13.752881
414	1.821999	1.027875	522.999386	13.637822
415	1.848004	1.031594	522.154470	13.694343
416	1.819555	1.025182	522.683960	13.741583
417	1.849276	1.037445	524.725828	13.831831
418	1.835583	1.013664	524.734313	13.758789
419	1.824067	1.021978	518.377133	13.617138
420	1.825032	1.035434	520.344863	13.766846
421	1.837108	1.034274	528.051111	13.883759
422	1.860934	1.020175	527.634313	13.712180
423	1.820541	1.017943	519.224816	13.713314
424	1.817246	1.017906	518.040541	13.710001
425	1.831199	1.014512	517.146982	13.701334
426	1.817536	1.018751	517.139318	13.760337
427	1.835310	1.027963	524.375246	13.830671
428	1.839109	1.044188	521.135697	14.013979
429	1.856235	1.021258	523.737198	13.869259
430	1.831002	1.016601	521.440989	13.767450

431	1.838080	1.032460	523.450576	13.813623
432	1.781158	1.030136	524.032715	13.974605
433	1.893151	1.027304	523.291405	13.875935
434	1.851547	1.021277	523.765821	13.702061
435	1.799053	1.010772	519.714568	13.630356
436	1.784682	1.017888	518.233588	13.652307
437	1.859365	1.018640	520.083644	13.671156
438	1.806806	1.026333	522.321988	13.869369
439	1.839650	1.026518	521.242719	13.823148
440	1.823325	1.017909	523.724145	13.638257
441	1.822892	1.034776	518.213552	13.802797
442	1.832915	1.015313	522.702214	13.712521
443	1.820060	1.014671	520.978334	13.833887
444	1.820697	1.019351	516.143779	13.558389
445	1.842339	1.034910	524.671878	13.767048
446	1.826550	1.029216	518.513801	13.871821
447	1.843627	1.015248	520.067381	13.719904
448	1.819944	1.037584	517.624279	13.864109
449	1.816452	1.028571	520.717626	13.787462
450	1.831202	1.028486	522.669132	13.826427
451	1.841353	1.019088	525.038851	13.734867
452	1.820253	1.025085	522.207311	13.803354
453	1.832942	1.010201	522.062650	13.696042
454	1.816141	1.029121	525.572795	13.889905
455	1.832440	1.030913	524.253071	13.809010
456	1.833573	1.015865	525.347910	13.732886
457	1.786818	1.006586	520.245260	13.594363
458	1.795098	1.028803	519.503901	13.727800
459	1.892095	1.016073	521.036619	13.608393
460	1.812145	1.013408	518.622922	13.685574
461	1.792068	1.036450	517.011188	13.716745
462	1.917035	1.000106	529.747986	13.713316
463	1.786818	1.023546	521.666955	13.651822
464	1.801515	1.025237	519.414510	13.766343
465	1.824469	1.032726	518.382716	13.773488
466	1.841668	1.016188	519.943054	13.732538
467	1.830566	1.043397	520.166551	13.605464
468	1.865644	1.015595	518.015709	13.732885
469	1.830050	1.031348	521.392735	13.787166
470	1.816870	1.026391	515.905741	13.787518

471	1.810990	1.034722	516.817523	13.935778
472	1.835816	1.027234	522.382278	13.878447
473	1.850960	1.034583	521.420859	12.772033
474	1.842225	1.019298	519.798990	14.681299
475	1.829945	1.030765	522.039558	13.824230
476	1.811662	1.021200	521.548268	13.715042
477	1.851390	1.020431	518.585279	13.946989
478	1.846712	1.018703	524.029786	13.734611
479	1.798378	1.024527	517.891149	13.830335
480	1.828874	1.030798	517.748837	13.789150
481	1.823575	1.009535	519.176469	13.677156
482	1.814645	1.019500	515.399122	13.684321
483	1.838864	1.031741	515.287878	13.684160
484	1.832815	1.016751	517.869998	13.801249
485	1.845934	1.023072	523.711408	13.646465
486	1.835353	1.019475	517.269865	13.763874
487	1.813911	1.037148	475.566233	13.732368
488	1.833883	1.015285	564.678610	13.644649
489	1.825768	1.037691	518.303408	13.827961
490	1.850915	1.029741	529.064614	13.796780
491	1.838427	1.010352	527.121697	13.677332
492	1.819421	1.029690	512.152037	13.666173
493	1.835035	1.013864	520.143542	13.686851
494	1.803954	1.033351	520.477758	13.842705
495	1.892809	1.026949	521.618899	13.719645
496	1.816059	1.019333	525.029883	13.757212
497	1.837623	1.010481	520.388399	13.691543
498	1.809048	1.027682	521.417848	13.698596
499	1.821380	1.031408	526.415760	13.609097
500	1.819951	1.021716	524.790663	13.680671
501	1.834854	1.023558	520.578919	13.819762
502	1.849478	1.033244	521.054870	13.956851
503	1.850258	1.019132	523.032779	13.912921
504	1.844668	1.020944	522.124029	13.742272
505	1.832765	1.030588	513.587583	13.703864
506	1.820117	1.024916	521.060559	13.633664
507	1.827131	1.026756	523.146514	13.662088
508	1.838870	1.020292	523.204223	13.727862
509	1.827035	1.037098	521.104654	14.012342
510	1.863275	1.020802	523.693185	13.717908

511	1.795779	1.016117	523.579053	13.664095
512	1.863993	1.020475	522.852166	13.898613
513	1.835018	1.016410	524.844339	13.696658
514	1.795581	1.025316	523.066360	13.744307
515	1.836454	1.029625	519.281351	13.808263
516	1.817666	1.010730	521.099872	13.894195
517	1.833523	1.036022	521.624827	13.739504
518	1.830154	1.018417	516.306354	13.778726
519	1.831100	1.015567	527.421869	13.605258
520	1.813093	1.023550	520.022340	13.650846
521	1.829719	1.020397	519.936107	13.674870
522	1.842835	1.025828	514.995342	13.772244
523	1.839148	1.023450	517.921861	13.711935
524	1.825323	1.021472	519.176890	13.695859
525	1.827410	1.029916	518.397691	13.820484
526	1.843408	1.018924	523.263564	13.799346
527	1.831415	1.018108	520.240484	13.719364
528	1.852865	1.026740	524.651633	13.703552
529	1.837651	1.020564	521.354238	13.731466
530	1.832135	1.031864	519.337865	13.735111
531	1.833790	1.039125	522.864089	13.854620
532	1.842178	1.025022	524.637324	13.791191
533	1.836135	1.031689	525.211685	13.938734
534	1.860392	1.025889	529.477523	13.713480
535	1.831805	1.026468	521.995782	13.705383
536	1.848602	1.029079	526.878685	13.835352
537	1.845720	1.022798	530.259722	13.827828
538	1.835757	1.024816	532.654830	13.768318
539	1.849750	1.024431	513.046009	13.684233
540	1.833544	1.019729	526.850807	13.678440
541	1.791526	1.024335	521.558681	13.829884
542	1.828508	1.036280	528.341665	13.893328
543	1.869255	1.023284	531.954256	13.867954
544	1.834823	1.020996	518.765073	13.743502
545	1.828855	1.023951	519.582351	13.671539
546	1.813580	1.022323	521.305913	13.730610
547	1.824495	1.010036	516.092373	13.756137
548	1.834374	1.024921	519.438953	13.666589
549	1.846400	1.019194	517.613760	13.718878
550	1.831100	1.018879	517.419063	13.677186

551	1.831100	1.026995	523.548104	13.765774
552	1.796404	1.023848	521.687382	13.719133
553	1.826404	1.021011	526.004588	13.744054
554	1.816118	1.024929	522.263784	13.721039
555	1.824035	1.032920	517.543369	13.816353
556	1.845367	1.027361	520.800205	13.750482
557	1.832813	1.036349	523.585601	13.751443
558	1.847375	1.009947	520.497897	13.676949
559	1.805937	1.013977	519.641921	13.721424
560	1.820007	1.014848	518.602908	13.734266
561	1.815998	1.020281	518.044108	13.716545
562	1.830587	1.026335	515.811146	13.785896
563	1.835416	1.021860	520.682146	13.687864
564	1.824557	1.024142	517.616741	13.761926
565	1.831306	1.020663	518.845151	13.750516
566	1.838617	1.023343	525.711163	13.696087
567	1.812466	1.026344	523.885865	13.765252
568	1.828723	1.016390	527.200226	13.690857
569	1.825311	1.027163	516.993646	13.790901
570	1.831827	1.017249	521.581206	13.690143
571	1.833386	1.020616	526.961396	13.715598
572	1.828406	1.026779	526.500259	13.737354
573	1.852829	1.025760	520.530517	13.879645
574	1.842012	1.027982	523.277538	13.777225
575	1.838871	1.022636	526.882619	13.671742
576	1.809184	1.033137	522.076447	13.765949
577	1.840483	1.016292	520.308702	13.714544
578	1.841772	1.033940	521.107708	13.801256
579	1.853926	1.016009	522.175584	13.669365
580	1.814396	1.022638	520.629160	13.700775
581	1.819777	1.020930	515.691718	13.945682
582	1.816667	1.016006	519.649943	13.378404
583	1.819923	1.021797	517.190336	13.755295
584	1.831100	1.024142	523.269582	13.789389
585	1.817901	1.018969	519.027980	13.732436
586	1.834439	1.027116	521.942024	13.728810
587	1.837041	1.023122	518.929010	13.785716
588	1.846097	1.027726	521.067133	13.700266
589	1.823298	1.020076	519.286205	13.734001
590	1.819051	1.025472	521.652452	13.790799

591	1.828086	1.017322	521.713148	13.722107
592	1.816779	1.029606	522.462700	13.767381
593	1.834989	1.037939	526.197700	13.802983
594	1.838976	1.029505	523.274714	13.835119
595	1.834233	1.002783	523.769088	13.657729
596	1.821646	1.023937	523.699069	13.722462
597	1.831100	1.027121	518.069684	13.812853
598	1.844656	1.025575	518.957950	13.706834
599	1.830892	1.022305	521.290015	13.710484
600	1.812691	1.041061	519.732172	13.835064
601	1.846495	1.019622	524.611171	13.915964
602	1.827563	1.016687	523.669637	13.618865
603	1.804995	1.030477	507.860333	13.894485
604	1.831100	1.025966	527.866895	13.634288
605	1.832053	1.032463	522.681324	13.945416
606	1.856884	1.029167	525.792892	14.017512
607	1.863203	1.041344	526.340869	13.891634
608	1.882156	1.023554	521.450116	13.895293
609	1.830102	1.006138	526.824666	13.348079
610	1.780869	1.019057	516.542578	13.725467
611	1.832128	1.024745	523.459028	13.681341
612	1.818821	1.018935	520.860129	13.661591
613	1.832548	1.044010	524.304805	14.000594
614	1.855010	1.030199	523.521570	13.891897
615	1.839070	1.016787	525.643847	13.632411
616	1.818555	1.042649	525.425161	14.126664
617	1.842790	1.038264	527.733666	13.999658
618	1.911644	1.015626	506.713249	13.643334
619	1.821291	1.007411	536.094893	13.676370
620	1.812785	1.062485	513.670890	13.994157
621	1.859907	1.012145	525.980068	13.562155
622	1.797331	1.009346	516.466616	13.638410
623	1.817950	1.024435	514.411535	13.727885
624	1.815078	1.022193	520.099343	13.800618
625	1.839995	1.016838	523.902893	13.714094
626	1.841869	1.025324	523.047038	13.650785
627	1.831100	1.034022	521.977113	13.859029
628	1.834995	1.026482	527.072362	13.819513
629	1.854444	1.022007	525.660227	13.764454
630	1.833461	1.012235	524.182822	13.628741

631	1.808172	1.018444	516.056318	13.685457
632	1.807587	1.023746	517.018567	13.680699
633	1.825066	1.016244	521.227348	13.671552
634	1.821523	1.027644	518.982622	13.758243
635	1.825115	1.018979	522.572312	13.741874
636	1.823166	1.028956	515.916671	13.760432
637	1.823335	1.019571	521.401017	13.698066
638	1.825351	1.020248	523.805319	13.668257
639	1.821020	1.024343	519.096612	13.826349
640	1.832864	1.047804	523.953675	13.947503
641	1.854877	1.023946	524.118828	13.772312
642	1.830998	1.018073	525.487000	13.744588
643	1.818255	1.020888	518.557885	13.703961
644	1.835742	1.043342	522.629154	13.955293
645	1.856973	1.031659	526.545379	13.760331
646	1.824928	1.006318	525.411604	13.958547
647	1.830185	1.046920	519.671476	13.783293
648	1.801532	1.002334	508.322155	13.492093
649	1.835449	1.031858	527.485167	13.889235
650	1.821837	1.026975	519.890710	13.719917
651	1.836709	1.016292	522.346265	13.676281
652	1.824186	1.021576	520.993917	13.737607
653	1.822816	1.020141	523.408252	13.773136
654	1.838622	1.014811	522.148230	13.638549
655	1.818786	1.026335	517.969665	13.759190
656	1.844950	1.033827	521.051096	13.822409
657	1.834527	1.037419	518.088639	13.887022
658	1.841693	1.026283	521.460000	13.771190
659	1.837495	1.020946	522.166865	13.690167
660	1.825568	1.014555	519.543193	13.675169
661	1.827604	1.019145	515.933365	13.729702
662	1.817028	1.023846	515.274683	13.775690
663	1.829853	1.018137	523.203253	13.672207
664	1.836515	1.028621	521.119216	13.700588
665	1.829960	1.024142	520.898460	13.791125
666	1.830270	1.025428	525.017514	13.781355
667	1.830374	1.016272	521.100991	13.692314
668	1.823743	1.037208	521.849473	13.676441
669	1.822467	1.005112	515.913503	13.790349
670	1.842132	1.020144	521.974494	13.699426

671	1.827875	1.021431	520.212416	13.736899
672	1.828182	1.035802	520.683080	13.885708
673	1.834342	1.023444	520.510293	13.745624
674	1.828078	1.032355	518.913241	13.806076
675	1.835179	1.034887	522.723947	13.810131
676	1.840190	1.021990	521.287373	13.736526
677	1.838166	1.021006	517.754825	13.755079
678	1.829551	1.027100	521.828501	13.669308
679	1.823155	1.023009	517.700479	13.899628
680	1.826950	1.011304	517.928867	13.572971
681	1.822170	1.035150	518.502514	13.881671
682	1.838542	1.034138	526.458734	13.804793
683	1.832455	1.025509	524.620511	13.842725
684	1.830059	1.028926	517.113886	13.848530
685	1.845741	1.031830	524.346839	13.872010
686	1.825013	1.014945	522.542498	13.690810
687	1.823650	1.024142	517.324375	13.787963
688	1.825694	1.028619	518.773346	13.884736
689	1.836014	1.028697	519.921035	13.787688
690	1.827874	1.010564	525.486212	13.636928
691	1.818727	1.026389	516.354514	13.756559
692	1.823344	1.013586	519.923482	13.647824
693	1.819743	1.025717	521.659518	13.866184
694	1.831100	1.017485	522.531579	13.699362
695	1.828130	1.021082	521.093560	13.736161
696	1.831844	1.027121	519.096719	13.730212
697	1.825582	1.016361	522.165893	13.661485
698	1.829821	1.018479	520.283720	13.715389
699	1.820676	1.030171	520.228491	13.695199
700	1.841105	1.023346	522.358640	13.769391
701	1.832701	1.029840	520.780569	13.755295
702	1.829182	1.019197	521.460000	13.722978
703	1.836444	1.027535	524.111407	13.752169
704	1.835255	1.025334	522.732712	13.679180
705	1.823577	1.022458	517.586407	13.705086
706	1.832166	1.019484	517.253598	13.654370
707	1.823233	1.023843	517.314424	13.719936
708	1.828961	1.028744	520.687975	13.738052
709	1.831207	1.023546	521.051795	13.732207
710	1.825965	1.023943	521.858082	13.887860

711	1.819214	1.015921	519.764790	13.702231
712	1.817097	1.026049	518.385515	13.795245
713	1.838744	1.017559	526.582570	13.670756
714	1.823087	1.014618	519.615834	13.720154
715	1.825658	1.033641	519.383780	13.810303
716	1.833178	1.021124	521.925565	13.713415
717	1.817068	1.021518	522.466543	13.692113
718	1.831100	1.016070	517.043378	13.684995
719	1.820785	1.024755	518.031853	13.801861
720	1.835754	1.031516	523.688951	13.774705
721	1.831983	1.028305	521.656419	13.739697
722	1.840170	1.039289	525.060450	13.831186
723	1.851191	1.018885	526.116542	13.678259
724	1.816712	1.022943	521.631805	13.699552
725	1.848920	1.027149	521.588806	13.784703
726	1.841974	1.017676	522.523338	13.680878
727	1.834228	1.026656	519.888292	13.828505
728	1.781012	1.033906	527.400838	13.857511
729	1.884087	1.012499	525.115464	13.672534
730	1.804715	1.022738	518.641190	13.684937
731	1.892936	1.018928	511.822228	13.762543
732	1.775429	1.020410	528.130295	13.745559
733	1.867328	1.023432	519.542948	13.719262
734	1.810576	1.017265	522.660828	13.681708
735	1.818381	1.023223	514.034037	13.866293
736	1.829140	1.024858	523.138721	13.657347
737	1.849621	1.023223	518.909548	13.708768
738	1.831100	1.024551	518.029105	13.828282
739	1.841927	1.035456	524.881627	13.742074
740	1.842727	1.019395	521.307984	13.758661
741	1.833234	1.022619	522.123069	13.838394
742	1.831100	1.041173	524.168481	13.865946
743	1.841462	1.021742	522.313374	13.692388
744	1.831418	1.020836	523.068061	13.660169
745	1.814758	1.027570	516.733292	13.763354
746	1.836022	1.022037	520.961534	13.765811
747	1.836009	1.029990	520.007889	13.922475
748	1.841867	1.010538	523.848637	13.682064
749	1.809460	1.026074	522.768171	13.694661
750	1.849155	1.034300	521.669549	13.999780

751	1.828243	1.027854	525.373845	13.659862
752	1.819469	1.013817	523.049128	13.678603
753	1.819501	1.012715	518.762808	13.708660
754	1.828631	1.025570	520.815745	13.760974
755	1.819091	1.023939	518.349633	13.787272
756	1.822349	1.027712	518.675318	13.781857
757	1.820576	1.023263	517.008843	13.730128
758	1.847922	1.025531	522.293089	13.832148
759	1.845472	1.023635	520.693566	13.758718
760	1.841135	1.019384	520.911626	13.672977
761	1.821493	1.023633	520.373637	13.736873
762	1.822727	1.023530	521.526051	13.784236
763	1.835320	1.026288	521.834351	13.815568
764	1.835419	1.031091	521.240077	13.737629
765	1.838646	1.029619	521.922336	13.735949
766	1.829386	1.023840	517.822941	13.705535
767	1.819554	1.021428	518.886857	13.717434
768	1.828081	1.018807	522.718744	13.750056
769	1.826457	1.023061	521.127132	13.791143
770	1.833160	1.024142	523.340336	13.745731
771	1.825047	1.015915	519.725466	13.755740
772	1.843306	1.024757	520.051773	13.782705
773	1.797318	1.017801	521.059348	13.617896
774	1.814464	1.028183	519.280721	13.760346
775	1.836211	1.020150	542.890270	13.693176
776	1.848555	1.024863	531.044337	13.776948
777	1.846953	1.022086	522.612678	13.768014
778	1.831535	1.023215	523.805156	13.774755
779	1.836650	1.021874	523.636580	13.684201
780	1.828394	1.028685	515.475707	13.690946
781	1.818775	1.016057	521.460000	13.720494
782	1.823253	1.027885	516.776842	13.737463
783	1.843979	1.024866	523.062617	13.686051
784	1.823165	1.027040	521.832361	13.810651
785	1.827712	1.030551	521.693858	13.773420
786	1.831210	1.018424	524.881075	13.707480
787	1.834062	1.023010	519.763614	13.759177
788	1.829897	1.029517	522.148690	13.794156
789	1.832634	1.020763	520.794246	13.704400
790	1.825311	1.022908	519.062098	13.736002

791	1.834176	1.029203	515.958079	13.867288
792	1.837906	1.027428	519.614126	13.789950
793	1.825868	1.013974	522.345459	13.603440
794	1.819859	1.020124	517.650332	13.757584
795	1.835511	1.026009	521.362355	13.790704
796	1.833959	1.024142	522.611629	13.692313
797	1.835604	1.021332	518.006349	13.849503
798	1.835264	1.027487	521.263819	13.661342
799	1.824016	1.020818	523.153033	13.850549
800	1.823661	1.032599	518.360467	13.774935
801	1.835177	1.015822	520.554999	13.735710
802	1.830990	1.025304	518.596098	13.720747
803	1.831320	1.024349	517.695596	13.790017
804	1.831210	1.020833	522.126133	13.777216
805	1.833518	1.022481	525.397459	13.733443
806	1.826390	1.027771	520.394260	13.755295
807	1.831760	1.022608	516.829902	13.772654
808	1.834070	1.030917	523.487767	13.867575
809	1.833955	1.015715	525.072475	13.736125
810	1.823337	1.020714	526.078767	13.699474
811	1.828461	1.016860	518.675812	13.735680
812	1.829668	1.024563	520.999734	13.740191
813	1.832755	1.023197	522.767454	13.761211
814	1.829228	1.025511	523.258212	13.685774
815	1.823945	1.020681	517.114887	13.720598
816	1.821933	1.026676	520.031915	13.767444
817	1.831100	1.021516	522.055992	13.764913
818	1.831100	1.021299	524.055669	13.689794
819	1.841927	1.028911	521.449037	13.763917
820	1.836973	1.024458	529.202537	13.719275
821	1.835185	1.026776	520.887673	13.830677
822	1.829120	1.031620	519.743021	13.755295
823	1.837832	1.033352	525.873723	13.826057
824	1.829126	1.020740	520.868452	13.779816
825	1.840242	1.011521	522.927290	13.720077
826	1.827059	1.025357	518.076064	13.695981
827	1.823665	1.023514	519.667969	13.731402
828	1.829560	1.029714	522.796421	13.768955
829	1.827140	1.016558	522.445880	13.703925
830	1.830107	1.027299	518.959670	13.817423

831	1.829776	1.022049	520.700677	13.697714
832	1.834750	1.024607	522.417546	13.765420
833	1.823617	1.019074	520.373043	13.803166
834	1.810621	1.024564	524.221375	13.640122
835	1.822944	1.014806	518.633665	13.677891
836	1.820669	1.029474	518.683168	13.769358
837	1.821622	1.019602	518.896744	13.590460
838	1.828486	1.019053	521.987716	13.841546
839	1.832239	1.024676	519.116117	13.766389
840	1.811854	1.023075	521.857126	13.659172
841	1.812219	1.020302	518.099155	13.795643
842	1.836105	1.032544	522.359097	13.851551
843	1.838650	1.025739	524.535796	13.713603
844	1.830407	1.022656	520.305586	13.661933
845	1.828561	1.022972	521.283533	13.753650
846	1.823483	1.032269	521.349664	13.836947
847	1.846962	1.011539	524.004728	13.655457
848	1.817336	1.019125	520.428558	13.676349
849	1.822997	1.023605	517.207323	13.856476
850	1.898135	1.031051	522.993541	13.755295
851	1.768638	1.019663	517.547098	13.660479
852	1.856207	1.020499	521.303954	13.699815
853	1.871899	1.028677	518.857155	13.760521
854	1.792041	1.020075	518.197744	13.703159
855	1.821583	1.021454	518.838840	13.807829
856	1.817285	1.024790	521.516679	13.655345
857	1.832731	1.023926	523.231084	13.832284
858	1.847813	1.033901	523.066440	13.820739
859	1.847313	1.033701	521.437479	13.840780
860	1.852828	1.018649	527.462840	13.656370
861	1.818941	1.028839	520.147844	13.793263
862	1.852603	1.018750	522.040753	13.707993
863	1.805430	1.021162	519.101614	13.763123
864	1.843569	1.032297	523.997459	13.824318
865	1.834387	1.029564	521.727581	13.821840
866	1.844829	1.023826	518.283491	13.740634
867	1.829866	1.031236	526.064747	13.821945
868	1.828071	1.018916	526.921902	13.705582
869	1.817208	1.087653	518.849305	13.679707
870	1.830987	0.968766	518.121874	13.752817

871	1.831553	1.021096	520.970784	13.841114
872	1.850463	1.031342	526.348425	13.724837
873	1.821817	1.023200	519.961901	13.745425
874	1.835726	1.028767	521.271961	13.756236
875	1.806646	1.020182	520.155715	13.673213
876	1.817477	1.015479	518.483998	13.699090
877	1.812937	1.026894	519.033056	13.814468
878	1.840284	1.032505	523.313110	13.810057
879	1.822697	1.021740	522.074791	13.749404
880	1.824043	1.025716	522.465213	13.789995
881	1.838796	1.019964	521.549102	13.780363
882	1.825777	1.027827	519.892336	13.850103
883	1.837620	1.019128	522.175278	13.751099
884	1.837713	1.027938	521.225834	13.839624
885	1.838152	1.025296	522.342250	13.754599
886	1.825362	1.014449	520.347244	13.674632
887	1.823391	1.034130	520.489697	13.845244
888	1.847267	1.030761	523.331098	13.852939
889	1.848168	1.019367	524.903739	13.575500
890	1.816487	1.022888	521.825482	13.860414
891	1.829954	1.017777	523.255385	13.664676
892	1.824344	1.024353	519.369321	13.715645
893	1.827304	1.031858	522.557099	13.875751
894	1.831100	1.029381	524.284593	13.761779
895	1.843953	1.025391	515.904966	13.762934
896	1.828924	1.019996	526.070436	13.691949
897	1.815564	1.005747	522.915298	13.681020
898	1.819221	1.024142	517.271940	13.694915
899	1.817293	1.014798	518.172061	13.654522
900	1.827466	1.029881	518.339390	13.734742
901	1.837815	1.029378	521.560864	13.796791
902	1.834031	1.016640	521.381579	13.660493
903	1.821650	1.028532	517.719630	13.826670
904	1.837342	1.028299	522.454182	13.866530
905	1.850182	1.024354	525.270263	13.825025
906	1.828434	1.015072	522.736523	13.674194
907	1.829823	1.024463	517.293009	13.736524
908	1.827268	1.018920	519.629983	13.727200
909	1.832731	1.032662	521.629325	13.886226
910	1.841018	1.012598	523.460895	13.649166

911	1.815311	1.029393	518.724684	13.732588
912	1.826436	1.013096	522.387361	13.685177
913	1.821294	1.029684	520.704841	13.826135
914	1.828748	1.018446	521.132531	13.740017
915	1.819588	1.024142	522.738767	13.700097
916	1.818808	1.026855	517.237766	13.797393
917	1.866540	1.025224	526.431993	13.790043
918	1.833444	1.029990	513.444823	13.826598
919	1.820833	1.055369	523.178493	13.765724
920	1.829689	0.998971	522.715539	13.772043
921	1.843505	1.029931	520.937108	13.851025
922	1.830515	1.038379	523.947703	13.877747
923	1.842955	1.032142	523.230545	13.786518
924	1.847799	1.029044	524.324753	13.992827
925	1.843120	1.024453	531.734856	13.967457
926	1.869845	1.017073	521.823644	13.593268
927	1.814250	1.031205	520.733978	13.942771
928	1.845070	1.022797	522.618738	13.572794
929	1.814444	1.019901	513.481931	13.775548
930	1.808461	1.021958	524.911589	13.778572
931	1.826744	1.024455	523.974181	13.645808
932	1.821005	1.032625	516.546255	13.987216
933	1.858134	1.018777	524.501748	13.611586
934	1.819509	1.029564	519.346880	13.818605
935	1.836730	1.021663	520.837029	13.801129
936	1.834191	1.024453	520.981009	13.821802
937	1.831443	1.020314	520.646342	13.789406
938	1.844276	1.025183	521.605258	13.832334
939	1.826571	1.016582	521.504678	13.666962
940	1.815260	1.025504	519.019917	13.831958
941	1.823093	1.023201	522.504571	13.606474
942	1.827419	1.020798	518.701343	13.659384
943	1.850585	1.030780	518.574702	13.881401
944	1.886959	1.034103	523.444913	13.908103
945	1.837873	1.021356	523.335510	13.706891
946	1.831100	1.021658	519.889102	13.787884
947	1.829224	1.041928	522.114165	14.428905
948	1.854236	1.016841	525.449088	13.418765
949	1.844796	1.018501	529.714003	13.896817
950	1.855972	1.025280	523.145664	13.824997

951	1.848394	1.019606	522.832335	13.700339
952	1.811924	1.018450	523.344305	13.948718
953	1.832814	1.032946	522.234205	13.853336
954	1.900951	1.026836	521.460000	13.735384
955	1.842163	1.030560	531.244812	14.005766
956	1.873597	1.059931	534.469473	14.264441
957	1.906329	1.019493	544.503050	13.643956
958	1.804241	1.029835	519.196623	13.644830
959	1.802975	1.009586	514.244194	13.430792
960	1.788227	1.027565	513.280642	13.838336
961	1.843650	1.035523	525.894572	13.791211
962	1.847330	1.029207	528.303359	14.110098
963	1.856604	1.029182	528.204461	13.852626
964	1.857655	1.040357	525.664450	13.829434
965	1.835486	0.984954	529.240978	13.459326
966	1.792665	1.048520	518.838502	13.621691
967	1.797676	1.014175	513.914891	13.533707
968	1.767736	1.020085	512.030067	13.768008
969	1.850055	1.011970	520.294070	13.647036
970	1.831100	1.031626	520.557212	13.905298
971	1.818492	1.015079	521.460000	13.659296
972	1.814469	1.024647	509.222855	13.780297
973	1.842941	1.025252	523.939725	13.910632
974	1.855978	1.021425	531.105909	13.682641
975	1.818744	1.032461	522.053849	14.056310
976	1.854338	1.021367	525.396251	13.691814
977	1.827508	1.009051	518.585393	13.643782
978	1.788680	1.034910	515.795531	13.711515
979	1.851767	1.019810	518.087918	13.801921
980	1.807079	1.008147	518.662702	13.458687
981	1.791402	1.025688	512.096538	13.667918
982	1.814011	1.021882	521.460000	13.825755
983	1.914138	1.051615	538.694091	14.230879
984	1.851778	1.016937	503.556848	13.825592
985	1.785739	1.024243	533.509135	13.472180
986	1.837995	1.029516	517.306943	13.813875
987	1.855094	1.023338	532.646080	13.735498
988	1.821442	1.020925	521.460000	14.745289
989	1.838968	1.027481	510.683822	12.957051
990	1.838201	1.025855	524.371914	13.792976

991	1.825088	1.028680	522.127629	13.608311
992	1.836003	1.018449	520.232865	13.853762
993	1.831100	1.029894	523.226720	13.811398
994	1.850421	1.021244	527.359351	13.773049
995	1.834393	1.026151	526.285477	13.808862
996	1.816788	1.027754	520.879406	13.816119
997	1.868931	1.036491	520.461074	13.755295
998	1.824422	1.022467	529.546726	14.042984
999	1.868718	1.035265	521.460000	13.901577
1000	1.769925	1.009299	530.466837	13.663408
1001	1.910605	1.021072	515.789766	13.676524
1002	1.757947	1.014342	524.652111	13.420527
1003	1.852696	1.021835	514.661323	13.734491
1004	1.828449	1.023237	517.804100	13.714260
1005	1.821419	1.021727	520.608057	13.684209
1006	1.836552	1.021721	521.663381	13.774085
1007	1.844565	1.022928	521.043478	13.770386
1008	1.826024	1.033100	525.883831	13.903806
1009	1.846148	1.024946	513.114722	13.738887
1010	1.837786	1.031598	523.236518	13.871441
1011	1.859018	1.025040	525.264202	13.771409
1012	1.858498	1.036364	522.495609	13.925946
1013	1.827485	1.017374	524.872405	13.639164
1014	1.794719	1.029207	522.033580	13.777204
1015	1.857285	1.021779	519.684844	13.764438
1016	1.830508	1.016365	524.503109	13.673923
1017	1.826667	1.024242	519.818931	13.836033
1018	1.832881	1.016998	525.456616	13.719891
1019	1.834362	1.023541	519.060885	13.754697
1020	1.829917	1.027501	521.790898	13.904943
1021	1.833963	1.023400	522.703672	13.779545
1022	1.844447	1.021743	521.420026	13.743796
1023	1.791247	1.027299	521.180225	13.537207