

**METODOLOGIAS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE MERCADO EN  
INSTITUCIONES DE FOMENTO Y DESARROLLO TERRITORIAL**

**JOHN JAIRO SALINAS AVILA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**  
**SEDE MANIZALES**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS Y ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN  
MANIZALES  
2005**

**METODOLOGIAS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE MERCADO EN  
INSTITUCIONES DE FOMENTO Y DESARROLLO TERRITORIAL**

**JOHN JAIRO SALINAS AVILA**

**Tesis de grado para optar al  
título de magíster en administración**

**Director:  
Juan Nicolás Montoya Monsalve**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS Y ADMINISTRACIÓN  
MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN  
MANIZALES  
2005**

*A mi esposa Lorena,  
por su continuo apoyo y comprensión, quien hubo de sacrificar muchos de nuestros  
momentos de nuestra vida familiar para que fuera posible la culminación de este  
trabajo.*

*A mi pequeña Isabela, quien ha llenado mi vida de amor, convirtiéndose en mi fuente  
de inspiración.*

*En representación de la variedad de influencias asimiladas, a toda mi familia, mi  
reconocimiento.*

## **AGRADECIMIENTOS**

De manera muy especial quiero manifestar mis agradecimientos a la Dra. Luz Stella Posada García, Tesorera de Infimanizales, de igual forma al Dr. Francisco Javier Londoño M, Tesorero de Inficaldas, quienes desde el comienzo de este trabajo me brindaron su confianza y me suministraron amablemente la información requerida.

Del mismo modo, agradezco el aporte y apoyo esencial del Profesor Juan Nicolás Montoya Monsalve, también por su amistad y aprecio.

Por último, debo hacer un reconocimiento especial al programa de la Maestría en Administración, que me ha brindado los aportes conceptuales y metodológicos necesarios para aproximarme al conocimiento y a la investigación.

# CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	12
<b>1. EL RIESGO DE MERCADO</b>	14
1.1 BREVES ANTECEDENTES DE LA MEDICIÓN DEL RIESGO EN INSTITUCIONES FINANCIERAS COLOMBIANAS	14
1.2 ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL RIESGO DE LOS ACTIVOS FINANCIEROS	15
1.2.1 Los riesgos de crédito	15
1.2.2 Los riesgos de liquidez	16
1.2.3 Los riesgos operacionales	16
1.2.4 Los riesgos de mercado	17
1.3 MEDIDAS BÁSICAS DEL RIESGO DE MERCADO	18
1.3.1 La Duración	18
1.3.2 La Convexidad	21
<b>2. METODOLOGÍAS PARA MEDIR EL RIESGO DE MERCADO</b>	25
2.1 EL CONCEPTO DE VALOR EN RIESGO (VeR)	25
2.2 ENFOQUES PARA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE MERCADO	25
2.2.1 Método de valoración delta	26

2.2.2 Método de valoración global	27
<b>2.3 MÉTODOS PARAMÉTRICOS</b>	<b>32</b>
2.3.1 Método Varianzas-Covarianzas	38
2.3.2 Modelo Estándar	47
2.3.2.1 Metodología para la medición del riesgo de la tasa de interés	47
2.3.2.2 Medición del riesgo de tasa de cambio	50
2.3.2.3 Medición del riesgo de cambio en el precio de acciones	51
2.3.2.4 Agregación de los valores en riesgo	52
2.3.3 Método de simulación Montecarlo	57
<b>2.4 MÉTODO DE SIMULACIÓN HISTÓRICA</b>	<b>62</b>
<b>3. ESTUDIO EFECTUADO A LOS INSTITUTOS DE FOMENTO Y DESARROLLO TERRITORIAL</b>	<b>70</b>
<b>3.1 EL PORTAFOLIO DE INVERSIONES DE INFIMANIZALES</b>	<b>71</b>
3.1.1 Consideraciones en la elección del modelo de VeR	72
3.1.2 Cálculo del VeR por el método de simulación Montecarlo	74
3.1.3 Cálculo del VeR por el método de simulación histórica	78
<b>3.2 EL PORTAFOLIO DE INVERSIONES DE INFICALDAS</b>	<b>81</b>
3.2.1 Cálculo del riesgo de mercado mediante la Duración y la Convexidad	82

<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>87</b>
BIBLIOGRAFIA	90
ANEXOS	95

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen de rendimientos y varianzas para distintos horizontes de tiempo.	36
Tabla 2. Valor en pesos del portafolio de Infimanizales a 31 de diciembre de 2004	71
Tabla 3. Estadísticas tasas de los bonos del Tesoro Americano	74
Tabla 4. VeR del portafolio de Infimanizales aplicando el método de simulación Montecarlo	78
Tabla 5. VeR del portafolio de Infimanizales aplicando el método de simulación histórica	79
Tabla 6. Pérdidas y Ganancias reales versus estimación de los modelos de simulación histórica y simulación Montecarlo.	80
Tabla 7. Valor en pesos del portafolio de Inficaldas a 31 de diciembre de 2004.	82
Tabla 8. Cálculo de la Duración y la Convexidad.	84



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vías alternativas a la estimación del riesgo de mercado	30
Figura 2. Función de densidad de probabilidades normal de los rendimientos de un portafolio.	34
Figura 3. Relación lineal entre los cambios en el factor de riesgo y los cambios en el valor del portafolio.	38
Figura 4. Modelo de simulación histórica	63
Figura 5. Distribución de frecuencias de las tasas de los bonos del Tesoro Americano.	73

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Portafolio Infimanizales	94
Anexo 2. Variaciones Máximas de los factores de riesgo	95



Resumen de Trabajo de Grado

<b>CARRERA</b>		MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN
<b>1<sup>er</sup> Apellido:</b> SALINAS	<b>2<sup>do</sup> Apellido:</b> AVILA	<b>Nombre:</b> JOHN JAIRO
<b>TITULO DEL TRABAJO:</b> METODOLOGIAS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE MERCADO EN INSTITUCIONES DE FOMENTO Y DESARROLLO TERRITORIAL		
<b>NOMBRE DEL DIRECTOR DEL TRABAJO:</b> JUAN NICOLÁS MONTOYA MONSALVE		
<b>RESUMEN DEL CONTENIDO</b>		
<p>El riesgo financiero puede ser definido como la volatilidad de los resultados esperados. En particular, el riesgo de mercado se refiere a la posibilidad de sufrir pérdidas en los mercados financieros.</p> <p>Hasta el momento se han propuesto en la literatura numerosos métodos para medir el riesgo de mercado, aunque la inmensa mayoría de éstos son variantes de tratamientos estadísticos: paramétricos y no paramétricos. Merece destacar entre los primeros el enfoque de varianzas-covarianzas y el de Simulación Montecarlo, entre los segundos el enfoque de Simulación Histórica.</p> <p>El propósito de esta investigación es realizar una valoración de los tres enfoques anteriores, mostrando que no existe una metodología que pueda ser aceptada como la correcta, pues cada método tiene sus fortalezas y debilidades, y una combinación de algunos de ellos dan una perspectiva más comprensible del riesgo.</p>		
<b>ABSTRACT</b>		
<p>The financial risk can be defined as the volatility of the expected results. In particular, the market risk refers to the possibility of suffering losses in the financial markets.</p> <p>Until the current date, many methods have been proposed in order to measure the market risk, although the vast majority of these ones are variants of statistical treatments: parametric and not parametric. Among the first ones, we can highlight the focus on variances-covariances and the Montecarlo Simulation and among the second ones the principal is the focus on Historical Simulation.</p> <p>The purpose of this investigation is to carry out a valuation of the three previous focuses, showing that there is not methodology which can be accepted as the right one, because each method has its strengths and weaknesses, and a combination of some of them give a more comprehensible perspective of the risk.</p>		
<b>PALABRAS CLAVES:</b> Valor en riesgo, riesgo de mercado, enfoque de varianzas-covarianzas, simulación de Montecarlo y simulación histórica.		

## INTRODUCCIÓN

La presencia cada vez mayor de las entidades financieras en los mercados de capitales hace que estas y sus cuentas financieras sean cada vez más sensibles a los movimientos de sus precios, surgiendo así el llamado riesgo de mercado. El cual ha sido definido por la Superintendencia Bancaria de Colombia (SBC) como la posibilidad de que un establecimiento de crédito incurra en pérdidas y se disminuya el valor de su patrimonio técnico como consecuencia de cambios en el precio de los instrumentos financieros en los que la entidad mantenga posiciones dentro o fuera del balance. Su medición es en primera instancia una herramienta para la alta dirección de las instituciones financieras, ya que opera como instrumento de control y auditoria, suministrando información de la tendencia del riesgo en las inversiones realizadas.

Dos eventos particularmente han tenido un impacto fuerte en la adopción generalizada de la medición del riesgo de mercado en el sector financiero. El primero tuvo lugar en 1995, en el Banco Internacional de Pagos (BIS), quien por intermedio del Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (Suiza) propuso nuevas políticas y procedimientos para la medición, control y gestión de riesgos financieros (enmienda al acuerdo de Basilea de 1988).

El segundo evento importante fue en 1994, cuando el banco americano J.P Morgan hizo público en su documento técnico denominado RiskMetrics, el concepto de Valor en Riesgo, conocido comúnmente como VeR (o VaR por su sigla en inglés). El VeR pretende estimar la máxima pérdida en que podría incurrir una institución financiera en el desarrollo de su actividad económica con un nivel de confianza predeterminado.

Hasta el momento se han propuesto en la literatura numerosos métodos de VeR, aunque la inmensa mayoría de éstos son variantes de tratamientos estadísticos: paramétricos y no paramétricos. Merece destacar entre los primeros el enfoque de *Varianzas-Covarianzas* y el de *Simulación de Montecarlo*, y entre los segundos el enfoque de *Simulación Histórica*.

El objetivo de esta investigación es realizar una valoración de los tres enfoques anteriores, mostrando que no existe una metodología que pueda ser aceptada como la correcta, pues cada método tiene sus fortalezas y debilidades, y una combinación de algunas de ellas dan una perspectiva más comprensible del riesgo.

De esta forma, el principal aporte que se pretende proporcionar con el desarrollo de este trabajo tiene que ver con elementos conceptuales y teóricos en la medición del riesgo de mercado. No obstante, se efectúa un trabajo de campo, con el cual se pretende recolectar información para llevar a cabo una aproximación sobre dos casos reales (Inficaldas e Infimanizales) de los elementos conceptuales que se desarrollan a lo largo de la investigación. En este sentido, inicialmente se hizo una revisión documental de este tipo de instituciones, las cuales actualmente no realizan la medición del riesgo de mercado por no estar obligadas a efectuar los reportes a la SBC; pues no hacen parte del sistema financiero colombiano. Asimismo, se identificaron y analizaron la composición de sus portafolios para la aplicación del modelo de simulación Montecarlo y el modelo de simulación histórica.

Una limitación importante del análisis es que no consideró la forma en que se mide el riesgo en portafolios con opciones u otras posiciones con comportamiento del precio no lineal.

Este trabajo consta de cuatro capítulos. En el primero, presentamos unos breves antecedentes de la medición de riesgos en instituciones financieras colombianas, se abordan también algunas medidas básicas del riesgo de mercado. En el segundo, se presenta el marco teórico, en el cual definimos el concepto de Valor en Riesgo e introducimos los principales enfoques para su estimación, comprende fundamentalmente una evaluación de las bondades y limitaciones de los modelos a partir de diferentes estudios realizados. En el tercer capítulo, se desarrolla el estudio a los portafolios de los Infis, el cual muestra que existen diferencias importantes entre los enfoques aplicados, y que cada entidad debe identificar, en función del tipo de posiciones que asume, el modelo o las medidas de riesgo que les permitan tomar decisiones para beneficiar su gestión; por último, en el cuarto capítulo, resumimos las conclusiones más relevantes.

Finalmente, es importante mencionar que con la realización de este trabajo se ha pretendido principalmente abrir camino para la investigación en la administración de riesgos financieros desde la Línea de Profundización en Finanzas de la maestría en Administración.

## **1. EL RIESGO DE MERCADO**

### **1.1 BREVES ANTECEDENTES DE LA MEDICIÓN DEL RIESGO EN LAS INSTITUCIONES FINANCIERAS COLOMBIANAS**

En Colombia el manejo organizado y sistemático del riesgo es muy reciente, sin embargo, en los últimos años la SBC ha expedido una serie de resoluciones que buscan convertir la gestión del riesgo en una actividad corriente y de uso diario para las diversas entidades del sector financiero. El propósito de estas políticas y procedimientos para la medición, control y gestión de riesgos de mercado, es mejorar la seguridad y la salud del sistema financiero, buscando para ello que las instituciones financieras mantengan a todo momento un monto de capital adecuado que guarde correspondencia con los niveles de riesgo asumidos.

Lo anterior implica que la medición debe ser un valor que reconozca el máximo riesgo potencial de la entidad. Si la medición es subvalorada, indicará una exposición a un nivel de riesgo de mercado menor al real, y por ende la cantidad de capital a reservar va a ser subvalorada. Por el contrario, si se presenta una sobreestimación del nivel de riesgos, se van a reservar cantidades mayores a las necesarias que en determinado momento no permitirían desarrollar negocios que puedan representar ganancias a la institución.

## 1.2 ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL RIESGO DE LOS ACTIVOS FINANCIEROS

En la gestión moderna de riesgos en instituciones financieras es común encontrar una clasificación de cuatro grandes grupos:

- Riesgo de crédito
- Riesgo de liquidez
- Los riesgos operacionales
- Los riesgos de mercado

**1.2.1 Los riesgos de crédito.** Se refieren a la posibilidad de que una entidad incurra en pérdidas y se disminuya el valor de sus activos, como consecuencia del incumplimiento en el pago de las obligaciones por parte de los clientes. Toda la cartera de créditos está expuesta a este riesgo, en mayor o menor medida, y ha sido tradicionalmente manejado por las divisiones comerciales de los bancos mediante sistemas de evaluación, análisis y seguimiento de crédito. La Superintendencia Bancaria a través de la Circular Externa 088 de 2000, ha acogido también las normas de Basilea II para que las instituciones financieras implementen el Sistema de Administración del Riesgo Crediticio (SARC), con el cual se espera reconstruir información y crear bases históricas de los clientes. Este Sistema, pretende cuantificar el riesgo esperado de una operación de crédito, determinando su rentabilidad real y anticipando las pérdidas para provisionarlo. Cada institución está desarrollando su propio modelo y pronto cada institución tendrá que probar la efectividad de los mismos y, presentar informes a la SBC.



**1.2.2 Los riesgos de liquidez.** Se presentan en las instituciones financieras al intermediar dinero con transformación de plazos, y consiste en la imposibilidad de responder por las obligaciones contraídas con terceros. Estas dificultades pueden generar pérdidas debido a que con tal de disponer de liquidez, se puedan desarrollar transacciones con descuentos inusuales. El grado de exposición a este tipo de riesgo se establece mediante el análisis de maduración de activos, pasivos y posiciones fuera de balance; disciplina conocida como la Gestión de Activos y Pasivos (GAP), cuyo principio de cubrimiento sugiere que una entidad debe financiar sus activos de largo plazo con pasivos de largo plazo, y los activos temporales y de corto plazo con fondos de corto plazo.

Los primeros intentos que se hicieron en Colombia por implementar un sistema de Gestión de Activos y Pasivos se realizaron siguiendo las recomendaciones del Comité de Basilea. A través de la Resolución 001 de 1996 de la SBC, se consideró únicamente la medición y el control de riesgos de mercado en el riesgo de liquidez, el riesgo de tasa de interés y el riesgo de tipo de cambio. Posteriormente con las Circulares Externas 088 y 042 en los años 2000 y 2001 respectivamente, el riesgo de liquidez, y el concepto de GAP evoluciona hacia una administración integral del riesgo, convirtiendo dicho concepto en una herramienta mejorada y de mayor envergadura para gestionar el riesgo en las instituciones financieras, razón por la cual fue excluido de la categoría de riesgo de mercado.

**1.2.3 Los riesgos operacionales.** Se asocian a errores en los procesos, fallas de los sistemas y el fraude, los cuales se han controlado mediante programas de entrenamiento, capacitación, planes de contingencias, y pólizas de seguros. Además, independientemente del volumen de operaciones de las entidades financieras, del tipo de negocios que maneje y del tipo de mercado que atienda, estas deberán tener un área encargada de la identificación, estimación, administración y control de los riesgos inherentes al negocio de tesorería. Esta área debe ser independiente,

funcional y organizacionalmente de la dependencia encargada de las negociaciones (Circular Externa 088 de la SBC).

**1.2.4 Los riesgos de mercado.** Son los de interés, de tipo de cambio, o el precio de acciones o de mercancías. El riesgo de interés se refiere a los efectos que tiene una subida o bajada de las tasas de interés del mercado sobre el margen financiero de una institución. El riesgo de cambio se presenta en una institución cuando existe una diferencia entre el total de los activos y el total de los pasivos de una misma denominación. Una entidad se encuentra expuesta al riesgo de acciones cuando su valor depende de la cotización de determinadas acciones o índices de acciones en los mercados financieros, o cuando posea instrumentos derivados cuyo subyacente esté expuesto a riesgo de acciones. El riesgo de mercancías se presenta cuando la cotización de determinadas materias primas en los mercados financieros puede ocasionar pérdidas en la entidad.

Mediante la Circular Externa 088 de 2000, y posteriormente la Circular 042 de 2001, describen los enfoques que podrán escoger las entidades para la medición del riesgo de mercado, bien sea a través de modelos internos o mediante una metodología estándar. Es importante anotar que esta normatividad en materia de medición, control y gestión de riesgos de mercado es un proceso iniciado con la Resolución 001 de 1996, y el Decreto 1720 de 2001 del Gobierno Nacional que establece que los riesgos de mercado tienen una incidencia directa en el patrimonio de una entidad financiera.

Esta clasificación de riesgos es de carácter práctico y operativo, no exhaustiva, pues señala los riesgos más probables a los que ha de enfrentarse una entidad financiera.

### 1.3 MEDIDAS BÁSICAS DEL RIESGO DE MERCADO

Existen diferentes técnicas para determinar el impacto de cambios en las tasas de interés sobre el capital de una entidad, a continuación se describen dos conceptos muy utilizados en el sector financiero, la duración y la convexidad\*.

**1.3.1 La Duración.** La duración permite determinar la sensibilidad de los flujos de un instrumento de renta fija, para el caso un bono, a diferentes escenarios de tasas de interés; esta medida se puede definir como\*\*:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{F_i}{(1+r)^{t_i}} * t_i \right]}{P_0}$$

Donde  $P_0$  es el valor o precio del bono en la actualidad,  $F_i$  es el flujo de caja del período  $i$ ,  $r$  es el rendimiento hasta el vencimiento y  $t$  número de períodos hasta el vencimiento. De esta forma, la duración es el promedio ponderado de los plazos de cada uno de los flujos que componen el bono y está expresado en unidades de tiempo.

---

\* El concepto de duración fue desarrollado por Frederik Macauley y se refiere al vencimiento promedio de la corriente de pagos de un bono. El precio de un bono en realidad es una función que depende de los cupones, el tiempo y la rentabilidad; aquí se analiza como función de su rendimiento.

\*\* Los activos de renta fija incorporan derechos sobre flujos futuros de liquidez, establecidos previamente de manera contractual. De esta forma, el concepto de duración puede ser extendido no sólo a bonos sino a todos aquellos activos que poseen una corriente de flujos de tesorería que se esperan recibir en el futuro.

Dado que la duración es una medición de la exposición lineal, entonces la duración de un portafolio de instrumentos de deuda (renta fija) es un promedio de simple ponderado de las duraciones individuales. Si los valores de  $x_i$  representan las proporciones invertidas en  $N$  bonos diferentes, la duración del portafolio es<sup>1</sup>:

$$D = \sum_{i=1}^N x_i D_i$$

donde  $D_i$  es la duración del bono  $i$ .

Sin embargo, la duración por si sola no proporciona información de cómo reacciona el precio o valor del bono ante determinados cambios en las tasas de interés ( $r$ ), para ello es necesario derivar con respecto a esta variable, obteniéndose la siguiente formulación:

$$\frac{dP_0}{dr} = -\frac{1}{1+r} \sum_{i=1}^n t_i F_i (1+r)^{-t_i}$$

$$\frac{dP_0}{dr} = -\frac{DP_0}{1+r}$$

$$\frac{dp_0}{P_0} = -\frac{D}{1+r} dr \quad \approx \quad \frac{\Delta P}{P} = -\frac{D}{1+r} \Delta r$$

---

<sup>1</sup> JORION, Philippe. Valor en Riesgo: El nuevo paradigma para el control de riesgos con derivados. México: Limusa 2000. p. 142.

Se tiene que la sensibilidad del precio de un bono es una función de su duración y de los cambios de la tasa de interés, concepto denominado duración modificada (probado originalmente por Fisher 1966) con el que se puede medir la pérdida potencial de capital dada una variación de determinados puntos básicos en el rendimiento del bono\*.

De este modo, si las tasas de interés suben un 1% (100 puntos básicos), el bono sufrirá una pérdida porcentual igual a la duración modificada:

Cambio del precio (%) = - Dur. modificada x 0.01 x 100 = - Dur. modificada.

Conociendo la duración modificada de un bono es posible entonces conocer de forma inmediata la pérdida potencial de este instrumento por cada 100 puntos básicos.

Vale la pena advertir que la duración da una buena aproximación del cambio de precio para un pequeño cambio en el rendimiento del orden de 50 puntos básicos en ambas direcciones. Entre mayor sea el cambio de rendimiento más deficiente será la aproximación que proporcione la duración<sup>2</sup>. Otra limitante de este concepto es que

---

\* Un punto básico se define como 0,0001 o equivalente al 0,01%. Por tanto, 100 puntos básicos es igual a un cambio de un 1%. Vale la pena recordar que el precio de un bono es una función inversa del rendimiento, ante un aumento (disminución) de la tasa de interés el precio del instrumento bajará (subirá).

<sup>2</sup> FABOZZI, Frank. y MODIGLIANI, Franco. Mercados e instituciones financieras. Naucalpan Juárez: Prentice Hall, 1996. p. 205.

supone movimientos paralelos en la estructura de las tasas de interés (estructura intertemporal plana), lo que en realidad es poco común\* .

En la práctica, la duración es utilizada con un cambio en la tasa de rendimiento para un vencimiento similar al del bono que se este analizando. Actualmente la metodología propuesta por la SBC utiliza este concepto y emplea un sistema de bandas de tiempo que permiten asumir cambios no paralelos en la estructura a término de las tasas de interés.

Aunque los bonos de mayor duración son más sensibles a un cambio en el rendimiento hasta el vencimiento que los bonos de duración menor, los rendimientos de corto plazo son más volátiles que los rendimientos de largo plazo; por tanto la duración como la volatilidad del rendimiento deben ser considerados al evaluar el riesgo de un bono<sup>3</sup>.

Para medir la variación de precio ante cambios mayores de cincuenta puntos básicos en la tasa de rendimiento (alta volatilidad), es utilizado el concepto de convexidad.

**1.3.2 La Convexidad.** La convexidad es la segunda derivada de la curva precio – rendimiento y muestra como varía la duración modificada cuando se presenta un movimiento en los tipos de interés<sup>4</sup>.

---

\* En una estructura temporal plana el mismo cambio de rendimiento se aplica a todos los pagos de cupón intermedios sin importar su vencimiento.

<sup>3</sup> JORION, Op. cit., p. 145.

<sup>4</sup> KNOP, Roberto y ORDOVÁS, Roland. VIDAL, Joan. Medición de riesgo de mercado y de crédito. Barcelona: Ariel, 2004. p. 87.

$$Convexidad = \frac{1}{P} \frac{d^2 P}{dr^2} = \frac{1}{P} \frac{1}{(1+r)^2} \sum_{i=1}^n \frac{t_i(t_i+1)F_i}{(1+r)^{t_i}}$$

Para observar la importancia de la convexidad, es necesario sumar ésta a la pérdida que se genera ante aumentos de la tasa de interés. Aproximando la tasa de rendimiento de un bono, o el cambio relativo en el precio a través de una serie de Taylor de segundo orden se tiene:

$$\frac{\Delta P}{P} = -\frac{D}{1+r} \Delta r + \frac{1}{2} Convexidad (\Delta r)^2$$

Nótese que la convexidad siempre es positiva y es buena en la medida que es un amortiguador contra las pérdidas debidas a los incrementos en las tasas de interés<sup>5</sup>. Es decir, la convexidad hace que la duración se disminuya en respuesta a un incremento en las tasas de interés y que se incremente en respuesta a una disminución de las tasas. Mientras más grande sea la convexidad más beneficiosa será para el inversionista. La duración en cambio es negativa y a mayor duración, mayor riesgo en el bono.

Para una duración y un rendimiento dado, mientras más bajo sea el cupón, más baja será la convexidad. De este modo, los bonos cupón cero tienen la menor convexidad para una duración dada\* .

---

<sup>5</sup> LARA, Alfonso de. Medición y control de riesgos financieros. 2 ed. México: Limusa, 2002. p. 86.

\* Un bono cupón cero es aquel que solamente hace un pago en efectivo, y éste es el valor nominal, o a la par, y es pagado al vencimiento. Por tanto, al no existir pagos por cupón la duración del bono coincide con el vencimiento o madurez del mismo, en los demás casos la duración siempre será menor al vencimiento.

De manera similar a la duración, la convexidad de un portafolio de instrumentos de renta fija puede obtenerse a través de un promedio simple ponderado de los componentes de la convexidad. Si  $x_i$  es la proporción invertida en el bono  $i$  con convexidad  $C_i$ , la convexidad del portafolio puede ser aproximado por<sup>6</sup>:

$$C_p = \sum_{i=1}^N x_i C_i$$

La volatilidad de los rendimientos de precios de un bono es diferente de la volatilidad de tasas de interés, pero mediante la siguiente expresión se puede convertir la volatilidad de un factor de riesgo como la tasa de interés a volatilidad de precios<sup>7</sup>: “Volatilidad del precio = Duración modificada x Volatilidad del rendimiento x rendimiento”.

$$s = Dm * s_r * r$$

Donde  $s_r$  es la volatilidad de rendimiento de las tasas de interés y  $r$  es la última tasa de interés conocida.

De otra parte, el precio de las acciones y divisas se modela generalmente sin suponer que depende de otras variables<sup>8</sup>:

---

<sup>6</sup> JORION, Op. cit., p.147.

<sup>7</sup> LARA, Op. Cit., p. 44.

<sup>8</sup> CAMPOS, Alexander. El VeR: Herramienta para la medición de riesgos de mercado. En: Apuntes de Banca y Finanzas. Asobancaria. Bogotá D.C. No. 4. (2003); p. 9.



$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{P_s - P_o}{P_o} \rightarrow \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta P}{P} \rightarrow \Delta V = \frac{\Delta P}{P} V$$

$$\Delta P = VR$$

Pese a la utilidad de las medidas anteriores, estas no proporcionan una medida global del riesgo, es necesaria la estimación acerca de cuánto capital podría perder una institución por las posiciones de su portafolio como resultado de cualquier tendencia del comportamiento del mercado, para ello se han desarrollado los modelos de VeR que analizaremos a continuación.

## 2. METODOLOGÍAS PARA MEDIR EL RIESGO DE MERCADO

### 2.1 EL CONCEPTO DE VALOR EN RIESGO

El modelo más aceptado para la medición del riesgo de mercado es el Valor en Riesgo (VeR), este se define como una medida que estima las máximas pérdidas en las que puede incurrir un portafolio en circunstancias normales durante un período de tiempo preestablecido (período de tenencia), por un movimiento adverso de los precios de los activos que lo conforman, y con un determinado nivel de confiabilidad<sup>9</sup>. Por ejemplo, si un inversionista tiene un portafolio de activos con un valor de \$100 millones de pesos, cuyo VeR de un día es de \$2,5 millones con un 95% de nivel de confianza (significa que la pérdida máxima esperada en un día será \$2,5 millones en cada 19 de cada 20 días). En otras palabras, sólo un día de cada 20 de operación del mercado (1/20), en condiciones normales, la pérdida que ocurrirá puede ser mayor a \$2,5 millones.

### 2.2 ENFOQUES PARA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE MERCADO

Para calcular el riesgo de mercado pueden emplearse dos procedimientos fundamentales:

- Método de valoración delta.
- Método de valoración global.

---

<sup>9</sup> LARA, Op. cit., p. 59.

**2.2.1 Método de valoración delta.** En el proceso de medición delta se trata de estimar la variación del valor de un portafolio con una medida de sensibilidad de los factores de riesgo, utilizando la siguiente expresión\* :

Pérdida/ganancia potencial = Sensibilidad de la posición (delta) x cambios potenciales en los factores de riesgo (Tasas de interés, de cambio, y precios de activos)

El método de valoración delta es el más fácil de utilizar y requiere menos esfuerzo de cálculo que el de valoración global, pero su aplicación se reduce a posiciones lineales; la linealidad es aquella que permite evaluar una cierta sensibilidad de un portafolio de activos a los cambios del mercado. Se trata de un método paramétrico, siendo los parámetros los valores medios, las volatilidades (midiéndose estas mediante la desviación estándar) y las correlaciones de las correspondientes distribuciones de rendimientos por variación de precios.

Sí los activos son opciones (posición no lineal), hay que aplicar el procedimiento de valoración global de carácter no paramétrico, basado en escenarios probables<sup>10</sup>.

Cuando se utiliza el método delta, pueden emplearse dos fuentes para la estimación de las volatilidades y correlaciones:

---

\* La sensibilidad establece la relación entre los cambios en el valor del instrumento con un factor o índice relacionado, por ejemplo, la beta en el caso de las acciones, la duración de los títulos de renta fija o la delta de las opciones.

<sup>10</sup> MARTIN, José L. OLIVER, María D. DE LA TORRE, Antonio. Riesgo de mercado y de crédito: Un enfoque analítico. Sevilla: Atril, 2000. p. 8.

- Observaciones históricas de tipos y precios
- Precio de opciones en mercados organizados

La primera fuente es la más genérica y fácil de usar, normalmente se calculan medias móviles exponenciales de las volatilidades históricas con un peso mayor a las observaciones más recientes (modelos Garch), la segunda es de carácter más bien limitado dada la menor amplitud de los mercados organizados; probablemente, según Hendricks<sup>11</sup>, esta última es la razón por la cual la mayor parte de gestores de riesgos basan sus modelos en información histórica.

La ventaja esencial del enfoque delta es que requiere calcular el valor del portafolio sólo una vez, utilizando para ello el valor de mercado de los instrumentos financieros del portafolio.

**2.2.2 Método de valoración global.** En el procedimiento de valoración global los modelos también son llamados de *valoración completa*, y al contrario que el anterior, no trata de definir una relación explícita entre el valor del portafolio y los factores de riesgo, sino que simplemente trata de estimar el valor del portafolio en distintas situaciones o escenarios (distintos niveles de precios), utilizando la siguiente igualdad:

Pérdida/ganancia potencial = Valor de la posición después del cambio potencial del mercado – valor de la posición actual

---

<sup>11</sup> HENDRICKS, Darryll. Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data (methods for estimating market risk). [online]. Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review, April 1996 v2 n1 p. 39. [Cited 11 october 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Cuando se utiliza la valoración global también es posible seguir las siguientes alternativas:

- Uso de escenarios definidos
- Uso de escenarios extrapolados por simulación Montecarlo.

El uso de “escenarios definidos maneja un conjunto de observaciones históricas sobre los rendimientos de activos y pronósticos razonables (*“educated guesses”*) sobre los mismos. Se emplean diversas técnicas, desde la simple selección de un período histórico que aparezca como representativo (simulación histórica) hasta el *“bootstrapping”* o método que genera muestras al azar de la distribución de precios”<sup>12</sup>.

La posibilidad de utilizar escenarios extrapolados por simulación Montecarlo, se realiza generando escenarios basados en volatilidades y correlaciones históricas o bien tomadas de los mercados de opciones. A partir de dichos datos se generan los escenarios de rendimientos esperados que, cuando se aplican a los precios y tipos corrientes o a plazo, producen escenarios de precios y tipos futuros.

Con el empleo de escenarios definidos pueden manejarse posiciones no lineales - opciones y otros derivados- y describirse mercados no normales e inestables, pero todo ello a costa de un esfuerzo de computación considerable.

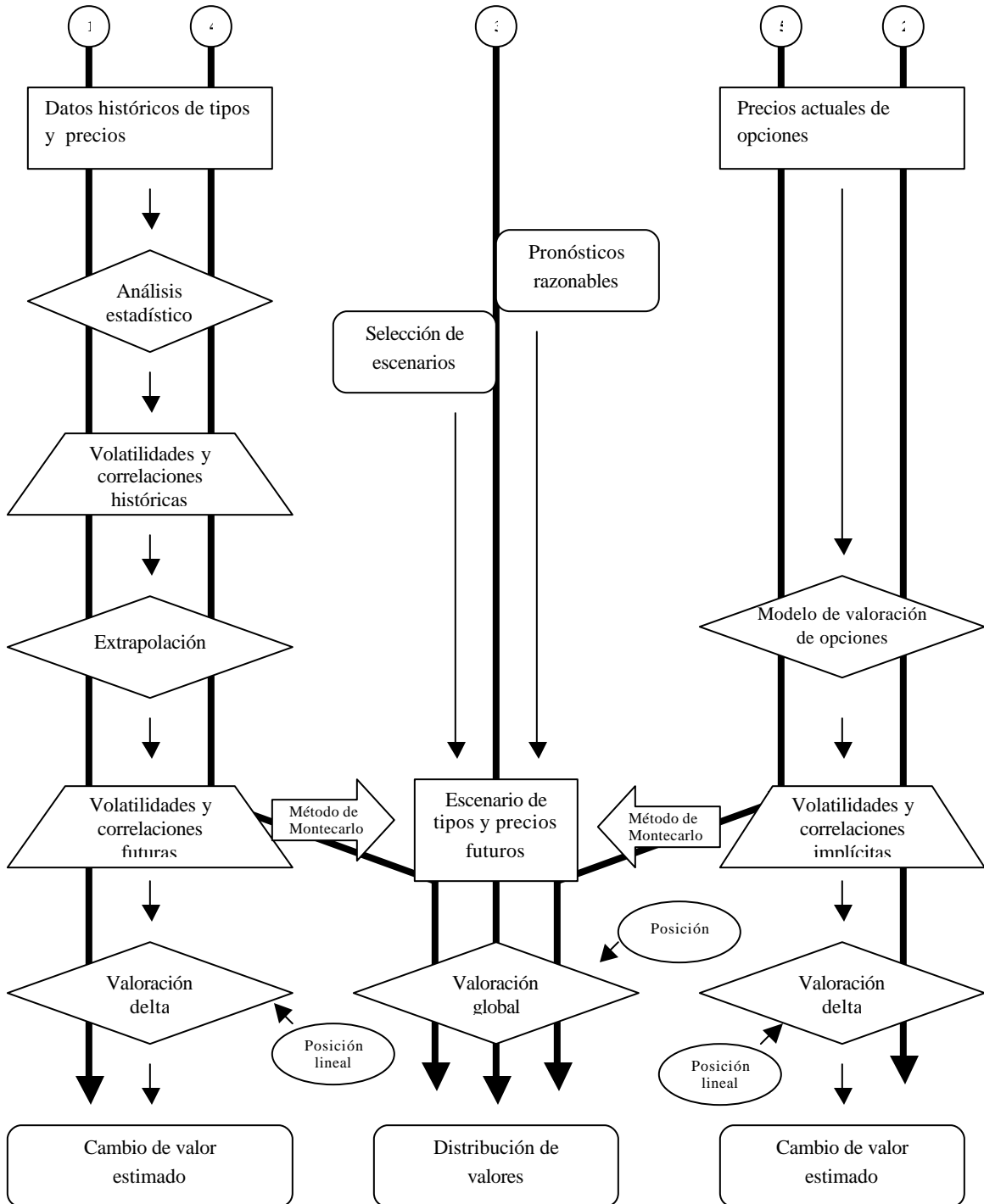
Sí se combinan los dos procedimientos anteriores se obtienen cinco vías alternativas a la estimación del riesgo de mercado que son las expuestas en la figura 1. Las

---

<sup>12</sup> MARTIN, José L. OLIVER, María D. DE LA TORRE, Antonio, Op. Cit., p. 8.

flechas 1 y 2 muestran los métodos de valoración paramétrica que utilizan las estimaciones de volatilidades y correlaciones derivadas de observaciones históricas o implícitas de los mercados de opciones. La flecha 3 muestra la valoración global o no paramétrica, pues usa escenarios definidos por una combinación de observaciones históricas y pronósticos razonables. Las flechas 4 y 5 ilustran la generación de estadística de escenarios por el método de simulación Montecarlo basado en datos históricos de volatilidades y correlaciones y en valores implícitos del mercado de opciones.

**Figura 1. Vías alternativas a la estimación del riesgo de mercado**



Fuente: Riskmetrics, Documento técnico. 3ª edición, 1995.

En resumen, con la utilización de la información histórica para la predicción de la volatilidad futura de un portafolio. Mori et al. (1996) clasifican los métodos existentes en tres categorías o grupos<sup>13</sup>:

- Métodos matriciales o de varianzas-covarianzas (métodos paramétricos), en los que se asume que cada factor de riesgo varía de manera proporcional a la desviación estándar, obtenida en base a información histórica. El Valor en Riesgo se estima de modo proporcional a dicha variación.
- Métodos de simulación Montecarlo, en los que se parte de una generación de series de variables pseudo-aleatorias, asumiéndose que siguen una distribución real de la población, y considerando las varianzas y covarianzas estimadas en base a la información histórica. El Valor en riesgo se calcula como la máxima pérdida, asociada a un percentil prefijado, que se puede derivar de los valores de estas variables pseudo-aleatorias.
- Métodos de simulación histórica, en los que, en primer lugar, se deriva una distribución empírica de las variaciones experimentadas por el valor de un portafolio durante un determinado período de tenencia, anterior al momento del cálculo. El Valor en Riesgo se determina como la máxima pérdida de dicha distribución, asociado a un percentil prefijado.

---

<sup>13</sup> MORI, Ohsawa and SHIMIZU, T. Calculation of value at risk and risk return simulation, citado por CABEDO, David y MOYA, Ismael. El valor en riesgo: una aproximación de simulación histórica. [en línea]. Universidad Jaume I, Castellón. s.f [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet: <http://www.gloriamundi/picsresources/jdcimc.pdf>



## 2.3 MÉTODOS PARAMÉTRICOS

Mediante estos métodos se supone que el comportamiento de la serie histórica de rendimientos presenta una distribución de probabilidad dada, en muchos casos por simplicidad se supone distribución normal, caracterizada por su valor medio  $m$  y su desviación estándar  $s$ , la cual se tomará como medida de volatilidad de la rentabilidad de los activos.

En la medición del riesgo de mercado la variable considerada como aleatoria es la tasa de rendimiento de un activo financiero, la cual se define como<sup>14</sup>:

$$R_t = 100 \ln \frac{P_t}{P_{t-1}}$$

o bien

$$R_t = 100 \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

Donde:

$R_t$ : rendimiento del activo en el período (t-1, t), generalmente un día.

$P_t$ : precio del activo en el momento "t".

$P_{t-1}$ : precio del activo en el momento "t-1".

---

<sup>14</sup> MARTIN, José L. OLIVER, María D. DE LA TORRE, Antonio, Op. Cit., p. 9.

La primera ecuación corresponde a la tasa de rendimiento discreta, y la segunda a la tasa de rendimiento continua, pero para pequeños incrementos de  $P_{t-1}$  las dos son prácticamente iguales.

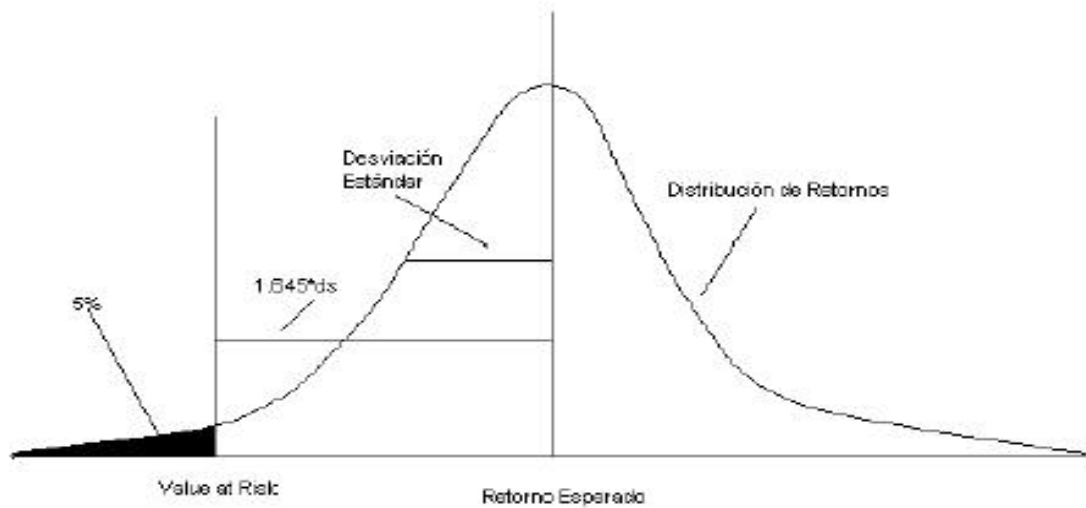
A través de un histograma para una serie de retornos históricos de un portafolio que posee  $n$  instrumentos financieros, es posible visualizar la distribución de densidad de los rendimientos. Para cada rendimiento se puede determinar una probabilidad de observar un rendimiento más bajo.

Seleccionando un nivel de confiabilidad del 95%, encontramos en la gráfica un punto tal que existe una probabilidad del 5% de encontrar un retorno más bajo (área de pérdida), se debe multiplicar a la desviación estándar por 1,645 (valor obtenido de una distribución normal)\*. Es decir, si el retorno esperado para un portafolio es de 4% y la desviación estándar es de 2%, entonces el VeR (con un nivel de significancia del 5%) indicará que este portafolio podría sufrir una pérdida superior a  $1,645 \cdot 2 = 3.29\%$  en sus retornos esperados, pasando de 4% a 0.71% o menos, solamente el 5% de las veces (1 de 20 veces). Este punto de la distribución se denomina Valor en Riesgo.

---

\* Las medidas de valor en riesgo se expresan como percentiles que corresponden a un nivel de confianza deseado. Por ejemplo, una estimación de riesgo con un nivel de confianza del 99 por ciento indica que la pérdida máxima esperada de un portafolio sólo será excedida en 1 por ciento del tiempo. En la práctica normalmente las estimaciones se calculan con niveles de confianza entre el 95% y el 99%.

**Figura 2. Función de densidad de probabilidades normal de los rendimientos de un portafolio.**



Fuente: Banco Central de Chile. Documentos de Trabajo. N° 67, 2000.

En la metodología de análisis de portafolios por simplificar o porque el error cometido es insignificante, no suelen considerarse otros rendimientos que los derivados de las ganancias puras de capital, es decir se asume como cero cualquier pago intermedio, por ejemplo, un dividendo o un cupón.

Bajo el supuesto de normalidad en la serie de rendimientos  $R^* \sim N(\mu, \sigma^2)$ , el valor en riesgo de un activo se puede calcular como:

$$VeR = V_0 * K(a) * \sigma \sqrt{t}$$

En este caso el VeR es una función de tres variables: el valor actual del portafolio ( $V_0$ ), valorado a precios de mercado; el parámetro  $K(a)$ , es el factor que determina

el nivel de confianza del cálculo\* ; y la volatilidad de los rendimientos medida con la desviación estándar  $s\sqrt{t}$ .

Gento<sup>15</sup>, afirma que pueden existir diferentes niveles de confiabilidad de acuerdo al propósito para el cual se calcula el VeR y de la asunción o no de una función conocida de la distribución de probabilidades de los rendimientos de la cartera. Si el cálculo del VeR se utiliza para la validación del sistema de gestión de riesgos se debería utilizar un nivel de confianza alto. Como indica Kupiec (1995), altos niveles de confianza implican que las pérdidas que exceden el VeR son anómalas, lo que conlleva a que se debería acumular una gran cantidad de datos sobre pérdidas superiores al VeR para poder contrastar los resultados. La necesidad de acumular suficientes datos para la validación del sistema utilizado implica por lo tanto un límite al nivel de confianza a utilizar. Agrega además que:

“En el caso de que se utilice el VeR como sistema para determinar los requerimientos de fondos propios, el nivel de confianza dependerá de la aversión al riesgo del gestor con respecto a los riesgos asociados a casos extremos. A mayor aversión, más importante será mantener suficientes fondos propios para cubrir pérdidas asociadas a situaciones extremas, por lo que el nivel de confianza elegido en este caso debería ser muy alto. Finalmente, si el VeR es utilizado para comparar el nivel de riesgo asumido por distintas entidades o por distintas actividades de negociación, dicha comparación no ofrecerá problema alguno si asumimos que los rendimientos de las distintas carteras se pueden describir a través de una función de distribución de probabilidades normal u otra asimilable, ya que el nivel de confianza se puede modificar para originar un valor del VeR comparable con el de otra institución. En este

---

\* Para las instituciones financieras en Colombia los valores en riesgo deberán ser estimados utilizando un intervalo de confianza del 98% y un período de tenencia o de negociación de 10 días para el libro de tesorería. Aunque se puede utilizar otros períodos más largos como trimestres e incluso años. El valor de  $K(\alpha)$  en una Distribución Normal estándar para un nivel de confianza del 98%, es  $K = 2,05$ .

<sup>15</sup> GENTO, Pedro M. Comparación entre métodos alternativos para la estimación del valor en riesgo. [en línea]. Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de Ciudad Real. s.f. [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet:<http://www.gloriamundi.org/picsresources/pgm.pdf>

caso, la elección del nivel de confianza no ofrece problema alguno. Sin embargo, sin el supuesto de normalidad, el VeR calculado para un determinado nivel de confianza nos dirá muy poco del VeR correspondiente a otro nivel de confianza distinto”.

En definitiva, la institución debe utilizar el nivel de confianza apropiado en función del objetivo marcado en cuanto a la estimación del VeR.

El uso del término  $\sqrt{t}$  supone que los rendimientos se distribuyen idéntica e independientemente, como dice Jorion “estos no están correlacionados en intervalos sucesivos de tiempo”<sup>16</sup>. Es decir, covarianzas iguales a cero\*\*, por tanto el rendimiento esperado como la varianza se incrementan linealmente con el tiempo. La volatilidad, en contraste, crece con la raíz cuadrada del tiempo, en otras palabras según Campos: “La volatilidad de un período largo puede considerarse la suma de la volatilidad de períodos más cortos”<sup>17</sup>. La siguiente tabla resume las correcciones que se deben realizar dependiendo del horizonte de análisis -W es el monto del portafolio en \$:

**Tabla 1. Resumen de rendimientos y varianzas para distintos horizontes de tiempo.**

Estadístico	1 Día	Semana	Mes	Año
Retorno	$\mu_d$	$5 \cdot \mu_d$	$20 \cdot \mu_d$	$240 \cdot \mu_d$
Varianza	$\sigma_d^2$	$5 \cdot \sigma_d^2$	$20 \cdot \sigma_d^2$	$240 \cdot \sigma_d^2$
Desv. Estándar	$\sigma_d$	$\sigma_d \cdot \sqrt{5}$	$\sigma_d \cdot \sqrt{20}$	$\sigma_d \cdot \sqrt{240}$
VaR ( $\alpha = 1.645$ )	$-\alpha \cdot \sigma_d \cdot W$	$-\alpha \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{5} \cdot W$	$-\alpha \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{20} \cdot W$	$-\alpha \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{240} \cdot W$

Fuente: Banco Central de Chile, Documentos de Trabajo. N° 67, 2000.

<sup>16</sup> JORION, Op. cit., p 103.

\*\* La covarianza es una medida de la forma en que dos variables juntas se mueven linealmente. Si dos variables son independientes, su covarianza es igual a cero.

<sup>17</sup> CAMPOS, Op. cit., p. 13.

Knop, Ordovás y Vidal<sup>18</sup>, consideran que la anterior aproximación es cuestionable, por lo que siempre que se dispongan de datos en la unidad deseada es preferible calcularla en ella misma que calcularla en otra y convertirla.

“Nótese que, dado que la volatilidad crece con la raíz cuadrada del tiempo y la media con el tiempo, la media dominará a la volatilidad en horizontes largos. En horizontes cortos, tales como un día, la volatilidad domina”<sup>19</sup>. Este planteamiento proporciona una razón para concentrarse en mediciones del VeR basadas sólo en la volatilidad e ignorando los rendimientos esperados.

Es importante resaltar que el tiempo se suele asumir como el plazo necesario para poder deshacer o cubrir una posición del portafolio, si no es posible cerrarla. Es decir, que los modelos de Valor en Riesgo asumen que la composición del portafolio no cambia durante el período de tenencia, lo cual puede exagerar las pérdidas probables cuando un inversionista está en capacidad de liquidar un instrumento durante un período de tiempo más corto, o cuando es posible usar derivados para cubrirse de eventuales pérdidas. Este último caso complicaría los cálculos del VeR, pues se debe recordar que este método mide inadecuadamente el riesgo de los instrumentos no lineales, tales como las opciones y otros derivados cuyos precios varían en magnitud diferente a la del mercado. Por lo anterior, se deben asignar horizontes temporales cortos a portafolios *trading* o especulativos y largos a portafolios más estructurados cuya intención no sea la de liquidación en el corto plazo.

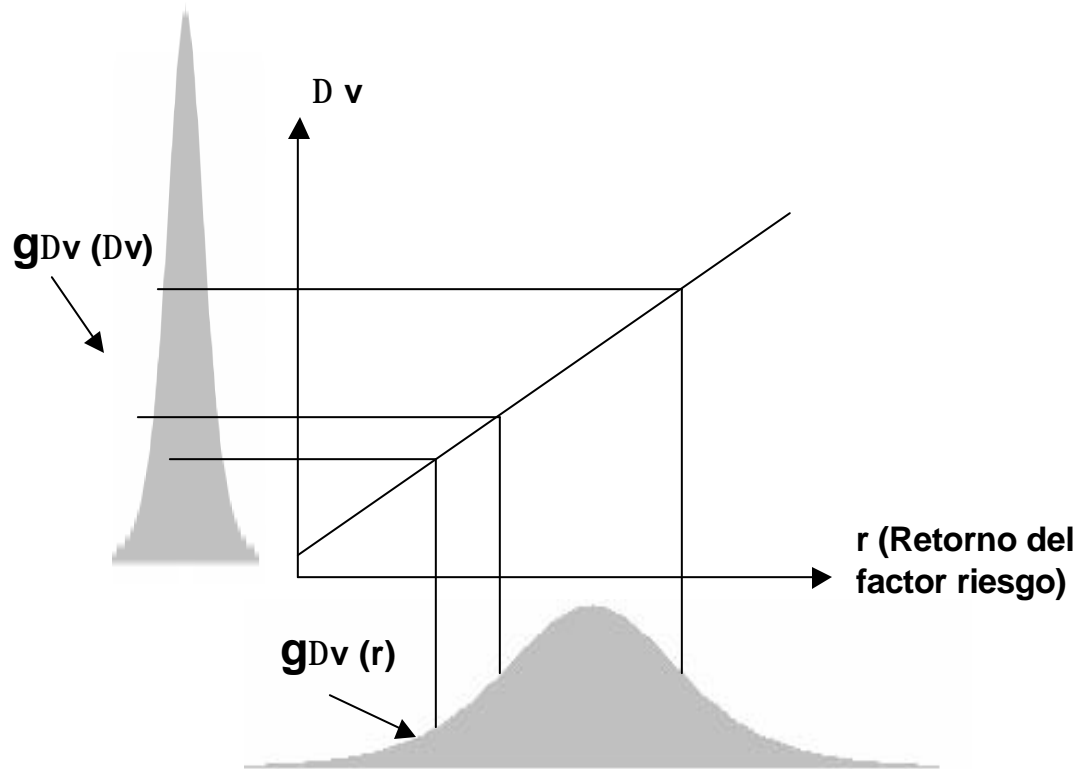
---

<sup>18</sup> KNOP, Roberto y ORDOVÁS, Roland. VIDAL, Joan. Op. Cit., p. 92.

<sup>19</sup> JORION, Op. cit., p. 104.

**2.3.1 Método Varianzas-Covarianzas.** Este método es utilizado en la medición del riesgo de mercado para posiciones lineales. Bajo el supuesto de que si los cambios proporcionales en los factores de riesgo se comportan de manera normal\*, entonces, los cambios en el valor del portafolio también se comportarán de manera normal, ya que hay una relación lineal<sup>20</sup>. La figura 3 representa esta situación.

**Figura 3. Relación lineal entre los cambios en el factor de riesgo y los cambios en el valor del portafolio.**



Fuente: BELTRAN, Fernando. Métodos de determinación del valor en riesgo y su aplicación al sistema bancario colombiano.

\* Un factor de riesgo es una variable del mercado con características particulares cuya variación genera un cambio en el valor de un instrumento financiero. La Superintendencia Bancaria a través de la Circular 042 define los factores de riesgo, los cuales son clasificados en cuatro categorías generales: tasa de interés (en moneda legal, moneda extranjera y en operaciones pactadas en UVR), tasa de cambio, valor de la UVR y precio de las acciones.

<sup>20</sup> BELTRAN, Fernando y PERILLA, Augusto. El concepto de VaR y los métodos de valoración. En : BELTRAN, Fernando. Métodos de determinación del valor en riesgo y su aplicación al sistema bancario colombiano. Bogotá, D.C.: Uniandes. Girafa, 2002. p. 17.

Un portafolio está compuesto por posiciones activas y pasivas que son afectadas por factores de riesgo. Estas posiciones tienen un valor en riesgo que depende de la volatilidad de estos factores, por ello es necesario obtener la matriz de varianza-covarianza o la matriz de correlaciones que refleje de manera más precisa los riesgos asumidos en conjunto por la entidad. Por ello, se utiliza la formulación de teoría clásica de carteras desarrollada por Markowitz:

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

Donde:

$R_p$ : rendimiento del portafolio

$R_i$ : rendimiento del activo "i"

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

n: número de activos diferentes

La desviación típica del rendimiento del portafolio se puede calcular así:

$$s_p = \sqrt{w_1^2 s_1^2 + w_2^2 s_2^2 + \dots + w_i^2 s_i^2 + 2w_1 w_2 s_{12} + \dots + 2w_i w_j s_{ij}}$$

Siendo  $s_{ij}$ , la covarianza entre los rendimientos de los activos i y j, la cual se obtiene de:  $s_{ij} = r_{ij} s_i s_j$ . Es decir, es el resultado de multiplicar el factor de correlación lineal -rho- por las respectivas desviaciones estándar de los rendimientos individuales. Por



tanto, la contribución de cada posición al riesgo del portafolio depende de la relación entre los diferentes factores de riesgo que lo componen\* .

Utilizando notación matricial se puede representar la desviación estándar del rendimiento de un portafolio:

$$\mathbf{s}_p = \sqrt{\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \cdots & w_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{s}_1^2 & \mathbf{s}_{12} & \cdots & \mathbf{s}_{1i} \\ \mathbf{s}_{21} & \mathbf{s}_2^2 & \cdots & \mathbf{s}_{2i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{s}_{i1} & \mathbf{s}_{i2} & \cdots & \mathbf{s}_i^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_i \end{bmatrix}}$$

El Valor en Riesgo del portafolio se puede entonces expresar de la siguiente manera:

$$VeR_p = V_0 * K(\mathbf{a}) * \mathbf{s}_p \sqrt{t}$$

Esta ecuación ilustra que los portafolios están contruidos de tal manera que la relación entre los instrumentos que lo componen hacen que el riesgo agregado del portafolio sea menor que la suma de los riesgos individuales. Aquí las correlaciones juegan un papel importante, porque ayudan a diversificar el riesgo, por esto se da el nombre de Valor en Riesgo “diversificado” a aquel que se calcula utilizando las correlaciones entre los factores de riesgo, siendo este menor que la suma de los VeR individuales, lógicamente siempre y cuando las correlaciones sean menores que uno.

---

\* El coeficiente de correlación (  $\mathbf{r}$  ) es una medida estadística para medir el grado de asociación entre factores de riesgo, y se encuentra entre -1 y 1. Si dos factores no están correlacionadas (  $\mathbf{r}=0$  ), se dice que los factores son independientes, y que el movimiento de uno no está condicionada por el del otro. Si la correlación es positiva (  $\mathbf{r}>1$  ), el movimiento de los factores tiende a moverse en la misma dirección. Si (  $\mathbf{r}<1$  ) tienen efecto inverso, los factores tienden a moverse en sentido contrario. En resumen, correlaciones positivas tienden a hacer los riesgos aditivos, en tanto que correlaciones negativas tienden anular los riesgos entre sí.

En el fondo, este método retoma los conceptos de la teoría de cartera clásica, procedente de autores como Markowitz y Sharpe. Así para Jorion<sup>21</sup>, el concepto de valor en riesgo no es algo nuevo, lo que sí lo es tiene que ver con la aplicación sistemática del VeR a múltiples fuentes de riesgos financieros, incluyendo los derivados, y culminando con un número que se aplica a toda la empresa. Pero, más que encontrar este número, es de interés poder utilizarlo con el fin de manejar y controlar el riesgo, además identificar a través de herramientas como el VeR incremental, el activo que más contribuye al riesgo del portafolio.

El VeR incremental permite a los usuarios identificar el activo que contribuye de manera más significativa a su riesgo total. La contribución marginal al riesgo se mide a través de la derivada de la varianza del portafolio con respecto a  $w_i$ <sup>22</sup>:

$$\mathbf{s}_p^2 = w_1^2 \mathbf{s}_1^2 + w_2^2 \mathbf{s}_2^2 + \dots + w_i^2 \mathbf{s}_i^2 + 2w_1 w_2 \mathbf{s}_{12} + \dots + 2w_i w_j \mathbf{s}_{ij}$$

$$\frac{d\mathbf{s}_p^2}{w_i} = 2w_i \mathbf{s}_i^2 + 2 \sum_{j=1, j \neq i}^N w_j \mathbf{s}_{ij}$$

$$\frac{d\mathbf{s}_p^2}{w_i} = 2Cov(R_i, w_i R_i + \sum_{j \neq i}^N w_j R_j) = 2Cov(R_i, R_p)$$

---

<sup>21</sup> JORION, Op. cit., p. 173.

<sup>22</sup> Ibid., p. 178.

Se observa que  $\frac{ds_p^2}{w_i} = 2s_p \frac{ds_p}{dw_i}$ . Entonces, la sensibilidad del cambio relativo en la volatilidad del portafolio a un cambio en la ponderación es:

$$\frac{ds_p}{s_p dw_i} = \frac{Cov(R_i, R_p)}{s_p^2} = b_i$$

Por tanto,  $b$  mide la contribución de un activo al riesgo total del portafolio. Este es llamado también el riesgo sistémico del activo  $i$  con respecto al portafolio  $p^*$ .

- **La Volatilidad.** En el contexto anterior, el punto clave, dentro de los métodos paramétricos es el procedimiento a seguir para la determinación de la varianza del portafolio. Al respecto Hendriks<sup>23</sup>, utiliza en su trabajo dos enfoques: el de las medias móviles igualmente ponderadas y el de las medias móviles exponencialmente ponderadas. En el primer caso utiliza la formula estadística convencional de la varianza, en la que asume que la totalidad de los datos históricos utilizados tienen el mismo peso o ponderación. En el segundo de los enfoques se asume que la información más reciente debe tener un peso mayor a la hora de determinar la varianza. La razón, es que en los mercados financieros, a períodos de calma y estabilidad, les siguen períodos de turbulencia, y en la práctica se ha observado que la mayoría de los activos no siguen un comportamiento estrictamente normal, sino

---

\* El riesgo sistémico de un valor individual es esa porción de su riesgo total que no puede ser eliminado combinándolo con otros valores en un portafolio bien diversificado. Este riesgo  $b$  es la base del modelo de valuación de activos de capital (CAPM), desarrollado por Sharpe (1964).

<sup>23</sup> HENDRICKS, Darryll. Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data (methods for estimating market risk). [online]. Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review, April 1996 v2 n1 p. 39. [Cited 11 october 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

que son aproximados a la curva normal; por tanto, los resultados que se obtienen al medir el riesgo serán sólo una aproximación<sup>24</sup>.

Para corregir estas debilidades, se han desarrollado una serie de técnicas que intentan estimar la varianza condicional de una serie histórica de un factor de riesgo\*, pues esta no es constante, es decir, la volatilidad o la varianza es variable en el tiempo.

Cuando se utiliza el método de volatilidad histórica todas las observaciones tienen el mismo peso específico y el pronóstico está basado en las observaciones históricas:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - m)^2}{n-1}}$$

Se ha demostrado que es mejor considerar únicamente el cuadrado de los rendimientos, por lo que una manera más práctica de calcular la volatilidad histórica sería\*\*:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i)^2}{n}}$$

---

<sup>24</sup> LARA, Op. cit., p. 61.

\* Varianza condicional porque depende de la información disponible en un momento previo.

\*\* Lo que recomienda el Comité de Basilea es utilizar un horizonte o ventana de 250 días de operación (hábiles), equivalentes a un año calendario.

La desventaja de este método es que asigna igual peso a las observaciones recientes y a las más alejadas, lo cual no permite capturar la dinámica reciente del mercado. Por ello, se han desarrollado los métodos de suavizamiento exponencial o el Garch, que asignan mayor peso a las últimas observaciones; representando esto una ventaja sobre la volatilidad histórica. El modelo de volatilidad dinámica o con suavizamiento exponencial tiene la siguiente formulación:

$$s_t^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=0}^T r_{t-i}^2$$

Asignando al cuadrado de los rendimientos un peso específico:

$$s_t^2 = \sum_{i=0}^T w_i r_{t-i}^2$$

Si hacemos  $w_i = I_{i-1}(1-I)$  donde  $0 < I < 1$ , entonces se tendrá la siguiente expresión:

$$s_t = \sqrt{(1-I) \sum_{i=1}^T I^{i-1} r_{t-i}^2}$$

Aquí la volatilidad depende de un factor de decaimiento o de suavizamiento llamado  $I$  (*decay factor*). La elección de  $I$  óptima que minimiza el error pronosticado de la varianza o el error cuadrático medio, consiste en la diferencia al cuadrado entre la

varianza observada y la estimada<sup>25</sup>. Como  $I$  es la ponderación que se asigna a las diferentes rentabilidades en función del tiempo, mientras más pequeño sea  $I$ , mayor peso tienen las observaciones más recientes, por el contrario, un  $I$  más alejado cercano a 1 significa que las observaciones recientes tienen una menor preponderancia.

El modelo anterior también puede ser descrito de la siguiente manera:

$$s_{t+1}^2 = (1 - I)r_t^2 + I s_t^2$$

“La ventaja de los modelos Garch es que son de carácter parsimonioso y que, con pocos parámetros, se adaptan bien a los datos observables. La desventaja es su no linealidad, hecho que obliga a estimar los parámetros mediante la maximización de la función de verosimilitud lo que implica una optimización de carácter numérico”<sup>26</sup>.

Otra alternativa que confiere una mayor ponderación a los datos recientes para determinar la volatilidad son los modelos autorregresivos de varianza condicional [Garch(p,q)], propuesto por Engle y Bollerslev<sup>27</sup>. Este tipo de modelos son frecuentemente utilizados en series económicas y financieras, las cuales se caracterizan por períodos de volatilidad seguidos de otros de tranquilidad.

---

<sup>25</sup>.  $RMST = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T [r_{i+1}^2 - s_{i+1}^2]^2}$ ; (Root Mean Squared Error), véase J.P Morgan –Reuters, 1996.

<sup>26</sup> MARTIN, José L. OLIVER, María D. DE LA TORRE, Antonio, Op. cit., p. 50.

<sup>27</sup> BOLLERSEV, Tim. A Conditionally Heteroskedastic Time Series Model, citado por CAMPOS, Alexander. El VeR: Herramienta para la medición del riesgo de mercado. En: Apuntes de Banca y Finanzas. Asobancaria. Bogotá D.C No. 4 (2003); p. 17.

La rentabilidad se puede formular así:

$$R_t = m + e_t$$

donde  $e_t$  es una variable aleatoria o ruido blanco que se distribuye  $\sim N(m, s_t^2)$  con varianza condicional  $s_t^2$  que se puede expresar de la siguiente manera:

$$s_t^2 = a_0 + \sum_{j=1}^p b_j s_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^q a_i R_{t-i}^2$$

Esta aproximación de la volatilidad según Campos puede interpretarse, en un contexto financiero, como:

“la predicción que un operador hace de la volatilidad de un instrumento financiero en función del promedio ponderado de un término de largo plazo (la constante  $a_0$ ), la volatilidad observada en períodos anteriores ( $s_{t-1}$ ) y la rentabilidad observada en períodos anteriores ( $R_{t-1}$ ). Si el retorno del activo fuese inesperadamente alto o bajo, entonces el operador incrementará la estimación de la varianza para el siguiente período”<sup>28</sup>.

El modelo de RiskMetrics utiliza una especificación tipo Ewma (promedio móvil con ponderación exponencial). Para observaciones diarias se considera un factor de decaimiento  $I = 0.94$  y  $I = 0.97$  para datos mensuales. La ecuación de volatilidad queda expresada como:

---

<sup>28</sup> CAMPOS, Op. cit., p. 17.

$$s_t^2 = (1 - I)e_{t-1}^2 + I s_{t-1}^2$$

Los modelos Garch cuando se tienen sistemas de cómputo adecuados, son más confiables, sin embargo la manera más práctica de enfrentar el cálculo de la volatilidad es mediante el uso de la volatilidad dinámica o exponencial, ya que después de todo se trata de un caso particular de un modelo Garch(1,1)<sup>29</sup>.

Para Jorion<sup>30</sup>, siempre que sea posible, el valor en riesgo deberá utilizar parámetros implícitos. La volatilidad implícita es aquella existente en el mercado de opciones, y es muy confiable cuando el producto subyacente tiene suficiente liquidez. La manera de calcularla es mediante la observación de la prima de las opciones en el mercado y la utilización de la fórmula Black Sholes. La dificultad en la obtención de esta volatilidad esta en que el número de opciones sobre distintos instrumentos es aún muy limitado.

**2.3.2 Método Estándar.** Mediante la Circular Externa 031 de 2004 de la SBC (modificación a la Circular 042 de 2001, Capítulo XXI), se describen los enfoques que podrán utilizar las entidades financieras colombianas para la medición del riesgo de mercado, bien sea, a través de modelos internos o mediante una metodología estándar definida en dicho documento.

**2.3.2.1 Metodología para la medición del riesgo de tasa de interés.** La medición del riesgo de tasa de interés se efectúa a través del método de duración y emplea un

---

<sup>29</sup> LARA, Op. cit., p. 55.

<sup>30</sup> JORION, Op. cit., p. 205.



sistema de bandas de tiempo que permite asumir cambios no paralelos en la estructura a término de las tasas de interés.

El concepto de duración fue expuesto en el primer capítulo para activos con tasa fija, sin embargo, se aplican diferentes consideraciones para el cálculo de duración de instrumentos según éstos sean pactados a tasa fija o tasa variable, y/o en moneda legal, extranjera o en UVR (Ver Circular 031 de la SBC).

El cálculo de la duración de los flujos de efectivo de los activos y de los pasivos pactados a tasa fija en moneda legal debe efectuarse como se describe a continuación:

- Proyectar los flujos de caja de cada instrumento de acuerdo con lo pactado contractualmente, incluyendo en cada caso las amortizaciones de capital y los rendimientos o los costos.
- Clasificar, según su temporalidad, los flujos de caja en las bandas de tiempo definidas en el formato previsto para la medición de riesgo de tasa de interés en moneda legal.
- Calcular la duración y el valor presente de los flujos de caja clasificados en cada banda de tiempo empleando en cada caso las tasas de descuento vigentes en el mercado para el plazo y el tipo de operación respectivas.
- Calcular el VeR de cada banda con base en las duraciones promedio ponderadas de las posiciones individuales activas o pasivas. El valor en riesgo esta definido como el cambio en el valor del instrumento como respuesta a cambios de la tasa de interés:

$$VeR_{ik} = \mathbf{DVPN}_{ik} = \left[ \frac{DUR_{ik}}{(1 + Y_k)} * VPN_i \right] * \mathbf{Di}_k$$

donde:

$\Delta VPN_{ik}$ : Cambio en el valor de la posición i para la banda k.

DUR<sub>ik</sub>: Duración de la posición i para la banda k.

$\Delta i_k$ : Variación máxima probable en las tasas de interés para el plazo k.

Y<sub>k</sub>: Rentabilidad de la posición i de la banda k.

VPN<sub>ik</sub>: Valor presente de los flujos de la posición i en la banda de tiempo k.

“Las variaciones máximas probables y las tasas de interés utilizadas en el cálculo del valor en riesgo se refieren a variaciones y tasas mensuales, toda vez que la duración de las posiciones activas y pasivas ha sido calculada en número de meses”<sup>31</sup>.

- Calcular el valor en riesgo neto para cada banda de tiempo como la sumatoria de los valores en riesgo de los activos, menos la sumatoria de valores en riesgo de los pasivos.

La medición del riesgo de tasa de interés de las posiciones activas y pasivas denominadas en moneda extranjera se debe efectuar siguiendo el mismo procedimiento definido para la medición del riesgo de tasa de interés en moneda legal, teniendo en cuenta de convertir el saldo en pesos de los instrumentos denominados en moneda extranjera a dólares utilizando la tasa de cambio vigente en la fecha de evaluación, es decir, que los flujos quedarían proyectados en dólares

<sup>31</sup> Superintendencia Bancaria de Colombia. Circular Externa 031 de 2004. p. 14.

para el cálculo de las duraciones. Por último se deben convertir a moneda legal los valores en riesgo calculados anteriormente empleando la tasa de cambio vigente en la fecha de evaluación.

**2.3.2.2 Medición del riesgo de tasa de cambio.** La medición del riesgo de tasa de cambio debe efectuarse siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- Se debe establecer la Posición Neta en cada divisa, entendida ésta como la diferencia entre la suma de las posiciones activas y la suma de las posiciones pasivas denominadas o indexadas a cada divisa.

Los contratos forward de compra de divisas se deben considerar como posiciones activas y los contratos forward de venta de divisas como posiciones pasivas.

- Convertir a moneda legal cada una de las Posiciones Netas calculadas utilizando las tasas de cambio vigentes para las respectivas monedas.
- Estimar las máximas pérdidas probables derivadas de variaciones en las tasas de cambio de cada divisa, mediante la multiplicación de cada Posición Neta expresada en moneda legal por la variación máxima probable en la tasa de cambio correspondiente, de la siguiente manera:

$$\Delta V_j = PNL_j * \Delta e_j$$

donde:

$\Delta V_j =$  Cambio en el valor de la posición neta en la divisa j.

$PNL_j =$  Valor en moneda legal de la Posición Neta en la divisa j.

$\Delta e_j =$  Variación máxima probable en la tasa de cambio de la divisa j

**2.3.2.3 Medición del riesgo de cambios en el precio de acciones.** “El valor en riesgo por cambios en el precio de las acciones de media y alta bursatilidad en las cuales la entidad mantenga posiciones se determinará mediante la aplicación de la variación máxima probable al valor en libros de las respectivas posiciones. La variación máxima aplicada corresponderá a la volatilidad del índice de precios de la Bolsa de Colombia estimada por la SBC<sup>32</sup>.

De esta manera, el valor en riesgo para las posiciones en acciones de media y alta bursatilidad será igual a:

$$VeR_{Acciones B} = Pos_{Acciones B} * Dprecio$$

Donde:

*VeR AccionesB:* Valor en riesgo por variación en el precio de acciones de acciones de media y alta bursatilidad.

*Pos AccionesB:* Valor en libros de las posiciones en acciones de media y alta bursatilidad que mantenga la entidad.

*Dprecio:* Variación máxima probable en los precios de acciones.

Para las demás posiciones en acciones, de baja o ninguna bursatilidad o no inscritas en bolsa, los valores en riesgo de precio se estimarán de la siguiente manera:

$$VeR_{Acciones NB} = Pos_{Acciones NB} * 1.2 * \Delta precio$$

Donde:

---

<sup>32</sup> Ibid., p. 23.

*VeR AccionesNB:* Valor en riesgo por variación en el precio de acciones de baja o ninguna bursatilidad o de no inscritas en bolsa.

*Pos AccionesNB:* Valor en libros de las posiciones en acciones de baja o ninguna bursatilidad o de no inscritas en bolsa.

*Dprecio:* Variación máxima probable en los precios de las acciones.

**2.3.2.4 Agregación de los valores en riesgo.** En el modelo estándar de la SBC, es necesario agregar los valores en riesgo de cada factor con el propósito de establecer riesgo total de la entidad (VeR diversificado). El procedimiento consiste en sumar los Valores en Riesgo originados por cada uno de los factores de riesgo, haciendo uso de la matriz de correlaciones.

Cabe señalar que esta metodología propuesta por la SBC esta basada en un enfoque delta y por tanto supone que:

- El cambio en el valor del portafolio es una función lineal (o delta) de los cambios proporcionales en los factores de riesgo, y
- Que estos últimos se distribuyen de manera normal.

En el caso de la Circular 031, no se menciona que se hayan hecho pruebas para establecer la veracidad de estos supuestos. De no cumplirse, algunos de ellos, se tendrá que el valor calculado por el método estándar será sólo una aproximación del valor real<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> PERILLA, Augusto. Mejoras propuestas a la metodología estándar utilizada para la medición a la exposición de los riesgos de mercado. En : BELTRAN, Fernando. Métodos de determinación del valor en riesgo y su aplicación al sistema bancario colombiano. Bogotá, D.C.: Uniandes. Girafa, 2002. p. 56.

La conclusión a la que se llega con la utilización de los anteriores métodos paramétricos, es que su implementación es sencilla, sólo requiere los valores de mercado y la exposición de las posiciones actuales, combinados con los datos de riesgo. En múltiples situaciones, estos métodos proporcionan una adecuada medición del riesgo de mercado. Para portafolios grandes, que no poseen un número grande de opciones y de instrumentos con convexidad como los bonos, el método es rápido y eficiente para medir el VeR, además no es muy propenso al riesgo de modelo (ocasionado por supuestos o computos defectuosos), siendo además fácil de explicar a la administración y al público<sup>34</sup>.

En una estimación del VeR a través de un modelo paramétrico, Hendricks<sup>35</sup>, estableció que el supuesto dual entre normalidad e independencia de la serie de datos con los que se mide la volatilidad, crea facilidad de uso por dos razones. Primero, la normalidad simplifica los cálculos de valor en riesgo porque requiere sólo la estimación de la desviación estándar para medir los cambios de valor de un portafolio durante el período en el que se mantengan las posiciones en los instrumentos financieros que lo conforman. Segundo, la independencia de los datos históricos de la serie suponen que un movimiento del precio en un día no afectará estimaciones de movimientos del precio en cualquier otro día. Por consiguiente, con las dos asunciones anteriores, se podrían obtener las medidas de valor en riesgo para cualquier período de tenencia, multiplicando la desviación estándar diaria por la raíz cuadrada del número de días del período a analizar. Pero, reconoce también que existe gran evidencia que sugiere que algunas series de cambio en precios no se comportan como una distribución normal.

---

<sup>34</sup> JORION, Op. cit., p. 216.

<sup>35</sup> HENDRICKS, Darryll. Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data (methods for estimating market risk). [online]. Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review, April 1996 v2 n1 p. 39. [Cited 11 october 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

En el trabajo de Valor en Riesgo para valores de renta fija, Torres y Escobar<sup>36</sup>, analizaron un solo pasivo (bonos) desde el enfoque del emisor, institución financiera, y observaron los comportamientos de los índices característicos de una emisión de bonos y la incidencia de la fluctuación de las tasas y el valor que debe pagar la entidad a sus tenedores. El estudio acudió a datos históricos para la proyección de valores futuros mediante series de tiempo, y apoyándose en el modelo paramétrico se concluyó que debido a la variabilidad que presentan los índices en estudio (DTF, UVR e IPC) no es posible aplicar de manera efectiva este procedimiento para la obtención de valores pronosticados. En contraste, el modelo de simulación histórica demostró algunas ventajas puesto que los resultados fueron más consistentes con la realidad.

Bollerslev argumenta que: “las propiedades de las distribuciones de los precios especulativos, retornos sobre acciones y tipos de cambio tienen importantes implicaciones para muchos modelos financieros (...) las varianzas y covarianzas de los retornos de los activos son usados como medidas de la dispersión o el riesgo. Sin embargo, dependiendo de la distribución de los retornos, la varianza podría no ser un estadístico suficiente o válido a usar”<sup>37</sup>.

En resumen, el método paramétrico (enfoque delta normal) presenta principalmente dos problemas. El primero es que generalmente supone que los retornos del activo siguen una distribución normal, a pesar de que existe gran evidencia de que ésta no se ajusta en forma correcta a la serie de retornos financieros.

---

<sup>36</sup> TORRES VELASCO, Welleda y ESCOBAR CASTAÑO, Mauricio. Análisis de valores de renta fija: un enfoque al modelo de valor de riesgo. Medellín, 2002, 97 p. Tesis (Ingeniero industrial). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. p. 39.

<sup>37</sup> BOLLERSLEV, Tim. A conditionally heteroskedastic time series model for speculative prices and rates of return, citado por CAMPOS OSORIO, Alexander. El VeR: Herramienta para la medición de riesgos de mercado. En : Apuntes de Banca y Finanzas. Asobancaria. Bogotá D.C. No. 4. (2003); p. 14.

La gran diferencia entre la distribución normal y la real de las series financieras es el fenómeno de colas gruesas\* (también presentan asimetría). El segundo problema de este método tradicional es que utiliza todas las observaciones de la serie financiera. Debido a esto, la distribución estimada se ajusta bien a las observaciones centrales pero deja a un lado las observaciones extremas dado que éstas son muy pocas; sin embargo, son estas observaciones las que realmente son de interés en la medición del VeR<sup>38</sup>.

Estas “colas gruesas” son preocupantes, porque el VeR pretende capturar precisamente el comportamiento del rendimiento del portafolio en la cola izquierda. Con colas gruesas, un modelo basado en la aproximación normal subestima la proporción de datos extremos, y por tanto, el verdadero valor del riesgo<sup>39</sup>. Las correlaciones en la mayoría de tales casos tienden a aumentar significativamente, sin permitir el efecto de diversificación.

En otras palabras, según Glasserman<sup>40</sup>, los resultados extremos ocurren a menudo y son más grandes de lo que predice una distribución normal (las colas gruesas). Esto significa que demasiadas observaciones ocurren casi en el centro de la distribución, la curva es demasiado puntiaguda, o leptocúrtica (curtosis mayor a 3). Los valores cerca del promedio son acompañados inevitablemente por un exceso de valores muy

---

\* Mayor densidad probabilística en los extremos de la distribución lo que implica una alta curtosis. La curtosis de una distribución normal es 3, pero para la distribución de las series financieras se observa una mayor curtosis. Entre las técnicas desarrolladas para probar que una serie de retornos sigue una distribución normal está el estadístico Jarque Bera.

<sup>38</sup> CARDOZO, Pamela. Valor en riesgo de los activos financieros colombianos aplicando la teoría de valor extremo. [en línea]. Julio 2004. [consultado diciembre 2 de 2004]. Disponible en internet: <http://www.banrep.gov.co/docum/borrasem/intro304.htm>. En este trabajo se mostró que la distribución de los retornos de los activos financieros colombianos presenta colas gordas y no delgadas como las de la distribución normal.

<sup>39</sup> JORION, Op. cit., p. 210.

<sup>40</sup> GLASSERMAN, Paul. The quest for precision through Value-at-Risk. [online]. The Financial Times, May 16, 2000 p6. [Cited 10 november 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.



extremos. Afirma, que se reconoce ampliamente como la correlación estadística es una descripción imperfecta de los mercados y de la manera como se mueven cuando se presentan grandes movimientos. Los movimientos del mercado no son constantes en el tiempo (la volatilidad no es constante). De acuerdo con Alarcón y Alvarez<sup>41</sup>: “La no normalidad de la distribución de la serie de retornos implica que, si se utiliza  $s$  como indicador de la volatilidad, se estaría omitiendo el hecho de que ésta no es constante en el tiempo sino que varía en una proporción distinta de la raíz del tiempo  $\sqrt{t}$ ”.

Neftci<sup>42</sup>, afirma que la teoría estadística de valores extremos tiene algunas ventajas en comparación con los métodos que utilizan un enfoque delta\*. Los resultados de su investigación mostraron que la teoría de extremos aplicada a ocho factores de riesgo del mercado, mantienen un acercamiento más preciso con el cálculo del riesgo. Las medidas de VeR serían de un 20% a 30% mayor si se usan los escenarios extremos en lugar del modelo delta normal.

Para Simons<sup>43</sup>, el problema es que el riesgo evento o extremo no ocurre con la frecuencia suficiente para ser representado adecuadamente por una distribución de probabilidad basada en datos históricos recientes, siendo esta una deficiencia general de todos los métodos que utilizan series históricas, razón por la cual el VeR paramétrico es usado a menudo, además las variaciones de los factores de riesgo en

---

<sup>41</sup> ALARCÓN, L. y ALVAREZ, J. Modelos para el cálculo de la volatilidad de la tasa de interés en Colombia, citado por CAMPOS OSORIO, Alexander. El VeR: Herramienta para la medición de riesgos de mercado. En : Apuntes de Banca y Finanzas. Asobancaria. Bogotá D.C. No. 4. (2003); p. 14.

<sup>42</sup> NEFTCI, Salih N. Value at Risk Calculations, Extreme Events, and Tail Estimation. [online]. Journal of Derivatives, Spring 2000 v7 i3 p23. [Cited 10 november 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

\* La teoría de valores extremos proporciona una metodología que puede usarse para hacer las inferencias estadísticas en las colas de la distribución.

<sup>43</sup> SIMONS, Katerina. The use of value at risk by institutional investors. [online]. New England Economic Review, Nov-Dec 2000 p21(10). [Cited 10 november 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

el tiempo como los cambios estructurales en el mercado, cambios fiscales o monetarios, etc., a menudo pueden ser difícil o incluso imposibles de evaluar.

**2.3.3 Método de simulación Montecarlo.** El método de simulación Montecarlo consiste en crear escenarios de rendimientos o precios de un activo mediante la generación de números aleatorios. En este caso se supone que el cambio en los precios sigue un comportamiento estocástico (movimiento geométrico browniano)\*, con la siguiente ecuación matemática que representa el modelo de Wiener:

$$\frac{dP}{P} = \mathbf{m}dt + \mathbf{s}dz$$

$$dz = \mathbf{e}_t \sqrt{dt}$$

$$\frac{dP_t}{P_t} = \mathbf{m}dt + \mathbf{s}\mathbf{e}_t \sqrt{dt}$$

donde  $\mathbf{e}_t \sim N(0,1)$ ; corresponde a una variable aleatoria normal estándar (ruido blanco o choque aleatorio). Esta sección se enfoca en un caso simple con una sola variable aleatoria.

El modelo de Wiener indica que los rendimientos de un activo  $\frac{dP}{P}$  están determinados por un componente determinístico  $\mathbf{m}dt$  y un componente estocástico  $\mathbf{s}\mathbf{e}_t \sqrt{dt}$ .

---

\* Movimiento browniano en el sentido de que su varianza decrece continuamente con el intervalo de tiempo,  $V(dz)=dt$ . Esto descarta los procesos con saltos repentinos. El proceso es geométrico porque todos los parámetros son escalados por el precio actual  $P_t$ .

“El método de simulación Montecarlo permite generar una gran cantidad números aleatorios (usualmente 5.000 ó 10.000 escenarios) para la variable  $e_t \sim N(0,1)$ , de tal manera que se pueda contar con igual cantidad de precios simulados del activo para diferentes horizontes de tiempo”. Posteriormente se valora el portafolio para cada escenario de precios (valoración global) y se presentan los resultados como distribución de probabilidades de los rendimientos del portafolio como una medida específica del riesgo o VeR.

Si los instrumentos no están correlacionados entre sí, el ejercicio sería simplemente repetir n veces (una vez por instrumento), el mismo procedimiento que se sigue para el portafolio de un activo. Sin embargo, si las correlaciones entre los instrumentos no son nulas, la simulación de los retornos debe considerar tal covarianza, lo cual complica el procedimiento de generación de procesos estocásticos.

Para la generación de escenarios usamos la siguiente formulación:

$$P_t = P_0 e^{s\sqrt{t}Y}$$

donde:

$P_t$ : precio del activo en el día “t”

$P_0$ : precio del activo en el día inicial

$s$ : volatilidad diaria del precio del activo

$t$ : horizonte temporal en días

$Y$ : variable aleatoria normal estandarizada

Si se supone una cartera con dos activos hay que generar parejas de números aleatorios que se encuentren correlacionados según una estimación previa de la historia o situación de los mercados en cuestión<sup>44</sup>.

Partamos de la siguiente expresión:

$$Z=AY$$

Donde:

Z: vector nx1 de variables normales estandarizadas e independientes

Y: vector

N: número de activos a considerar (n=2, en este caso).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & r \\ r\sqrt{1-r^2} & \sqrt{1-r^2} \end{bmatrix}$$

$r$  : coeficiente de correlación

Obsérvese que:

$$AA^T = \begin{bmatrix} 1 & r \\ r\sqrt{1-r^2} & \sqrt{1-r^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & r \\ 0 & \sqrt{1-r^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r \\ r & 1 \end{bmatrix}$$

lo que corresponde a la descomposición de Cholesky.

---

<sup>44</sup> MARTIN, José L. OLIVER, María D. DE LA TORRE, Antonio, Op. cit., p. 54.

Si consideramos el vector  $Y$ ,  $2 \times 1$  que contiene dos variables aleatorias normales estandarizadas e independientes,  $Y_1$  e  $Y_2$ , los elementos del vector  $Z$  serán:

$$Z = \begin{bmatrix} 1 \\ r\sqrt{1-r^2} \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ rY_1 + \sqrt{1-r^2} Y_2 \end{bmatrix}$$

deduciéndose que:

$$Z_1 = Y_1$$

$$Z_2 = rY_1 + \sqrt{1-r^2} \cdot Y_2$$

Puesto que  $Y_1$ ,  $Y_2$  y  $Z_1$  tiene como varianza la unidad e  $Y_1$  e  $Y_2$  son independientes resulta

$$Var(Z_2) = r^2 \cdot Var(Y_1) + (\sqrt{1-r^2})^2 Var(Y_2) = 1$$

y mediante la transformación  $Z = A \cdot Y$  se generan variables aleatorias normales, estandarizadas e independientes con el factor de correlación  $r$ .

Papageorgiou y Paskov<sup>45</sup>, consideran que los mejores métodos para estimar el riesgo de mercado son los de valoración global, tales como la simulación histórica y

---

<sup>45</sup> PAPAGEORGIU, Anargyros and PASKOV, Spassimir. Deterministic simulation for risk management. [online]. Journal of Portfolio Management, May 1999 p122(6). [Cited 10 november 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

la simulación Monte Carlo. Los dos similares, sólo que en el primero se usan cambios históricos en los precios en lugar de cambios simulados basados en un modelo estocástico.

La ventaja principal del método de simulación Monte Carlo, por encima de la simulación histórica, es que ofrece la oportunidad de probar muchos más escenarios de potenciales cambios para las variables financieras. También, permite al usuario identificar la sensibilidad del VeR a los cambios en la composición del portafolio o a cambios en los valores de los parámetros estadísticos que se usaron en la simulación<sup>46</sup>.

Jorion<sup>47</sup>, considera al método Monte Carlo el más poderoso para medir el riesgo de mercado, en el cual es posible incluir el riesgo de precios no lineales y el riesgo de volatilidades. Así, pueden incorporarse las variaciones de la volatilidad en el tiempo, la existencia de colas de distribuciones más altas de lo normal "*fat tails*" y escenarios extremos.

El procedimiento es bastante directo si el portafolio consiste en un activo. Sin embargo, si la cartera de inversiones está compuesta por  $n$  activos, entonces se debe simular una secuencia de 5.000 a 10.000 realizaciones para cada uno de esos  $n$  activos<sup>48</sup>. Por esto, el mayor inconveniente del método es su alto costo de

---

<sup>46</sup> Picoult, Evan. Calculating VAR with Monte Carlo simulation. (value at risk measures in financial services management). [online]. The Journal of Lending & Credit Risk Management, April 1999 v81 i8 p69(3). [Cited 10 november 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

<sup>47</sup> JORION, Op. cit., p 223.

<sup>48</sup> JOHNSON, Christian A. Métodos de evaluación del riesgo para portafolios de inversión. [en línea]. Banco Central de Chile, Documentos de trabajo. Marzo de 2000 N° 67. [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet: <http://www.bcentral.cl/Estudios/DTBC/doctrab.htm>.

implementación en términos de la infraestructura de sistemas, además de requerir personal muy cualificado.

Otra debilidad de este procedimiento es que se basa en un modelo estocástico para generar el precio de los activos que componen el portafolio, así como en modelos de valoración para activos complejos como opciones o títulos hipotecarios. “Por tanto, existe un cierto riesgo de modelización y, para comprobar si los resultados son fiables con respecto a cambios en los modelos, los datos obtenidos de la simulación deberían complementarse con algún tipo de análisis de sensibilidad”<sup>49</sup>. De hecho, el método Montecarlo de posiciones simples con rendimientos normales debe generar el mismo resultado que el modelo delta. Cualquier desviación tiene que deberse a una variación muestral<sup>50</sup>.

En general, este método es el más completo para la medición del riesgo de mercado, y es particularmente útil cuando se pretende calcular el riesgo de productos derivados, como futuros, opciones y *swaps*.

## 2.4 MÉTODO DE SIMULACIÓN HISTÓRICA

Esta técnica consiste en considerar que cualquier escenario pasado podría ser un escenario futuro, por tanto, tomando la serie histórica de precios de un portafolio para construir una serie de tiempo de precios y/o rendimientos simulados o hipotéticos, se obtendría un vector de pérdidas y ganancias simuladas sobre el portafolio actual. Así, a partir de estos valores finales se podría determinar el percentil asociado al intervalo

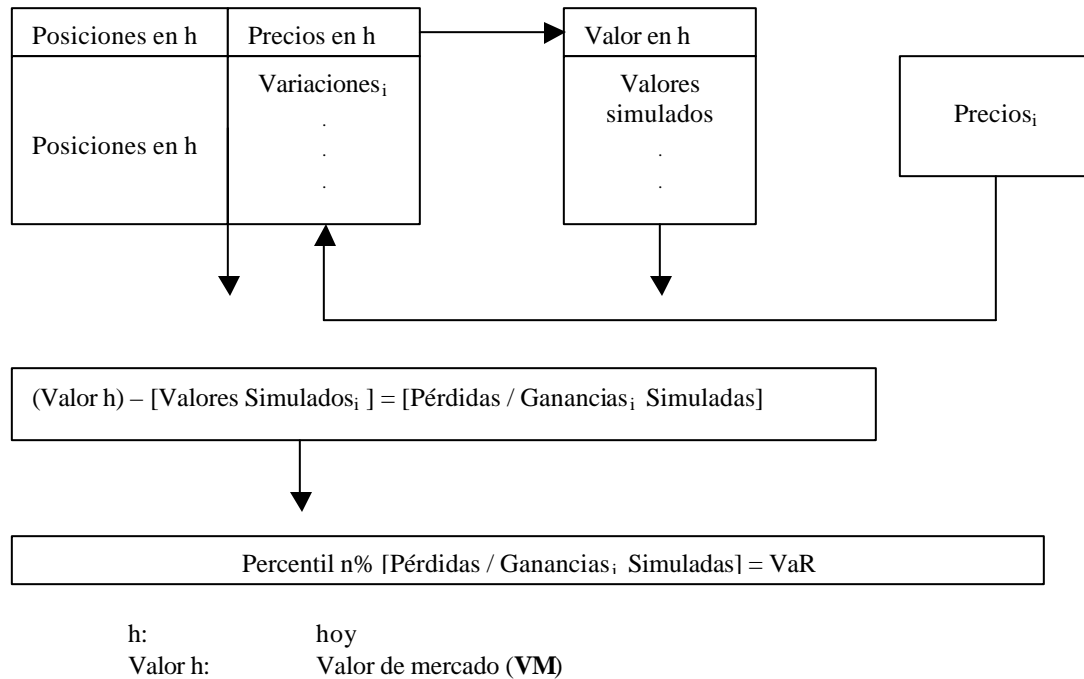
---

<sup>49</sup> MARTIN, José L. OLIVER, María D. DE LA TORRE, Antonio, Op. cit., p. 62.

<sup>50</sup> JORION, Op. Cit., p. 227 y 262.

de confianza deseado y hallar el VeR de un conjunto de activos. La figura 4 ilustra el modelo de simulación histórica.

**Figura 4. Modelo de simulación histórica**



Fuente: KNOP, Roberto y ORDOVÁS BELTRAN. Medición de riesgos de mercado y crédito.

Para formalizar el concepto anterior se puede utilizar la siguiente notación<sup>51</sup>:

$L_t = \sum_{i=1}^k V_k R_{kt}$ . Donde  $L_t$  es la serie de serie de cambios en el valor de un activo financiero ( $k_i$ ), los cuales se suman en cada momento del tiempo replicando la serie de rendimientos históricos  $R_t^*$ , ordenados de menor a mayor; de esta manera se

<sup>51</sup> CAMPOS, Op. cit., p. 11.

\* Si el período histórico utilizado es de 100 días, obtendremos 100 posibles valores finales de la cartera y por lo tanto 100 posibles valores de los beneficios y pérdidas de la cartera. El VeR con un nivel de confianza del 95% será simplemente el quinto peor resultado de la distribución de los beneficios y pérdidas observados.



puede hallar la  $L_t$  mínima que corresponde al VeR del activo, utilizando un nivel de confianza  $c$  (95% ó 99% según sea el caso).

En términos sencillos, el método de simulación histórica permite determinar la máxima pérdida a la que podría verse sometida la cartera, en caso que se repitiera el escenario más desfavorable que hubiera tenido lugar en la historia de datos considerada. Por tanto esta será la primera medida de *stress testing* que se estaría asignando a la cartera analizada<sup>52</sup>.

De acuerdo con Makarov<sup>53</sup>, no hay actualmente una teoría general para ayudar a resolver el problema de prever el riesgo, excepto la función de distribución empírica (valoración global), que arroja ciertos hechos útiles sobre la naturaleza de los rendimientos históricos. Uno de los aspectos más importantes que destaca es que normalmente la volatilidad del mercado es relativamente estable dentro de un horizonte corto de tiempo y volátil en el largo plazo; su afirmación se apoya en los supuestos del modelo de simulación histórica:

- La volatilidad del mercado en el futuro inmediato es esencialmente igual que en el reciente pasado.
- Lo más probable es que distribuciones pasadas de cambios en los factores de riesgo del mercado mantendrán su forma en el futuro cercano.
- Las distribuciones históricas pueden usarse como predictoras de la distribución de probabilidad en el futuro.

---

<sup>52</sup> SOLER RAMOS, José A *et al.* Gestión de riesgos financieros: un enfoque práctico para países latinoamericanos. Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo, 1999, 255 p.

<sup>53</sup> MAKAROV, Victor. Value-at-risk: historical simulation. [online]. The Journal of Lending & Credit Risk Management, March 1999 v81 i7 p37(4). [Cited 11 october 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Además, los acercamientos mediante este enfoque no trabajan con los supuestos de normalidad e independencia entre la serie de datos históricos, razón por la cual se usan períodos de observación más largos. De este modo, no es necesario recurrir a la medición de desviaciones estándar, medias y correlaciones; de alguna forma, esta metodología supone que dichos comportamientos ya están incorporados en los datos históricos, evitando así cualquier riesgo de modelo. “Por ello la simulación histórica puede incorporar “colas anchas”, asimetría y correlaciones dinámicas (correlaciones que son función de la magnitud de las variaciones de los precios de mercado)”<sup>54</sup>, también puede utilizarse en todo tipo de instrumentos, lineales y no lineales.

La aplicación de este planteamiento implica la elección de un período histórico que se considere representativo del nivel de riesgo actual. Generalmente este período oscila entre 250 y 500 días<sup>55</sup>. Gómez<sup>56</sup>, destaca que las observaciones viejas pueden no ser muy relevantes en el momento actual, y si se tienen pocas se pierde precisión en la estimación del VeR. Señala que de acuerdo con el Comité de Basilea, en la aplicación del modelo de simulación histórica deben tenerse observaciones de por lo menos un año de negociación.

En la investigación de Hendricks<sup>57</sup>, utilizando un período de 125 días y mediante el modelo de simulación histórica, los resultados obtenidos a la hora de hallar el VeR fueron menos confiables que la estimación que se produjo cuando se utilizaron 1.250

---

<sup>54</sup> KNOP, Roberto y ORDOVÁS, Op. cit., p. 96

<sup>55</sup> Cada día el VeR estimado sería actualizado usando los datos más recientes (v.g. 250 ó 500 datos), es decir que los valores de los factores de riesgo del primer día se eliminan, y así de forma similar en los días siguientes. LARA, Op. cit., p 67.

<sup>56</sup> GÓMEZ HERNANDEZ, Andrés. Administración del riesgo de tasa de interés: un análisis del proceso. Medellín, 2003, 167 p. Tesis (Ingeniero administrador). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

<sup>57</sup> HENDRICKS, Op. cit.,

días. De manera similar, en el trabajo de Gento<sup>58</sup> se puede observar que cuanto mayor es el período de observación, mayor es la tendencia del VeR a permanecer constante durante largos períodos de tiempo y que cuanto menor es dicho período, más bruscos pueden ser los cambios (75 y 250 días de observación). Esto se debe a que la distribución incondicional de cambios en el valor del portafolio es relativamente estable y estimaciones exactas de percentiles extremos requieren el uso de períodos largos. Esto puede ocurrir porque los horizontes más largos proporcionan estimaciones buenas en la cola de la distribución.

Los períodos de observación más cortos tienden a proporcionar medidas de correlación y de valor en riesgo más altas entre los resultados. Esta relación inversa se apoya sobre la base de que la conducta del mercado cambia con el tiempo, y se acentúa con la información reciente. Hendricks, revela las diferencias, a veces sustancial, entre los enfoques de valor en riesgo para un mismo portafolio en una misma fecha; usando períodos de observación más largos o los recientes datos con un peso mayor, se tiende a producir los resultados más constantes que aquéllos que usan períodos cortos.

Dowd<sup>59</sup>, dice que mientras el trabajo empírico de Hendricks sugiere que el acercamiento de la simulación histórica requiere de por lo menos 5 años (1.250 días) de observaciones diarias para producir una estimación confiable del VeR, el trabajo de Kupiec, considera que ni siquiera 10 años observaciones diarias pueden ser bastante para hacer una estimación suficientemente exacta con el modelo de simulación histórica. De manera similar, el estudio de Pritsker, sugiere que 500 datos

---

<sup>58</sup> GENTO, Pedro M. Comparación entre métodos alternativos para la estimación del valor en riesgo. [en línea]. Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de Ciudad Real. s.f. [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet: <http://www.gloriamundi.org/picsresources/pgm.pdf>

<sup>59</sup> DOWN, Kevin. A value at risk approach to risk-return analysis. [online]. Journal of Portfolio Management, Summer 1999 v25 i4 p60(8). [Cited 10 de Noviembre de 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

diarios podrían ser insuficientes para calcular el VeR con precisión a un horizonte de 10 días, la razón es que este período sería muy corto y existe la posibilidad de que no contenga observaciones extremas. En sentido contrario, Benninga y Wiener<sup>60</sup>, señalan que este método es útil cuando la cantidad de datos no es muy alta, y cuando no se tiene mayor información sobre la distribución de las pérdidas y ganancias. Lo cierto, es que no existen indicadores estadísticos que permitan determinar de manera óptima cuantas observaciones se deben incluir a priori en la estimación del VeR. 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<sup>61</sup>.

Abken<sup>62</sup>, considera este enfoque una alternativa útil para la medición del VeR, pero recomienda verificar periódicamente los resultados con otros métodos.

De otra parte, en el trabajo de Torres y Escobar, análisis efectuado mediante simulación histórica para una serie de bonos ordinarios emitidos por un banco comercial, este método demostró ventajas en comparación al modelo paramétrico, puesto que los resultados fueron más consistentes con la realidad; destacan además su fácil interpretación y aplicabilidad.

---

<sup>60</sup> BENNINGA, S and WIENER, Zvi. Value at Risk (VaR), citado por CAMPOS OSORIO, Alexander. El VeR: Herramienta para la medición de riesgos de mercado. En : Apuntes de Banca y Finanzas. Asobancaria. Bogotá D.C. No. 4. (2003). p. 12.

<sup>61</sup> ROSILLO, Jorge C y MARTINEZ, Clemencia A. Modelos de evaluación de riesgo en decisiones financieras. Bogotá: Universidad Externado de Colombia, 2004. p. 248.

<sup>62</sup> ABKEN, Peter A. Scenario simulation Evaluation of Value at Risk by Scenario Simulation. [online]. Statistical Journal of Derivatives, Summer 2000 v7 i4 p12. [Cited 10 de octubre de 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Como inconveniente, cabría destacar la utilización de un sólo patrón muestral. El supuesto es que el pasado representa acertadamente el futuro inmediato (...) El método de simulación histórica omitirá situaciones con volatilidad temporalmente elevada<sup>63</sup>; en esta misma línea, Gento afirma que: “en el enfoque de simulación histórica no existe la posibilidad de incorporar situaciones que pueden ocurrir en el futuro y que no vienen reflejadas en el conjunto de datos históricos. Por ejemplo, la posibilidad de una devaluación de la moneda local. Ello es debido a que el enfoque de simulación histórica se enfrenta a los riesgos tal y como han sido reflejados a través del período de observación histórica”<sup>64</sup>.

Para Picoult<sup>65</sup>, algunas de las críticas relacionadas con este método son: “1) la asunción que el pasado representa el futuro inmediato, es decir, se asume que la distribución es estacionaria; 2) la alta sensibilidad de los resultados con respecto a la longitud del horizonte de tiempo; y 3) los problemas de obtener datos históricos consistentes”.

Por otro lado, en virtud de que no se cumplen las condiciones de normalidad y de independencia de los residuales no se puede utilizar la raíz cuadrada del tiempo para escalar la estimación del VeR a diferentes horizontes de inversión<sup>66</sup>.

---

<sup>63</sup> JORION, Op. cit., p 219.

<sup>64</sup> GENTO, Pedro M. Comparación entre métodos alternativos para la estimación del valor en riesgo. [en línea]. Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de Ciudad Real. s.f. [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet: <http://www.gloriamundi.org/picsresources/pgm.pdf>

<sup>65</sup> Picoult, Evan. Calculating VAR with Monte Carlo simulation. (value at risk measures in financial services management). [online]. The Journal of Lending & Credit Risk Management, April 1999 v81 i8 p69(3). [Cited 10 november de 2004]. Available from InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

<sup>66</sup> ROSILLO, Jorge C. y MARTINEZ, Clemencia A, Op. cit., p 247.

“Este enfoque también está sujeto a las mismas críticas que la estimación con promedios móviles. El método fija la misma ponderación en todas las observaciones contenidas en la muestra, incluyendo los puntos de datos antiguos. La medida de riesgo puede cambiar significativamente después que una observación antigua ha sido desechada de la muestra”<sup>67</sup>. Por último, cabe mencionar que los cálculos se vuelven complejos para portafolios grandes y muy estructurados, y al igual que el método delta, la simulación histórica puede quedarse corta en la predicción de valores extremos.

---

<sup>67</sup> JORION, Op. cit., p 219.

### **3. ESTUDIO EFECTUADO A LOS INSTITUTOS DE FOMENTO Y DESARROLLO TERRITORIAL**

Desde hace más de treinta años los Institutos de Fomento y Desarrollo Territorial, Infis, como se les conoce en el país, se dedican a la actividad de prestación de servicios financieros a los entes territoriales. Estos institutos creados por ordenamiento constitucional, son establecimientos del orden departamental o municipal, con personería jurídica, autonomía administrativa y financiera, y patrimonio independiente; instituidos con el objeto de cooperar con el fomento económico, cultural y social de la comunidad.

Dentro de las operaciones de crédito público que realizan los Infis se encuentran: créditos de tesorería, cuentas de ahorro a la vista, depósitos a término y créditos de fomento para financiar obras contempladas en los planes de desarrollo departamental o municipal en los sectores: Agua potable y Saneamiento básico, Salud, Educación, Vivienda, Transporte, Deporte, Recreación y Cultura.

Los Infis en el desarrollo de sus operaciones financieras están expuestos al riesgo de mercado, el cual podría llegar a traducirse en pérdidas, e incluso, la disminución del valor económico de su patrimonio. Actualmente Inficaldas e Infimanizales no utilizan metodologías para la medición del riesgo de mercado, ya que no están obligadas a efectuar los reportes a la SBC, pues no hacen parte de la estructura del Sistema Financiero .

Precisamente, la SBC ha sido una de las entidades supervisoras más entusiastas en la instrumentación o materialización de las diferentes medidas desarrolladas por el Comité de

---

<sup>68</sup> Circular Básica Jurídica N° 07 de 1996 de la SBC.

Supervisión Bancaria de Basilea, las cuales constituyen un punto de referencia a nivel internacional para el establecimiento de metodologías de evaluación de riesgos financieros.

### 3.1 EL PORTAFOLIO DE INVERSIONES DE INFIMANIZALES

El portafolio de Infimanizales a 31 de diciembre de 2004, está compuesto por bonos emitidos en el exterior con un valor de mercado de \$24.336.995.098, y bonos emitidos por Fiducoldex cuyo valor es de \$17.209.386.356. Para los primeros títulos, la tasa de descuento es la tasa básica del tesoro americano (BTEU), y para los segundos es la DTF+7%. El VeR será calculado a 10 días con un nivel de confianza del 95%\* .

**Tabla 2. Valor en pesos del portafolio de Infimanizales a 31 de diciembre de 2004.**

<b>Activo – entidad emisora</b>	<b>Valor en pesos</b>
Bonos Federal Home Loan Bank	4.964.360.569,00
Bonos Freddie Mac	3.722.360.200,85
Bono Banco de la República	1.455.516.381,61
Bono Barclays Bank PLC	3.968.813.756,19
Bono Bavaria S.A	3.637.700.630,58
Bono European Investment Bank	1.560.483.927,89
Bono Federal Farm Credit	3.617.634.401,67
Bono Internacional Finance Corporation	1.410.125.231,13
Bonos Fiducoldex	17.209.386.356,99
<b>Total</b>	<b>41.546.381.455,91</b>

Fuente: Infimanizales.

De este portafolio nos centraremos en analizar la cartera de bonos en el exterior, pues es esta la que actualmente genera el mayor riesgo de mercado para Infimanizales, y de hecho han ocasionado la disminución en el valor de las

\* Para efectos de la gestión de riesgos el horizonte recomendado es un día. Pero esto dependerá también de la liquidez del mercado, el cual incide sobre la capacidad de deshacerse de una posición.



inversiones como consecuencia de la revaluación del peso frente al dólar presentada durante el año de 2004 (ver anexo 1).

**3.1.1 Consideraciones en la elección del modelo de VeR.** Para la elección del modelo a utilizar se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: la metodología estándar supone la utilización de variaciones máximas de los factores de riesgo a los que está expuesto el portafolio y la matriz de correlaciones, a pesar de que su implementación es sencilla, la BTEU no está dentro de los cálculos publicados por la SBC, por lo cual es necesario estimar la desviación estándar de estas tasas. Como se vio anteriormente, existen diferentes métodos para estimar la volatilidad de la serie de rendimientos, todo depende de los supuestos que se hagan de la distribución de probabilidad de éstos. Si los rendimientos se distribuyen normalmente (lo cual difícilmente se ve cumplido en este tipo de series financieras), se estima la volatilidad no condicional; de lo contrario, se procede a utilizar los métodos de volatilidad condicional que requieren conocimientos no sólo en la utilización de software especializado, sino también de personal calificado, convirtiéndose ello en un obstáculo para la utilización de este recurso, ya que de no contar con el personal idóneo para esta tarea, esto implicaría un aumento de costos en la aplicación del modelo.

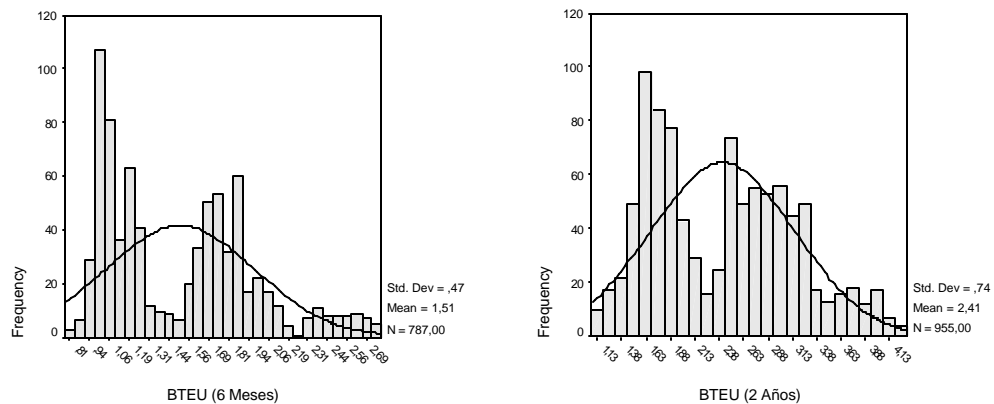
Además, las condiciones en las que operan los Infis no requieren el desarrollo de modelos complejos, pues su portafolio no es muy diversificado, y por ende, son pocas las fuentes de variabilidad a que está expuesta.

Las gráficas que se ilustran a continuación, representan el comportamiento de la serie de rendimientos de los bonos del tesoro americano contrastados con la distribución normal. Como se puede observar, la serie de rendimientos no se ajusta a tal distribución; en ambos casos, tanto la tasa a seis meses, como la de dos años,

tienden a concentrarse excesivamente en las colas de la distribución (colas gruesas). Cuando precisamente el VaR pretende capturar el comportamiento del rendimiento del portafolio en la cola izquierda. Como se anotó anteriormente, con colas gruesas, un modelo basado en la aproximación normal subestima la proporción de datos extremos, y por tanto, el verdadero valor del riesgo.

Además, el resumen de sus estadísticas lo confirman, una distribución normal tiene coeficientes de curtosis y de asimetría aproximadamente igual a 3 y 0 respectivamente, caso en el cual, se podría verificar la hipótesis de normalidad de las series mediante la aplicación del estadístico Jarque Bera.

**Figura 5. Distribución de frecuencias de las tasas de los bonos del Tesoro Americano. (14/12/2001 - 09/02/05) y (11/06/2001 – 09/02/2005)**



Fuente: Cálculos del autor.

**Tabla 3. Estadísticas tasas de los bonos del Tesoro Americano. (14/12/2001 - 09/02/05) y (11/06/2001 – 09/02/2005).**

Plazo 6 meses			Plazo 2 años		
BTEU			BTEU		
N	Valid	787	N	Valid	955
	Missing	168		Missing	0
Mean		1,5065	Mean		2,4114
Std. Deviation		,4714	Std. Deviation		,7370
Variance		,2223	Variance		,5432
Skewness		,634	Skewness		,350
Std. Error of Skewness		,087	Std. Error of Skewness		,079
Kurtosis		-,456	Kurtosis		-,824
Std. Error of Kurtosis		,174	Std. Error of Kurtosis		,158

Fuente: Cálculos del autor.

Por estas razones, estimaremos el VeR utilizando el enfoque de simulación Montecarlo y el enfoque de simulación histórica.

**3.1.2 Cálculo del VeR por el método de simulación Montecarlo.** En la utilización de este método, se desarrollan los siguientes pasos:

- Generación de escenarios, mediante la utilización de las correspondientes estimaciones de volatilidades y correlaciones para los activos de la cartera y suponiendo modelos de distribución de precios log-normales (según el modelo de comportamiento de precios, estos siguen una distribución de probabilidad log-normal, o lo que es lo mismo, el  $\ln \frac{P_t}{P_{t-1}}$ , se comporta como una distribución normal).
- Valoración de la cartera para cada escenario de precios.

- Presentación de los resultados como distribución de probabilidades de las pérdidas y ganancias de la cartera o como una medida específica del riesgo (VeR).

Es preciso señalar que los títulos del exterior están expuestos al riesgo de tasa de interés (BTEU) y al riesgo de tipo de cambio, de tal manera, que en el cálculo del VeR es necesario duplicar la posición de estos títulos. Por este motivo, se requiere modelizar el precio de dos activos, 1 y 2 respectivamente, con volatilidades diarias  $s_1$  y  $s_2$  y factor de correlación  $r$ .

acudiendo a las siguientes ecuaciones:

$$P_t^{(1)} = P_0^{(1)} e^{s_1 \sqrt{t} Z_1}$$

$$P_t^{(2)} = P_0^{(2)} e^{s_2 \sqrt{t} Z_2}$$

y repitiendo el proceso, por ejemplo, 5.000 veces.

En la tabla 4 aparece la disposición de los cálculos realizados en la estimación del VeR para el 31 de diciembre de 2004, así como los datos necesarios sobre tipos de interés de la BTEU, de la TRM, volatilidades del tipo de cambio, el precio del bono y la correlación entre ambas variables.

El valor inicial de la cartera fue suministrado por Infimanizales, quienes utilizan un software financiero para la valoración de sus inversiones. Para los demás cálculos nos apoyamos en la hoja electrónica Excel, pues las fuentes de variabilidad de la cartera nos permiten de manera fácil la implementación de este método.

Para iniciar el método de simulación Montecarlo basta generar parejas de números aleatorios  $Y_1$  e  $Y_2$ , en nuestro caso hasta 5.000 escenarios, que luego se convierten en las columnas  $Z_{fx}$  y  $Z_b$  donde los números aleatorios mantienen una correlación de -0.8 y donde se mantiene  $Y_1 = Z_{fx}$ .

Para la construcción de las series de tipos de cambio y de precios del bono acudimos a la utilización de las ecuaciones presentadas para la primera fila de datos.

$$P_{fx} = 2.389,75 * e^{0,0042\sqrt{10}(-0,50062)} = \$2.374 \text{ pesos/dólar}$$

$$P_b = 10.183.908 * e^{0,0220\sqrt{10}(-0,29203)} = \text{USD } \$9.979.655$$

Cómo el cálculo del VeR esta utilizando un nivel de confianza del 95%, y el tamaño de la muestra es de 5.000 observaciones, el número crítico de corte de las series de rendimientos es igual a  $(1 - 0.95) * 5.000 = 250$ .

Posteriormente, se ordenan las pérdidas o ganancias históricas del portafolio y se escoge como valor crítico para el VeR el que aparezca en la posición 250 si se ordenaron éstas de menor a mayor, o en la 4.750 si se ordenaron de mayor a menor.

El método de simulación Montecarlo permite concluir, con un nivel de confiabilidad del 95%, que el VeR a 10 días de la cartera de bonos emitidos en el exterior de propiedad de Infimanizales asciende a \$2.202.903.959, lo que equivale a un 9.1% de su valor total. Significa que la pérdida máxima esperada en un horizonte de diez días será \$2.202.903.959.

Si se quisiera medir sólo el riesgo de tipo de cambio utilizando el método estándar, se procedería a estimar las pérdidas probables derivadas de variaciones de cambio de la divisa, mediante la multiplicación de la posición neta expresada en moneda legal por la variación máxima probable (ver anexo 2) en la tasa de cambio correspondiente<sup>69</sup>:  $\$24.336.995.099 * 2.63\% = 640.062.941$ . Este VeR es a 10 días con un nivel de confianza del 98%.

---

<sup>69</sup> Superintendencia Bancaria de Colombia, Op. Cit., p. 24.

## Tabla 4. VeR del portafolio de Infimanizales aplicando el método de simulación Montecarlo

### VeR MEDIANTE EL MÉTODO MONTECARLO (Horizonte 10 días)

#### Infimanizales

##### Volatilidades diarias

Volatilidad (USD):	0,0042
Volatilidad Cartera:	0,0220
Correlación:	-0,80
TRM (31/12/2004):	2389,75
Valor de mercado cartera (USD):	10.183.908
Valor de mercado cartera (\$):	24.336.995.099

Y1	Y2	Zfx	Zb	Pfx	Pb(USD)	Pb(\$)	Pérd./Gan.	P/G (Ordenado)
-0,50062	-1,14863	-0,50062	-0,29203	2,374	9.979.655	23.692.380.615	-644.614.484	-4.346.773.398
0,11462	0,84673	0,11462	0,41839	2,393	10.483.846	25.091.564.802	754.569.703	-4.346.233.313
-2,10758	-0,22847	-2,10758	1,54501	2,324	11.336.167	26.350.030.685	2.013.035.586	-4.207.969.964
-0,51220	-0,51919	-0,51220	0,09626	2,374	10.252.149	24.335.592.328	-1.402.771	-4.206.997.131
-0,48038	0,06078	-0,48038	0,42011	2,375	10.485.103	24.898.973.429	561.978.330	-4.192.859.458
:	:	:	:	:	:	:	:	:
1,99888	-0,87837	1,99888	-2,12476	2,453	8.788.094	21.560.754.233	-2.776.240.866	<b>-2.202.903.959</b>
1,66017	-0,04409	1,66017	-1,35195	2,443	9.272.131	22.647.183.463	-1.689.811.636	-2.196.358.157
-2,61045	0,28857	-2,61045	2,25784	2,309	11.910.884	27.503.418.504	3.166.423.405	-2.194.505.386
0,98127	-1,15799	0,98127	-1,48073	2,421	9.189.662	22.246.238.090	-2.090.757.009	-2.190.403.181
-0,11095	1,21170	-0,11095	0,81825	2,386	10.778.760	25.720.982.553	1.383.987.454	-2.189.219.677
:	:	:	:	:	:	:	:	:
-0,31473	0,35560	-0,31473	0,46541	2,380	10.518.101	25.031.805.687	694.810.588	7.933.604.231

Fuente: Cálculos del autor.

**3.1.3 Cálculo del VeR por el método de simulación histórica.** Cabe recordar, que el método de simulación histórica se deriva de una distribución empírica de las variaciones experimentadas por el valor de un portafolio durante un determinado período de tenencia, anterior al momento del cálculo. El Valor en Riesgo se determina como la máxima pérdida de dicha distribución, asociado a un percentil prefijado, es decir, de forma similar a como se halla en el modelo de simulación Montecarlo.

En la tabla 5 se presenta la medición del riesgo de mercado por el enfoque de simulación histórica, la cartera de bonos es la misma, al igual que la fecha en la que se efectúa el cálculo (31/12/2004), y el período de tenencia es de 10 días.

Las variaciones históricas de las tasas de la BTEU y de la TRM fueron tomadas cada diez días, desde el 14/12/2001 hasta el 31/12/2004, es decir 76 observaciones en total (considerando un horizonte anual de 250 días de operación, hábiles, equivalentes a un año calendario).

**Tabla 5. VeR del portafolio de Infimanizales aplicando el método de simulación histórica (31/12/2004).**

VeR MEDIANTE EL MÉTODO DE SIMULACIÓN HISTÓRICA (Horizonte 10 días)

Infimanizales

Valor de mercado cartera (\$): 24.336.995,099  
 Valor de mercado cartera (USD): 10.183.908  
 TRM: 2.389,75

Posición	Cotización		Variación Diaria		Estimación Escenarios		Valor de la Posición		P/G	P/G Ordenado
	USD	BTEU	USD	BTEU	USD	D.M * Var.	USD	COP		
1	2.312,00	1,816								
2	2.291,18	1,784	-0,0090	-0,0314	2.368,13	0,0843	11.042.685	26.150.539.703	1.813.544.604	-23.516.887.696
3	2.297,31	1,628	0,0027	-0,1533	2.396,14	0,4112	14.371.760	34.436.680.909	10.099.685.810	-14.544.463.061
4	2.262,45	1,852	-0,0153	0,2204	2.353,21	-0,5914	4.161.352	9.792.532.038	-14.544.463.061	<b>-12.181.117.410</b>
5	2.290,19	1,862	0,0122	0,0098	2.418,87	-0,0263	9.915.636	23.984.659.758	-352.335.341	-11.505.562.441
6	2.309,82	1,862	0,0085	0,0000	2.410,15	0,0000	10.183.908	24.544.706.871	207.711.772	-10.387.978.583
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
76	2.389,75	2,582	0,0056	0,1064	2.403,17	-0,2854	7.277.455	17.488.944.300	-6.848.050.799	12.906.556.337

El VeR mediante este modelo es de \$12.181.117.410, valor muy superior al estimado mediante el modelo de simulación Montecarlo (\$2.202.903.959). Esto, posiblemente se presente porque el enfoque de simulación histórica tiende a permanecer constante durante determinados períodos de tiempo, y cuando cambia lo hace bruscamente. En el estudio de Gento, cuanto mayor es el período de observación, mayor es la tendencia del VeR a permanecer constante durante largos períodos de tiempo y que cuanto menor es dicho período, más bruscos pueden ser los cambios comentados anteriormente.

<sup>70</sup> GENTO, Pedro M. Comparación entre métodos alternativos para la estimación del valor en riesgo. [en línea]. Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de Ciudad Real. s.f. [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet: <http://www.gloriamundi.org/picsresources/pgm.pdf>



Una forma de comprobar la validez de los modelos es comparar la estimación del VeR con los beneficios y pérdidas reales de la cartera, por ello se analizó el período comprendido entre el 20/09/2004 hasta el 31/12/2004. La tabla 6 muestra dicha comparación.

**Tabla 6. Pérdidas y Ganancias reales versus estimación de los modelos de simulación histórica y simulación Montecarlo.**

Fecha	Valor presente	Pérd./ Ganancias	VeR (10 días) simulación histórica	VeR (10 días) simul. Montecarlo
20/09/2004	26.072.730.084			
30/09/2004	26.714.764.686	642.034.603	-13.049.884.962	-2.528.851.579
10/10/2004	26.582.193.311	-132.571.376	-13.371.235.188	-2.485.793.140
20/10/2004	26.373.891.970	-208.301.341	-13.304.880.755	-2.441.398.640
30/10/2004	26.543.467.156	169.575.186	-13.200.622.071	-2.423.799.364
10/11/2004	25.981.642.272	-561.824.883	-13.285.497.596	-2.508.131.373
20/11/2004	25.685.348.306	-296.293.967	-13.004.293.823	-2.404.438.441
30/11/2004	25.234.664.273	-450.684.033	-12.855.993.197	-2.401.971.380
10/12/2004	25.113.578.173	-121.086.100	-12.630.417.480	-2.384.843.545
20/12/2004	24.015.097.321	-1.098.480.852	-12.020.001.602	-2.272.698.464
31/12/2004	24.336.995.099	321.897.778	-12.181.117.410	-2.202.903.959

Como se puede observar existen grandes diferencias en el comportamiento estimado por cada uno de los modelos, y a pesar, de que ambas estimaciones cubren las pérdidas de la cartera, es decir, no se presentan excepciones\*, el modelo de simulación Montecarlo muestra una mayor consistencia con la realidad. Sin embargo, es importante aclarar que estos modelos deben ser puestos a prueba durante un período de tiempo mayor.

De otra parte, en la aplicación del modelo de simulación histórica la elección del tamaño de la muestra no es un asunto trivial, pues los períodos deben recoger características asociadas al ciclo económico y a los cambios de régimen de política económica, etc., de lo contrario se puede estar sesgando el cálculo a favor o en

\* Una excepción se produce cuando la pérdida real de la cartera es superior al VeR estimado para esa misma fecha.

contra, y aisladas de situaciones particulares que no corresponden con el comportamiento histórico del precio de los activos<sup>71</sup>. Adicionalmente, todavía no existen indicadores estadísticos que permitan determinar de manera óptima cuantas observaciones se deben incluir.

Como se mencionó anteriormente, el método de simulación Montecarlo es el más poderoso para medir el riesgo de mercado, en el cual es posible incluir el riesgo de precios no lineales y el riesgo de volatilidades. También puede incorporar las variaciones de la volatilidad en el tiempo, la existencia de colas de distribuciones más altas de lo normal “*fat tails*” (colas gruesas) y escenarios extremos. Su desventaja es su alto costo computacional, sin embargo para una cartera de bonos, expuesta a dos factores de riesgo, es posible obtener el VeR de manera sencilla a través de una hoja electrónica.

### **3.2 EL PORTAFOLIO DE INVERSIONES DE INFICALDAS**

El portafolio de Inficaldas está compuesto por activos invertidos en su gran mayoría en fondos comunes ordinarios, no siendo posible obtener el valor en riesgo de manera específica para la entidad; se tiene también una inversión a tasa fija (CDT), la cual no tiene riesgo de tasa de interés. El único activo al que le podemos realizar la medición del riesgo de mercado es a un bono del Banco Mundial al IPC + 4,4%, cuyo valor nominal es de \$500.000.000. El IPC al 31 de diciembre de 2004 es de 5,82%.

Considerando que este instrumento es de alta liquidez y que la política de inversiones de Inficaldas es de corto plazo, calcularemos una medida básica del

---

<sup>71</sup> CAMPOS, Op. cit., p. 11.

riesgo de mercado como son la duración y la convexidad, las cuáles de manera inmediata también nos proporcionan información del impacto que tendría la inversión si tuviesen lugar variaciones determinadas en la tasa de mercado.

**Tabla 7. Valor en pesos del portafolio de Inficaldas a 31 de diciembre de 2004.**

<b>Activo – entidad emisora</b>	<b>Valor en pesos</b>
Serfinco F.C.O	40.765.452
Occivalor F.C.O	171.177.770
Fiducial F.C.O	210.580.990
Fondo Valor F.C.O	592.053.384
Operación Repo	217.355.315
Fiducia Bancafé	112.076.143
Fiducia Bancafé	102.543.406
Día a Día Caja Social – CDT-	297.323.740
Bono BancoMundial	499.169.030
<b>Total</b>	<b>2.243.045.230</b>

Fuente: Inficaldas.

**3.2.1 Cálculo del riesgo de mercado mediante la Duración y la Convexidad.** El cálculo de la duración de un instrumento pactado a tasa variable más un margen fijo, como en este caso (IPC+4,4%), se debe realizar separando los flujos futuros conocidos (la parte fija) de los flujos futuros desconocidos (la parte variable).

El cálculo de la duración de la parte fija del instrumento se realiza de igual forma al cálculo de la duración de un instrumento a tasa fija, pero sin incluir el capital en los flujos futuros; es decir, tomando únicamente los rendimientos o los costos asociados con el margen fijo determinado<sup>72</sup>.

<sup>72</sup> Superintendencia Bancaria de Colombia. Circular Externa 031 de 2004. p. 9.

El cálculo de la duración de la parte variable del título es equivalente al número de períodos remanentes hasta la siguiente revisión de la tasa, o fecha de reprecación del instrumento, incluyendo rendimientos y/o costos y capital.

La duración total del instrumento pactado a tasa variable más un margen fijo, se calculará como el promedio ponderado de las duraciones de sus partes conformantes.

$$D_{total} = W_{var} * D_{var} + W_{margen} * D_{margen}$$

Donde:

D total: Duración del instrumento pactado a tasa variable más un margen fijo

W margen: Factor de ponderación de la parte fija definido como:

Valor presente del margen fijo / valor total del instrumento

D margen: Duración del margen fijo

W var: Factor de ponderación de la parte variable definido como:

Valor presente de la parte variable / Valor total del instrumento

D var: Duración de la parte variable

El valor presente total del instrumento se calcula mediante la suma de los valores presentes de las partes conformantes. Los valores presentes de la parte variable y de la parte fija se deben calcular empleando las mismas tasas de descuento y la suma de los dos componentes del instrumento debe ser igual al valor del instrumento considerado como un todo<sup>73</sup>.

En la siguiente tabla se disponen los cálculos de estas medidas.

---

<sup>73</sup> Ibid., p. 9.

## Tabla 8. Cálculo de la Duración y la Convexidad.

### CÁLCULO DE LA DURACIÓN Y LA CONVEXIDAD

#### Inficaldas

IPC	5,82%	DUR FIJA	2,6851	CALCULO CONVEXIDAD:
SPREAD	4,40%	VAL PRES FIJO	96.676.030,01	SUMATORIA
VALOR NOMINAL	500.000.000,00	DUR VARIABLE	0,2466	NUMERADOR
FECHA VALORACION	31-dic-04	VAL PRES VAR	487.124.785,78	VP DENOMINADOR
FECHA VCTO	30-sep-10	VAL PRES VAR + FIJO	583.800.815,79	CONVEXIDAD
VALOR PRESENTE	498.992.706,54	DUR TOTAL VARIABLE	0,2058	
TIR MCDO	11,16%	DUR TOTAL FIJO	0,4446	
CUPON EA	10,48%	DUR TOTAL AÑOS	0,65	
CUPON OTRA MODALIDAD	2,18%	DUR TOTAL MESES	7,7918	
CUPON OTRA MODALIDAD	5,11%	DUR TOTAL DIAS	237	
PERIODICIDAD CUPON	2	DUR MODIFICADA MESES	7,7234	
TIR MCDO EA	11,16%			

FECHA	t	{t}	t/365	Ft	Ft (1+r)-t	Ft t (1+r)-t	t (t+1) Ft (1+r)-t
31-dic-04							
31-mar-05	90	25.538.010,04	90	0,247	24.880.395,343	6.134.892,00	7.647.605,10
30-sep-05	183	25.538.010,04	273	0,748	23.595.004,508	17.647.770,49	30.847.335,82
31-mar-06	182	25.538.010,04	455	1,247	22.382.507,505	27.901.481,96	62.682.781,39
30-sep-06	183	25.538.010,04	638	1,748	21.226.164,544	37.102.172,55	101.954.737,16
31-mar-07	182	25.538.010,04	820	2,247	20.135.397,180	45.235.686,82	146.861.065,42
30-sep-07	183	25.538.010,04	1003	2,748	19.095.146,226	52.472.415,52	196.663.738,16
31-mar-08	183	25.538.010,04	1186	3,249	18.108.637,546	58.840.668,85	250.032.540,77
30-sep-08	183	25.538.010,04	1369	3,751	17.173.094,665	64.410.867,39	305.995.737,12
31-mar-09	182	25.538.010,04	1551	4,249	16.290.605,925	69.223.917,23	363.378.151,82
30-sep-09	183	25.538.010,04	1734	4,751	15.448.987,644	73.393.272,81	422.061.588,00
31-mar-10	182	25.538.010,04	1916	5,249	14.655.097,089	76.929.221,98	480.754.946,14
30-sep-10	183	525.538.010,04	2099	5,751	286.001.668,369	1.644.705.484,67	11.102.888.532,16

TABLA PARA EL CALCULO DE LA DURACION DEL COMPONENTE VARIABLE Y FIJO						
FECHA	t	{t}	t/365	Ft	Ft (1+r)-t	Ft t (1+r)-t
31-mar-05	90	500.000.000,00	90	0,2466	487.124.785,78	
31-mar-05	90	10.881.590,98	90	0,2466	10.601.385,35	2.614.040,22
30-sep-05	183	10.881.590,98	273	0,7479	10.053.688,12	7.519.607,83
31-mar-06	182	10.881.590,98	455	1,2466	9.537.050,51	11.888.652,01
30-sep-06	183	10.881.590,98	638	1,7479	9.044.339,80	15.809.010,39
31-mar-07	182	10.881.590,98	820	2,2466	8.579.570,45	19.274.651,42
30-sep-07	183	10.881.590,98	1003	2,7479	8.136.325,84	22.358.177,57
31-mar-08	183	10.881.590,98	1186	3,2493	7.715.980,48	25.071.651,64
30-sep-08	183	10.881.590,98	1369	3,7507	7.317.351,34	27.445.079,40
31-mar-09	182	10.881.590,98	1551	4,2493	6.941.328,25	29.495.890,71
30-sep-09	183	10.881.590,98	1734	4,7507	6.582.719,81	31.272.427,80
31-mar-10	182	10.881.590,98	1916	5,2493	6.244.447,86	32.779.074,27
30-sep-10	183	10.881.590,98	2099	5,7507	5.921.842,22	34.054.648,80

Fuente: Cálculos del autor.

Ante un incremento de 10 puntos básicos (0,1%) en la TIR de mercado, el bono sufrirá una pérdida potencial de \$3.853.920  $(498.992.706,54 * -7,7234 * 0,001)^*$ , por tanto el precio del bono baja hasta  $498.992.706,54 - 3.853.920 = 495.138.786$ ; si por el contrario lo que se presenta es una disminución en la misma proporción de la tasa, el precio del bono aumentará este valor.

\* La Duración modificada en meses es equivalente a 7,7234, cabe recordar que esta medida es una relación aproximada entre cambio proporcionales en el precio de un bono y cambios en su rendimiento.

Como la convexidad modificada no tiene una interpretación financiera, calculamos el coeficiente que nos permite llevar el concepto a términos de precios.

Considerando los dos efectos sobre el precio original del bono y para una variación al alza de la TIR de 100 puntos básicos (1%). Tendríamos:

$$\text{COEF. CORREC. CONVEXIDAD} \cong \frac{1}{2} * 21,84 * \left(\frac{1}{100}\right)^2 * 100 = 0.11\%.$$

Por tanto, el cambio en el precio total será = - 7.7234% + 0.11% = -7,61%. Debe recordarse que la convexidad es un amortiguador contra las pérdidas debidas a los incrementos en las tasa de interés.

De esta manera, los directivos obtienen una medida de riesgo fácil de entender con la cual podrán tomar o no decisiones con respecto a este nivel de riesgo.

Es importante señalar que cualquiera sea la metodología a utilizar se debe enmarcar dentro de lo que la SBC denomina: Sistema Especial de Administración de Riesgos de Mercado (SEARM), el cual debe contar con políticas, procedimientos, metodologías de medición y mecanismos de control interno especiales para este tipo de riesgos, que le permita a entidades adoptar decisiones oportunas para la adecuada mitigación del riesgo y/o, cuando sea aplicable, mantener un monto de capital adecuado que guarde correspondencia con los niveles de riesgo asumidos.

Un SEARM debe contar con procedimientos especiales que sirvan cuando menos para los siguientes fines:

1. Identificación de los factores de riesgo de mercado a los que está expuesta la entidad, incluidas sus operaciones de tesorería .
2. Medir o cuantificar las pérdidas esperadas derivadas de la exposición a riesgos de mercado.
3. Monitorear permanentemente la evolución de su exposición a los riesgos identificados.
4. Controlar y evaluar el proceso de modo que se puedan adoptar oportunamente los correctivos necesarios

“Tales procedimientos se deben adoptar mediante manuales, en los cuales deben quedar claramente definidas las funciones y responsabilidades específicas de los diferentes órganos de dirección, administración y control involucrados en la administración de los riesgos de mercado”<sup>74</sup>.

---

<sup>74</sup> Superintendencia Bancaria de Colombia. Circular Externa 031 de agosto de 2004. p. 5.

## 4. CONCLUSIONES

Se pudo verificar que ningún sistema de medida del VeR es perfecto, y que no otorgan certidumbre respecto a las pérdidas que se podrían presentar en una inversión, sino una expectativa de resultados basada en la estadística y en algunos supuestos de los modelos o parámetros que se utilizan para su cálculo. Sin embargo, estas limitaciones no implican que el VeR no sea una herramienta útil en la gestión del riesgo, son precisamente estas limitaciones las que indican hasta que punto pueden usarse, además, existen varias medidas que están disponibles y pueden combinarse para obtener una medida del riesgo de mercado.

En este trabajo se aplicó el método de simulación Montecarlo y el método de simulación histórica. Un análisis en detalle del funcionamiento de los modelos, durante un período de tiempo mayor, permitirá profundizar y aprender de sus debilidades para conseguir asignar el modelo que más se ajuste a las características concretas de la cartera en estudio y de los Infis. En principio, el enfoque que mejor se adaptó fue primero, sin embargo, para posiciones más complejas, su desventaja sería su costo computacional.

El uso de las metodologías para medir el riesgo tiene diversas utilidades, entre ellas el que puede ser usado para informar a la alta dirección de la tendencia del riesgo en inversiones realizadas, puede ser utilizada por cualquier agente interesado en la gestión activa del riesgo de mercado por estar su portafolio sometido a él. Por tanto, los usuarios pueden ser desde instituciones financieras, reguladoras con ánimo de supervisión, hasta cualquier empresa de carácter no específicamente financiera. El valor en riesgo comunica sobre determinados tipos de riesgos financieros a las entidades y a sus grupos de interés.



La medición del riesgo de mercado es un problema que puede ser enfrentado con diversos niveles de rigurosidad, una mayor complejidad requiere de elevados costos, debido al software especializado y el personal calificado que utiliza, habrá que evaluar económicamente el sistema de acuerdo con el tamaño y la conformación de sus portafolios; específicamente para los Infis, medidas básicas del riesgo de mercado como son la duración y la convexidad, permitirán conocer de manera inmediata el impacto que tendría sobre la inversión, variaciones en la tasa de mercado.

Una vez definido el grado de rigurosidad en el proceso de medición, el personal encargado del mismo debe estar capacitado para entender las limitaciones de las metodologías usadas, así como los supuestos en los que se basan y en la información que de ellas provienen. Lo cierto, es que las entidades deben conocer con exactitud y periódicamente la cuantificación a los riesgos de mercado a los que están expuestas.

El estudio es un buen punto de partida para demostrar que el VeR está jugando un papel importante en el manejo del riesgo, además, el trabajo tiene un alto componente divulgativo de los enfoques presentados, siendo uno de sus objetivos abrir camino a posibles investigaciones desde la Línea de Profundización en Finanzas de la Maestría en Administración.

Dado que el VeR no recoge muchas otras variables de riesgo (riesgo político, riesgo de liquidez, riesgo legal, riesgo del emisor y otros), se hace prácticamente imprescindible completar la información proporcionada por el VeR con técnicas de evaluación de los modelos (*Back Testing*) y mediante técnicas de simulación en situaciones extremas (*Stress Testing*), así como la implantación de procedimientos y controles apropiados en la gestión del riesgo de mercado.

El VeR está sujeto al riesgo evento, y debe ser complementado con pruebas que contemplen escenarios extremos (stress testing) en los diferentes factores de riesgo o con evaluaciones subjetivas del entorno económico que mueve a los mercados mundiales. Pues aún con un nivel de confiabilidad del 99% suceden eventos inusuales.

No se puede esperar que estas herramientas den una solución definitiva al problema que representa el riesgo de mercado, pero sí deben considerarse como un instrumento de medición que permiten identificar y tomar posiciones ante dichos riesgos. Aún está planteado el debate sobre hasta qué punto los métodos cuantitativos efectivamente pueden predecir un desastre financiero y hasta dónde esto último depende de la intuición de los administradores.

En la actualidad, algunos bancos y otras instituciones financieras todavía están en fases tempranas de desarrollar los métodos para cuantificar los riesgos de mercado. Cualquiera que sea la metodología a utilizar, está ha de estar enmarcada dentro de un Sistema Especial de Administración de Riesgos de Mercado (SEARM), el cual debe contar con políticas, procedimientos, metodologías de medición y mecanismos de control interno especiales para este tipo de riesgos, que le permita a entidades adoptar decisiones oportunas para la adecuada mitigación del riesgo.

El principal reto para los Infis será el de adaptar consistentemente estos principios y políticas de mediciones del riesgo que se están utilizando en el sector financiero para obtener un mayor autocontrol en sus operaciones financieras y así beneficiar la gestión estratégica de la entidad.

## BIBLIOGRAFÍA

ABKEN, Peter A. Scenario simulation Evaluation of Value at Risk by Scenario Simulation. [base de datos en línea]. Statistical Journal of Derivatives, Summer 2000 v7 i4 p12. [Consultado el 10 de octubre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

BELTRAN, Fernando. Métodos de determinación del valor en riesgo y su aplicación al sistema bancario colombiano. Bogotá, D.C.: Uniandes. Girafa, 2002. p. 17.

CABEDO, David y MOYA, Ismael. El valor en riesgo: una aproximación de simulación histórica. [en línea]. Universidad Jaime I, Castellón. s.f [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet: <http://www.gloriamundi.org/picsresources/mphd.pdf>

CAMPOS OSORIO, Alexander. El VeR: Herramienta para la medición de riesgos de mercado. En: Apuntes de Banca y Finanzas. Asobancaria. Bogotá D.C. No. 4. (2003); p. 13.

CARDOZO, Pamela. Valor en riesgo de los activos financieros colombianos aplicando la teoría de valor extremo. [en línea]. Julio 2004. [consultado diciembre 2 de 2004]. Disponible en internet: [www.banrep.gov.co/docum/borrasem/intro304.htm](http://www.banrep.gov.co/docum/borrasem/intro304.htm).

DOWN, Kevin. A value at risk approach to risk-return analysis. [base de datos en

línea]. Journal of Portfolio Management, Summer 1999 v25 i4 p60(8). [Consultado el 10 de Noviembre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

FABOZZI, Frank. y MODIGLIANI, Franco. Mercados e instituciones financieras. Naucalpan Juárez: Prentice Hall, 1996. p. 205.

GENTO, Pedro M. Comparación entre métodos alternativos para la estimación del valor en riesgo. [en línea]. Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Derecho y Ciencias Sociales de Ciudad Real. s.f. [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet:<http://www.gloriamundi.org/picsresources/pgm.pdf>

GLASSERMAN, Paul. The quest for precision through Value-at-Risk. [base de datos en línea]. The Financial Times, May 16, 2000 p6. [Consultado el 10 de noviembre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

GÓMEZ HERNANDEZ, Andrés. Administración del riesgo de tasa de interés: un análisis del proceso. Medellín, 2003, 167 p. Tesis (Ingeniero administrador). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

HENDRICKS, Darryll. Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data (methods for estimating market risk). [base de datos en línea]. Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review, April 1996 v2 n1 p. 39. [Consultado el 11 de octubre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

JOHNSON, Christian A. Métodos de evaluación del riesgo para portafolios de inversión. [en línea]. Banco Central de Chile, Documentos de trabajo. Marzo de 2000 N° 67. [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet: <http://www.bcentral.cl/Estudios/DTBC/doctrab.htm>.

JORION, Philippe. Valor en Riesgo: El nuevo paradigma para el control de riesgos con derivados. México: Limusa 2000. p. 145.

KNOP, Roberto. ORDOVÁS, Roland. VIDAL, Joan. Medición de riesgo de mercado y de crédito. Barcelona: Ariel, 2004. p. 92.

LARA, Alfonso de. Medición y control de riesgos financieros. 2 ed. México: Limusa, 2002. p. 86.

MAKAROV, Victor. Value-at-risk: historical simulation. [base de datos en línea]. The Journal of Lending & Credit Risk Management, March 1999 v81 i7 p37(4). [Consultado el 11 de octubre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

MARTIN, José L. OLIVER, María D. DE LA TORRE, Antonio. Riesgo de mercado y de crédito: Un enfoque analítico. Sevilla: Atril, 2000. p. 8.

NEFTCI, Salih N. Value at Risk Calculations, Extreme Events, and Tail Estimation.

[base de datos en línea]. Journal of Derivatives, Spring 2000 v7 i3 p23. [Consultado el 10 noviembre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

PAPAGEORGIU, Anargyros and PASKOV, Spassimir. Deterministic simulation for risk management. [base de datos en línea]. Journal of Portfolio Management, May 1999 p122(6). [Consultado el 10 noviembre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

PICOULT, Evan. Calculating VAR with Monte Carlo simulation. (value at risk measures in financial services management). [base de datos en línea]. The Journal of Lending & Credit Risk Management, April 1999 v81 i8 p69(3). [Consultado el 10 noviembre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

ROSILLO, Jorge C. MARTINEZ, Clemencia A. Modelos de evaluación de riesgo en decisiones financieras. Bogotá: Universidad Externado de Colombia, 2004, 247 p.

PRITSKER, Matthew. The Hidden Dangers of Historical Simulation. [en línea]. Board of Governors of the Federal Reserve System, and University of California at Berkeley. April 16, 2001. [Consultado el 1 de diciembre 2004]. Disponible en internet:<http://www.gloriamundi.org/picsresources/mphd.pdf>

SIMONS, Katerina. The use of value at risk by institutional investors. [base de datos en línea]. New England Economic Review, Nov-Dec 2000 p21(10). [Consultado el 10 noviembre de 2004]. Disponible en InfoTrac Web: General BusinessFile Internat'l.

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

TORRES VELASCO, Welleda y ESCOBAR CASTAÑO, Mauricio. Análisis de valores de renta fija: un enfoque al modelo de valor de riesgo. Medellín, 2002, 97 p. Tesis (Ingeniero industrial). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

**J.P. Morgan: “CreditMetrics Technical Document”, 1997, en <http://www.riskmetrics.com>**

**J.P. Morgan: “RiskMetrics Technical Document”, 3<sup>th</sup> edition 1995, en <http://www.riskmetrics.com>**

**RiskMetrics Group “CorporateMetrics Technical Document”, 1999, en <http://www.riskmetrics.com>**

<http://www.superbancaria.gov.co>

<http://www.riesgofinanciero.com>

<http://www.bis.org>

<http://www.asobancaria.com>

# **ANEXOS**



## ANEXO 1

### PORTAFOLIO INFIMANIZALES

Fecha: 31/12/2004

Número Facial	Fecha de compra	Fecha Vencimiento	Dias Vto	Tasa nominal	Valor nominal local	Valor nominal origen	Tasa Básica	Valor presente	TIR 365	Duración
<b>Entidad emisora BAVARIA S.A</b>										
2310	12/11/2003	01/11/2010	2130	8,6864 SV	3.584.625.000,00	1.500.000,00	BTEU	3.637.700.630,58	-6,36	1.691,91
<b>Total entidad</b>					<b>3.584.625.000,00</b>	<b>1.500.000,00</b>		<b>3.637.700.630,58</b>		<b>1.691,91</b>
<b>Entidad emisora BARCLAYS BANK PLC</b>										
5497	13/11/2003	08/05/2007	858	5,25 AV	3.584.625.000,00	1.500.000,00	BTEU	3.968.813.756,19	-12,24	806,78
<b>Total entidad</b>					<b>3.584.625.000,00</b>	<b>1.500.000,00</b>		<b>3.968.813.756,19</b>		<b>806,78</b>
<b>Entidad emisora EUROPEAN INVESTMENT BANK</b>										
9562	18/11/2003	15/12/2006	714	2,5 AV	1.553.337.500,00	650.000,00	BTEU	1.560.483.927,89	-11,99	705,11
<b>Total entidad</b>					<b>1.553.337.500,00</b>	<b>650.000,00</b>		<b>1.560.483.927,89</b>		<b>705,11</b>
<b>Tipo de título BONOS FREDDIE MAC</b>										
<b>Entidad emisora FREDDIE MAC</b>										
1512	19/11/2003	19/11/2008	1418	3 SV	3.584.625.000,00	1.500.000,00	BTEU			
<b>Total entidad</b>					<b>3.584.625.000,00</b>	<b>1.500.000,00</b>		<b>3.722.360.200,85</b>	<b>-10,90</b>	<b>1.323,00</b>
<b>Total tipo título</b>					<b>3.584.625.000,00</b>	<b>1.500.000,00</b>		<b>3.722.360.200,85</b>		<b>1.323,00</b>
<b>Entidad emisora FEDERAL FRAM CREDIT</b>										
874	25/11/2003	25/11/2005	329	2,2375 SV	3.584.625.000,00	1.500.000,00	BTEU	3.617.634.401,67	-12,73	326,97
<b>Total entidad</b>					<b>3.584.625.000,00</b>	<b>1.500.000,00</b>		<b>3.617.634.401,67</b>		<b>326,97</b>
<b>Tipo de título</b>										
<b>Entidad emisora FEDERAL HOME LOAM BANK</b>										
9000	24/03/2004	24/03/2008	1178	2	3.584.625.000,00	1.500.000,00	BTEU	3.486.527.817,69	-10,24	1.130,08
1206	24/08/2004	24/08/2007	966	2,5	1.421.901.250,00	595.000,00	BTEU	1.477.832.751,31	-11,41	925,09
<b>Total entidad</b>					<b>3.584.625.000,00</b>	<b>2.095.000,00</b>		<b>4.964.360.569,00</b>		<b>1.069,06</b>
<b>Total tipo título</b>					<b>3.584.625.000,00</b>	<b>2.095.000,00</b>		<b>4.964.360.569,00</b>		<b>1.069,06</b>
<b>Entidad emisora INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION</b>										
1178	11/08/2004	15/04/2008	1200	3	1.424.291.000,00	596.000,00	BTEU	1.410.125.231,13	-10,92	1144,17
<b>Total entidad</b>					<b>1.424.291.000,00</b>	<b>596.000,00</b>		<b>1.410.125.231,13</b>		<b>1.144,17</b>
<b>Total tipo título</b>					<b>15.026.748.000,00</b>					
<b>Tipo de título BONOS EMITIDOS ENTIDADES EXTERIOR</b>										
<b>Entidad emisora BANCO DE LA REPUBLICA</b>										
1179	11/08/2004	15/02/2007	776	7,625	1.295.244.500,00	542.000,00	BTEU	1455516382	-11,41	715,11
<b>Total entidad</b>					<b>1.295.244.500,00</b>	<b>542.000,00</b>		<b>1455516382</b>		<b>715,11</b>
<b>Total tipo de título</b>						<b>9.883.000,00</b>		<b>24336995099</b>		

## ANEXO 2

Código del Factor	Factor	Período de estudio	Fuente	Procedimiento	Variación
1	año	1 DTF 1984-2003	BR Montecarlo	30 126	2 Tasa de Repos 1999-
2003	SBC Montecarlo	250	3 Tasa Interbancaria	1999-2003	SBC Montecarlo 135
2003	SBC Montecarlo	12.4	5 Libor 1998-2003	BR Lognormal	6.86 41.18
2003	SBC Montecarlo	222	7 Money Market USD	1999-2003	FLAR Lognormal 12
2003	BVC Montecarlo	150 250			8 Tasa de TES 1999-

Código del Factor	Factor	Período de estudio	Fuente	Procedimiento	Volatilidad
1	año			9 UVR 1993-2003	BR Montecarlo 3.9%
2003	SBC Montecarlo	2.63%	11 EURO 2000-2003	BR Lognormal	5.45%
2003	BR Lognormal	5.18%	13 IGBC 1994-2003	BVC Lognormal	6% 9%
2003	SBC GARCH (1,1)	12.06%	15 DJIA 1998 – 2003	Yahoo Finance	GARCH (1,1) 3.70%

SBC: Superintendencia Bancaria de Colombia

B.R: Banco República

IGBC.: Índice General de la Bolsa de Colombia

FLAR: Fondo Latino Americano de Reserva

B.V.C: Bolsa de Valores de Colombia

FCO.: Fondo Común Ordinario

DJIA: Dow Jones Industrial Average

Las variaciones máximas probables de las tasas de interés se expresan en términos de puntos básicos. Las volatilidades de los tipos de cambio y otros índices se expresan en términos porcentuales.