

ESTIMACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE CAPITAL POR RIESGO DE MERCADO

Juan Pablo Arango
Mauricio Arias
Esteban Gómez
David Salamanca
Diego Vásquez*

INTRODUCCIÓN

La participación creciente de las inversiones en el activo del sistema financiero ha generado un mayor interés tanto en la medición como en el manejo del riesgo de mercado (RM) asociado al portafolio del Libro de Tesorería¹, por parte de las entidades y de los reguladores.

Un primer paso en esa dirección lo dio la Superintendencia Bancaria de Colombia² (SBC) en enero de 2002, con la implementación de los requerimientos de capital por concepto de RM. Sin embargo, recientemente esta norma ha estado sujeta a un número importante de cuestionamientos relacionados, sobre todo, con la idoneidad de la metodología utilizada para medir y cubrir apropiadamente la exposición.

En ese sentido el objetivo de este documento es presentar los resultados de la estimación de RM con el uso de metodologías alternativas para comparar y calificar la utilidad de los requerimientos actuales. Los cálculos presentados hacen referencia al modelo estándar propuesto por el Comité de Basilea y a los modelos de valor en riesgo incluidos tanto el método de simulación histórica como la metodología de varianzas y covarianzas (aproximación EWMA) propuesta por *RiskMetrics*.

I. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DEL VALOR EN RIESGO

En todas las metodologías presentadas a continuación, así como en la normativa actual, el concepto de valor en riesgo (VeR) juega un papel fundamental. Esta

* Miembros de los Departamentos de Estabilidad Financiera, Operaciones y Desarrollo de Mercado y Unidad de Econometría. Las opiniones comprometen sólo a los autores y no reflejan la posición del Banco de la República ni la de su Junta Directiva.

¹ El Libro de Tesorería o *Trading Book* está conformado por las posiciones que el Banco mantiene con el fin de obtener beneficios con su compra y venta en el corto plazo.

² Ahora parte de la Superintendencia Financiera.

medida de riesgo intenta resumir en un solo número la exposición total del portafolio de una entidad ante cambios en las variables de mercado. En particular, el VeR representa un monto de pérdidas que, con un horizonte de tiempo y un nivel de confianza dados, no será superado. Las principales diferencias entre las aproximaciones presentadas a continuación radican en las posiciones utilizadas, las variables de mercado que se considera afectan el valor del portafolio, la forma como se calculan los choques a estas variables y la toma en cuenta u omisión de las correlaciones entre los diversos factores de riesgo.

A. Datos y supuestos

Siguiendo las recomendaciones del Comité de Supervisión Bancaria (Basilea), para los ejercicios presentados a continuación, los RM asociados a la tasa de interés y a las posiciones en acciones tienen en cuenta únicamente el Libro de Tesorería; por otra parte, aquellos asociados a la tasa de cambio incluyen la posición neta del total del balance.

Para los cálculos que se presentan en este documento, el Libro de Tesorería está compuesto por la suma de *inversiones negociables*, *inversiones disponibles para la venta*³ y *derechos de recompra* de dichas inversiones. Con respecto a las posiciones en acciones, se toman en cuenta los grupos anteriores únicamente en el caso en que se trate de activos bursátiles, excluidos los *títulos de participación* y los *no inscritos en bolsa*.

Debido a la inexistencia de información detallada sobre el portafolio de inversiones en títulos emitidos por el sector privado o por entidades públicas distintas al Gobierno nacional central, los cálculos presentados incluyen únicamente las posiciones en títulos de Tesorería (TES) pesos tasa fija y TES UVR⁴. Lo mismo ocurre con las opciones y los derivados de tasa interés (*SWAPS* y *FRA*), razón por la cual los cálculos no incluyen los cargos de capital imputables a estas posiciones del Libro de Tesorería. Dado que la información disponible no permite discriminar entre los títulos del Libro de Tesorería y los del Libro Bancario (inversiones hasta el vencimiento), se utiliza el porcentaje de TES del Libro de Tesorería en el total de TES del balance del sistema financiero, para escalar el requerimiento efectivo de capital.

Los detalles de las características de los títulos (madurez residual, tasa de los cupones, etc.) que componen el portafolio del sistema financiero se obtienen del Depósito Central de Valores (DCV), mientras que las curvas *spot* para la valoración de estos se obtuvieron de la Bolsa de Valores de Colombia (BVC). Por último, las posiciones netas en dólares y acciones se obtuvieron del formato de riesgos de mercado reportado en la actualidad a la SBC. Para todos los casos anteriores, las

³ La razón para incluir estas posiciones está relacionada con el hecho de que son valoradas a precios de mercado.

⁴ Estas posiciones representan el 66% del total del Libro de Tesorería.

posiciones se refieren a las entidades crediticias (bancos comerciales, compañías de financiamiento comercial y corporaciones financieras).

Las series utilizadas para el cálculo de los choques abarcan el período comprendido entre el 29 de abril de 2003 y el 4 de noviembre de 2005, con una periodicidad diaria (días hábiles únicamente), e incluyen por lo menos dos escenarios extremos importantes: abril de 2004 y marzo de 2005⁵. Finalmente, se considera el portafolio observado en noviembre 4 de 2005⁶.

B. Metodología actual de la Superintendencia Bancaria de Colombia

Tal como se plantea en la *Propuesta de una modificación a la metodología para la medición del riesgo de mercado de la SBC*⁷, la metodología vigente basa la medición de la posición en riesgo en la variación máxima probable del factor de riesgo multiplicada por su duración y por el valor presente del monto expuesto.

$$VeR_i = \Delta Factor_i \cdot Dur_i \cdot VP N_{expuesto_i}$$

Donde VeR_i representa el valor en riesgo de la posición expuesta al factor i (VeR individual). Se utilizan 15 factores de riesgo y el portafolio incluye tanto el Libro de Tesorería como el Libro Bancario (incluso en los factores relacionados con tasas de interés y riesgo bursátil, en contraposición a lo propuesto por Basilea).

Las variaciones máximas se calculan para 10 días y un año, de acuerdo con la clasificación de las posiciones entre inversiones negociables (10 días), inversiones disponibles para la venta (un año) y al vencimiento (un año).

El cálculo del VeR corresponde a la suma matricial de las posiciones VeR individuales teniendo en cuenta la matriz de correlaciones de la forma:

$$VeR = \sqrt{V \cdot \Sigma \cdot V}$$

Donde V es el vector de posiciones VeR individuales y Σ es la matriz de correlaciones semidefinida positiva de los factores de riesgo.

Teniendo en cuenta el portafolio de los establecimientos de crédito al 31 de octubre de 2005, los requerimientos de capital se presentan en la Cuadro 1:

⁵ En abril de 2004, las tasas de los TES con vencimiento en enero 2012, abril 2012 y febrero 2009 aumentaron alrededor de 250 puntos básicos (pb), mientras que durante marzo de 2005 lo hicieron en aproximadamente 100 pb.

⁶ Las posiciones de moneda extranjera y acciones corresponden a lo reportado el 31 de octubre de 2005.

⁷ SBC (2005).

**REQUERIMIENTOS DE CAPITAL POR RIESGO DE MERCADO
METODOLOGÍA ACTUAL SBC
(MILES DE MILLONES DE PESOS) OCTUBRE DE 2005**

Ver por factor de riesgo		Ver total (*)	
DTF	-555	Requerimiento de capital	870,2
Repo	-0,3		
Interbancario	0		
Tasa de interés real	46,6		
Libor	5,7		
Tasa de interés crédito de consumo	289,4		
Money Market	-0,5		
TES	704,5		
UVR	339,1		
TCRM	7,2		
Euro	0,7		
Yen	-0,1		
IGBC	322,3		
FCO	14,1		
Dow Jones	-		

(*) No es igual a la suma de los factores individuales, pues estos no tienen en cuenta las correlaciones.
Fuente: Formato de valor en riesgo de la Superintendencia Bancaria.

C. Metodología estándar de Basilea

El Comité de Supervisión Bancaria incorporó el RM en el cálculo de los requerimientos de capital de las instituciones financieras a partir de la enmienda realizada en 1996 al acuerdo de capital suscrito inicialmente en 1988⁸.

La aproximación sugerida incluye un modelo estándar para el regulador así como la posibilidad de desarrollar modelos internos por parte de las entidades, los cuales deben ser aprobados previamente por el supervisor.

Para la metodología estándar propone una aproximación por módulos en la que se incluyan cuatro tipos distintos de RM, a los cuales se encuentra expuesto el balance de los bancos: riesgo de tasa de interés, riesgo bursátil, riesgo de tasa de cambio y riesgo de *commodities*. Los requerimientos de capital obtenidos para los tres primeros módulos se presentan en el Cuadro 2 e incluyen únicamente la parte correspondiente al riesgo general⁹.

**REQUERIMIENTOS DE CAPITAL POR RIESGO DE MERCADO
METODOLOGÍA ESTÁNDAR BASILEA
(MILES DE MILLONES DE PESOS) CHOQUE MÁXIMO (100%)**

04-Nov-05	Requerimiento de capital
Modulo tasa de interés	1.298
Modulo tasa de cambio	23
Modulo riesgo bursátil	196
Total	1.516

Fuente: Cálculos de los autores.

⁸ *Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risk* (1996); algunas modificaciones posteriores incluyen: *Principles for the Management of Interest Rate Risk* (1997); *Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risk, Updated to April 1998* (1998), entre otras.

⁹ No se incluyó la parte de riesgos específicos por falta de información de los títulos emitidos por agentes distintos al Gobierno nacional central. Para el portafolio considerado en este ejercicio, los riesgos específicos sólo son aplicables al módulo bursátil tal como se explica más adelante. Para las posiciones en TES, el ponderador sugerido por Basilea es 0%.

1. Módulo de tasa de interés

Para calcular el RM asociado a cambios en las tasas de interés, la metodología estándar sugiere asignar las posiciones de los títulos a las 13 bandas temporales ilustradas en el Cuadro 3, según la madurez residual de éstos.

A diferencia de lo sugerido por Basilea, en este ejercicio, al igual que en la regulación chilena, el principal y los cupones se asignan independientemente, y los montos registrados corresponden a los valores faciales de cada uno de ellos¹⁰.

Una vez se obtiene la exposición neta de cada banda, esta se multiplica por un ponderador que refleja el cambio en el valor presente neto de un peso pagadero en el punto medio de dicha banda, ante la ocurrencia del choque máximo esperado de la muestra histórica disponible.

El ponderador de la banda con punto medio t (en número de años) se define como:

$$pond_t = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{(1+r_t)^t} - \frac{1}{(1+r_t+\Delta r)^t} \right) + \left(\frac{1}{(1+r_t-\Delta r)^t} - \frac{1}{(1+r_t)^t} \right) \right]$$

Donde el primer término representa el cambio en el valor presente de un flujo de un peso en el punto medio de la banda ante un aumento de Δr en la tasa *spot* de este plazo (r_t), y el segundo representa el cambio en el valor presente ante una disminución de la misma magnitud.

Siguiendo lo propuesto por la regulación chilena¹¹, los choques calculados corresponden a variaciones mensuales (21 días hábiles) de la tasa *spot* para el promedio de la banda. Para cada una de las bandas se halló el máximo choque para calcular los requerimientos respectivos. *La decisión de utilizar el mayor de los choques estuvo fundamentada en las limitaciones impuestas por el cubrimiento de la muestra*

¹⁰ Por esta misma razón, para el cálculo de los ponderadores se utiliza la curva cero cupón y no la curva de rendimientos, como lo sugiere Basilea.

¹¹ Banco Central de Chile (2002).

CUADRO 3

BANDAS TEMPORALES, METODOLOGÍA ESTÁNDAR BASILEA

Meses				Años								
0 - 1	1 - 3	3 - 6	6 - 9	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 7	7 - 10	10 - 15	15 - 20	20 <

Fuente: BIS (1998).

que considera un período de caída en las tasas de interés y de baja volatilidad de estas. En particular, la no inclusión del escenario de estrés de agosto de 2002¹² puede hacer que los choques utilizados, y por ende los requerimientos de capital, estén subestimados. El ejercicio anterior permite obtener el requerimiento de capital asociado a las tenencias de TES tasa fija y TES UVR, respectivamente.

Sin embargo, dado que la información disponible en el DCV sobre los portafolios no permite discriminar entre los títulos del Libro de Tesorería y los del Libro Bancario, los requerimientos de capital del portafolio se escalan por la participación de los primeros en el total¹³ (Cuadro 4).

1. Módulo tasa de cambio

Con la información contenida en el formato de RM de la SBC se obtuvieron las posiciones netas en cada una de las monedas analizadas. Posteriormente se calculó el requerimiento de capital al multiplicar el factor de ponderación (8%) por la mayor exposición entre la suma de las posiciones netas activas y la suma de las posiciones netas pasivas. El cargo resultante es de \$23 miles de millones (mm), aproximadamente (Cuadro 5).

2. Módulo bursátil

Con la información contenida en el formato de riesgos de mercado de la SBC se obtuvieron las posiciones netas expuestas al riesgo en el mercado bursátil. Sin embargo, se excluyeron del cálculo las inversiones clasificadas como acciones y participaciones no bursátiles, y los títulos de participación. Para calcular el requerimiento de capital se multiplicaron estas posiciones por el factor de ponderación relevante (8%). El resultado del ejercicio fue \$195.6 mm.

El requerimiento presentado incluye únicamente los cargos por concepto de riesgo general, debido a que el riesgo específico no se utiliza en otros países que implementaron la metodología (por ejemplo, Chile). En caso de aplicarse, este requerimiento representaría un 8% adicional de capital (Cuadro 6).

CUADRO 4

**REQUERIMIENTOS DE CAPITAL POR RIESGO DE MERCADO
METODOLOGÍA ESTÁNDAR BASILEA
MÓDULO RIESGO TASA DE INTERÉS
CHOQUE MÁXIMO (100%)**

04-Nov-05	Requerimiento de capital
TES tasa fija	1.050
TES UVR	247
Módulo tasa de interés	1.298

Fuente: Cálculos de los autores.

CUADRO 5

**REQUERIMIENTOS DE CAPITAL POR RIESGO DE MERCADO
MÓDULO RIESGO CAMBIARIO
METODOLOGÍA ESTÁNDAR BASILEA
(MILES DE MILLONES DE PESOS) 31-OCT-05**

	Valor posición neta
Dólar americano	296,3
Yen japonés	(1,2)
Libra esterlina	(23,9)
Bolívar venezolano	0,2
Dólar canadiense	1,2
Franco suizo	(0,0)
Euro	13,5
Corona sueca	0,1
Corona danesa	0,3
Mayor posición neta	286,4
Factor de ponderación (porcentaje)	8,0
Requerimiento de capital	22,9

Fuente: Formato de valor en riesgo de la Superintendencia Bancaria, cálculos de los autores.

¹² Las tasas de los TES con vencimiento en enero 2012, abril 2012 y febrero 2009 aumentaron alrededor de 500 pb entre el mínimo y el máximo registrados en el período julio-agosto de 2002.

¹³ Este dato se obtiene de los formatos de RM que se reportan actualmente a la SBC. Para octubre de 2005 corresponden a 89% y 82%, para TES tasa fija y UVR, respectivamente.

D. VeR RiskMetrics

Para los modelos internos, Basilea sugiere seguir una metodología similar a la propuesta por RiskMetrics¹⁵. Este método se basa en la idea de que el portafolio de las instituciones financieras puede ser descompuesto –*mapped*– en un conjunto de instrumentos más simples que están expuestos solamente a un factor de riesgo. Para el caso de las posiciones expuestas a tasa de interés, se trata independientemente cada uno de los flujos asociados al título. Por ejemplo, un bono tasa fija con una madurez residual de un año y cupones semianuales se descompone en tres títulos: uno para cada cupón y uno para el principal. Cada uno de estos flujos se asigna, entonces, a posiciones en uno o más de los vértices sugeridos por RiskMetrics¹⁶ (Cuadro 7).

CUADRO 6

REQUERIMIENTOS DE CAPITAL POR RIESGO DE MERCADO
MÓDULO RIESGO BURSÁTIL
METODOLOGÍA ESTÁNDAR BASILEA
(MILES DE MILLONES DE PESOS) 31-OCT-05

	Valor posición neta
Inversiones negociables	344,4
Inversiones disponibles para la venta	2.100,7
Factor de ponderación	8,0
Requerimiento de capital (%)	195,6

Fuente: Formato de valor en riesgo de la Superintendencia Bancaria, cálculos de los autores.

CUADRO 7

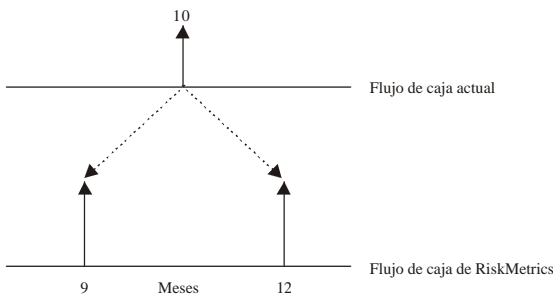
VÉRTICES UTILIZADOS EN EL EJERCICIO

Meses					Años									
0	1	3	6	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Fuente: Documento técnico RiskMetrics.

FIGURA 1

MAPEO DE FLUJOS DE RISKMETRICS



Fuente: Documento técnico RiskMetrics.

A menos que la madurez residual del título corresponda exactamente a uno de los vértices, la asignación de un flujo de caja implica repartirlo entre los dos más cercanos. Por ejemplo, un TES con madurez residual de diez meses se distribuye en dos posiciones: una con madurez residual nueve meses y otra con madurez residual doce meses (Figura 1).

El valor de un portafolio conformado únicamente por instrumentos tasa fija, descompuesto de la manera descrita, sería una función lineal de 14 factores de riesgo (i.e. cambios porcentuales diarios en el valor presente de un peso en cada vértice¹⁷). Dado que para el ejercicio presentado a continuación se tienen dos *mapeos* independientes, uno para las posiciones en TES tasa fija y otro para los TES UVR, se cuenta con 28 factores de riesgo por las posiciones en TES. Adicionalmente, se tiene en cuenta el riesgo implícito en las posiciones en acciones y en moneda extranjera al contemplar dos factores de riesgo más: el índice general de la Bolsa de Colombia (IGBC) y la tasa representativa del mercado (TRM). En síntesis, se utilizan 30 factores de riesgo para calcular el RM del portafolio de los establecimientos de crédito.

¹⁵ J. P. Morgan (1996). Technical Document RiskMetrics.

¹⁶ Para el ejercicio presentado los vértices difieren de los sugeridos por RiskMetrics. En particular, el vértice de mayor duración es de 10 años, frente al máximo de 30 años para la metodología de J.P. Morgan. Esta elección se justifica por la inexistencia de títulos con madurez residual superiores a 15 años y al reducido tamaño de la muestra de las tasas *spot* para plazos superiores a 10 años.

¹⁷ Partiendo de la tasa *spot* correspondiente a cada vértice se puede estimar una serie de precios, con la cual se hallan las variaciones porcentuales.

Dado que se supone normalidad en la distribución de los retornos y que el cambio esperado en los precios es cero, el valor en riesgo de la posición expuesta al factor i (VeR_i) se calcula como el producto entre el choque máximo esperado ($2,33 \cdot s_i$, para un nivel de confianza de 99%) y la exposición a dicho factor:

$$VeR_i = 2,33 \cdot s_i \cdot Posición_i$$

El modelo utilizado para la estimación de s_i es un EWMA¹⁸, donde se supone que las varianzas siguen un proceso generador de datos descrito por:

$$s_{i,n}^2 = \mathbf{I} s_{i,n-1}^2 + (1 - \mathbf{I}) u_{i,n-1}^2$$

Donde $s_{i,n}$ es la volatilidad estimada para el factor i el día n , $u_{i,n-1}$ es el cambio porcentual más reciente en el precio y \mathbf{I} es una constante entre cero y uno¹⁹ (factor de decaimiento exponencial). El valor inicial de esta fórmula recursiva, $s_{i,0}$, es el promedio simple de las variaciones porcentuales observadas en los precios.

Un paso posterior conlleva a la estimación de la matriz de correlaciones entre los retornos de diversos factores (Σ), para tener en cuenta los efectos de la cobertura que brinda la diversificación entre activos con diferentes características. En este caso también se utiliza un modelo EWMA para el cálculo de las covarianzas respectivas²⁰.

Por ende, el VeR diario al 99% de confianza, para el total del portafolio se calcula como:

$$VeR_{portafolio} = \sqrt{VeR_F \cdot \Sigma \cdot VeR_F'}$$

Donde VeR_F es el vector que contiene los VeR_i . Siguiendo lo sugerido por Basilea, los requerimientos de capital se calculan como:

$$RK = 3 \cdot VeR_{portafolio} \cdot \sqrt{10}$$

Los resultados del ejercicio realizado para el portafolio del Libro de Tesorería de los establecimientos de crédito, al 4 de noviembre de 2005, se pueden ver en el Cuadro 8.

CUADRO 8

**REQUERIMIENTOS DE CAPITAL POR RIESGO DE MERCADO
RISKMETRICS
(MILES DE MILLONES DE PESOS)
04-NOV-05**

Ver diario 99%	144
Ver 10 días 99%	456
Requerimiento de capital	1.368

Fuente: Cálculos de los autores.

¹⁸ Para una explicación más detallada del procedimiento, véase Hull, J. (2000).

¹⁹ Valores mayores de $\tilde{\epsilon}$ implican que la volatilidad estimada responde poco a la nueva información provista por los choques diarios recientes.

²⁰ Las covarianzas se calculan utilizando: $Cov(i, j)_n = \mathbf{I} Cov(i, j)_{n-1} + (1 - \mathbf{I}) u_{i,n-1} u_{j,n-1}$. A partir de ellas y las varianzas se puede estimar la matriz de correlaciones.

E. *VeR* por simulación histórica

La simulación histórica es una forma alternativa de estimar el *VeR*, que utiliza datos del pasado como una predicción de lo que podría ocurrir en el futuro²¹. Como en las demás alternativas de estimación para el *VeR*, lo primero que se debe hacer es elegir el horizonte de tiempo para los cálculos, el nivel de confianza, los factores de riesgo que afectan el portafolio y la cantidad de datos para los que se tiene información de dichas variables. El número de escenarios que podrán generarse dependerá de la longitud de la serie que pueda obtenerse.

Si se tienen, por ejemplo, 501 datos diarios (desde el día 0 al 500) para cada variable, entonces se pueden calcular 500 escenarios diferentes (del 1 al 500) para lo que puede ocurrir entre hoy y mañana. El escenario 1 es aquel en el cual los cambios porcentuales de todas las variables (en el último día) son iguales a aquellos que se dieron en el día 1 de nuestra serie histórica. En el segundo escenario, todos los cambios son iguales a los del día 2; y así hasta el día 500. Formalmente, lo que tenemos es lo siguiente: se define v_i como el valor de una variable de mercado en el día i , y se supone que se está en el día m (que representa el último día para el que se tiene información, por ejemplo, 500); el i -ésimo escenario supone que el valor de la variable de mercado, mañana (día 501), será:

$$v_m(v_i / v_{i-1})$$

De esta forma, se obtienen 500 cambios porcentuales posibles para cada una de las variables en el día 500, lo que constituye los escenarios posibles para el día 501. Con cada uno de estos escenarios se calcula el valor del portafolio que resultaría a los nuevos precios y se compara con el valor del portafolio de hoy, para obtener la pérdida (ganancia) por valoración esperada. De esta forma, se genera una distribución de cambios diarios en el valor del portafolio. Estos cambios en valor son ordenados, luego, de mayor a menor pérdida, para así elegir el primer percentil, que constituye el *VeR* de un día al 99%. Este *VeR* se escala luego por \sqrt{N} para obtener el *VeR* a N -días y se multiplica por un factor de 3 para determinar los requerimientos de capital.

En nuestro caso específico, contamos con 618 datos (617 posibles escenarios de precios), 30 factores de riesgo y un *VeR* a 10 días con un nivel de confianza de 99%. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 9, y muestran la máxima pérdida calculada y los requerimientos de capital obtenidos del percentil 1, luego de considerar las posiciones en TES tasa fija y UVR, así como las posiciones en moneda extranjera y acciones.

CUADRO 9

REQUERIMIENTOS DE CAPITAL POR RIESGO DE MERCADO
SIMULACIÓN HISTÓRICA
(MILES DE MILLONES DE PESOS)
04-NOV-05

Pérdida máxima	387
Ver a un día	146
Ver a 10 Días	463
Capital regulatorio	1.388

Fuente: Cálculos de los autores.

²¹ Para una explicación más detallada de este procedimiento, véase Hull, J. (2000).

II. VERIFICACIÓN AJUSTE DE LOS MODELOS

A. Back Testing. Modelo RiskMetrics

Independiente del método utilizado para la estimación del VeR , una prueba importante de bondad de ajuste del modelo es lo que se conoce como *back testing*, la cual implica verificar qué tan bien se hubieran desempeñado las estimaciones del VeR en el pasado. Supongamos que se calcula un VeR diario al 99% de confianza. El *back testing* implicaría ver cuántas veces la pérdida de un día excedería el VeR calculado para ese día. Si esto ocurre en aproximadamente 1% de los días, podemos suponer razonablemente que la metodología tiene un buen ajuste.

Para este ejercicio es indispensable aislar el efecto del precio actual, para lo cual se obtiene una *proxy* de las cantidades finales al dividir el valor de las posiciones por dicho precio. Con los precios observados para cada momento de tiempo se calcula el valor de este portafolio y se puede construir un vector que contiene, en cada posición, la pérdida (ganancia) por valoración entre dos días consecutivos.

Para llevar a cabo el ejercicio de *back testing* se fijan los valores de los parámetros que minimizan el error cuadrático medio ($k = 107$, $I = 0,94$, tolerancia = 0,0001) en la estimación de la varianza condicional a partir de la metodología EWMA. Se define una ventana móvil de longitud 107, con base en el valor del parámetro k , y se aplica la metodología *RiskMetrics* (en forma móvil) para cada ventana. Una vez suministrada toda la información anterior para cada simulación, se obtiene un pronóstico de la matriz de varianza-covarianza y de correlaciones, con base en la cual se calculan el valor de los choques y, por tanto, las posiciones en riesgo que permiten obtener el valor diario del VeR en cada simulación, que constituye el requerimiento de capital para cada una de las 510 replicaciones.

Se comparan, entonces, los requerimientos de capital con los cambios en el valor del portafolio debido a variaciones en los precios. Formalmente, se deben contabilizar las ocurrencias de:

$$(P_{t-1} - P_t) (Cantidades) \geq VeR_{diario} \quad 99\%$$

para determinar el porcentaje de cubrimiento a partir de esta metodología contra pérdidas por valoración del portafolio.

Como puede observarse en el Cuadro 10, los requerimientos obtenidos con la metodología *RiskMetrics* para el cálculo del VeR cubren cerca del 98% de las ocurrencias.

CUADRO 10

BACKTESTING MODELO DE RISKMETRICS
(MILES DE MILLONES DE PESOS)

Simulación No.	Cambio en el valor del portafolio	Ver a un día
128	187	180
130	368	183
142	481	199
143	275	208
359	246	184
434	172	145
490	138	115
491	261	117
492	156	122
494	211	127
501	165	121
Eventos no cubiertos (%)		2,2

Fuente: Cálculos de los autores.

**BACKTESTING MODELO DE SIMULACIÓN HISTÓRICA
(MILES DE MILLONES DE PESOS)**

Simulación No.	Cambio en el valor del portafolio	Ver a un día
130	373	205
142	489	194
143	278	188
359	248	210
Eventos no cubiertos(%)		0,8

Fuente: Cálculos de los autores.

B. *Back Testing*. Simulación histórica

Un ejercicio análogo fue llevado a cabo para la metodología de simulación histórica. Al igual que en el *back testing* del modelo *RiskMetrics*, se utilizó una ventana móvil de 107 observaciones. Para cada una de estas ventanas, se calculó la distribución de pérdidas por valoración de la forma explicada en el numeral I, literal C de este trabajo, para así elegir el percentil 1 y calcular los requerimientos de capital asociados a esta pérdida²².

El ejercicio se repitió 510 veces y se calculó el porcentaje de ocurrencias en las cuales el requerimiento de capital exigido fuese superado por el cambio que se hubiera observado en el valor del portafolio si las cantidades fueran las mismas del portafolio actual.

Como puede observarse en el Cuadro 11, los requerimientos obtenidos con la metodología de simulación histórica para el cálculo del *VeR* cubren poco más del 99% de las ocurrencias.

III. CONCLUSIONES

A pesar de la naturaleza preliminar de los ejercicios presentados en este documento, los resultados revelan la importancia de profundizar en el desarrollo de metodologías que permitan medir y manejar de manera eficiente el riesgo al que están expuestos los portafolios de los establecimientos de crédito.

En este sentido, la agenda conjunta que se ha llevado a cabo entre la Superintendencia Financiera de Colombia y el Banco de la República es un paso en la dirección indicada, en tanto presenta alternativas para adaptar la regulación a escenarios en los que el riesgo de mercado cobra cada vez mayor relevancia.

²² Básicamente, el ejercicio es idéntico al que se hizo anteriormente, pero se supone que solo se cuenta con 107 datos de historia cada día.

BIBLIOGRAFÍA

- BIS (1996). *Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risks*, Comité sobre Regulación Bancaria, BIS, Basilea.
- BIS (1997). *Principles for the Management of Interest Rate Risk*; Comité sobre Regulación Bancaria, BIS, Basilea.
- BIS (1998). *Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risk, Updated to April 1998*; Comité sobre Regulación Bancaria, BIS, Basilea.
- BIS (2004). *Principles for the Supervision of Interest Rate Risk*; Comité sobre Regulación Bancaria, BIS, Basilea.
- Hull, J. (2000). *Options, futures and other derivatives*. McGraw Hill, 2a edición.
- J. P. Morgan (1996). Technical Document *RiskMetrics*.
- Banco Central de Chile (2002). “Normas sobre relación de las operaciones activas y pasivas de los bancos y sociedades financieras”, en *Compendio de normas financieras*, capítulo III. B.2.
- SBC (2005). *Propuesta de una modificación a la metodología para la medición del riesgo de mercado de la SBC*.