

# El valor en riesgo en el ámbito de la supervisión bancaria

J. DAVID CABEDO SEMPER

ISMAEL MOYA CLEMENTE\*

## EL RIESGO DE MERCADO EN LAS ENTIDADES BANCARIAS

Los riesgos de cualquier actividad empresarial, en particular de la bancaria, están estrechamente ligados al tipo de operaciones y transacciones que se realizan. En este sentido, el negocio tradicional de los bancos ha sido captar depósitos para conceder préstamos a sus clientes; el beneficio de esta actividad se deriva, sobre todo, del diferencial entre los tipos de interés percibidos por los créditos concedidos y los pagados por los pasivos (margen financiero). Así, los riesgos más importantes son los asociados a la actividad crediticia: de contrapartida, liquidez, interés y operacional.

No obstante, en los últimos años, la actividad de las entidades bancarias se ha extendido a nuevas áreas, en particular las transacciones con valores negociables, en lo fundamental de carácter financiero. Estas operaciones, a diferencia de la tradicional, se suelen plantear a corto plazo y con el objetivo de obtener el máximo beneficio mediante transacciones continuas de compraventa en los mercados.

Por ello, las posiciones que se abren como consecuencia de dichas operaciones se valoran a precios de mercado. Lo anterior implica que si estos precios varían ocurre un cambio en la valoración de las posiciones que se mantengan abiertas; esto es, una pérdida o un beneficio. En consecuencia, la creciente participación de las entidades bancarias en los mercados financieros ha motivado que el riesgo de mercado, esto es, el derivado de la variación adversa en magnitudes económicas y financieras, haya pasado a ocupar un lugar de primer orden en las estrategias de los bancos.

La relevancia que han adquirido los temas relacionados con el riesgo de mercado se ha puesto de manifiesto en el interés que han suscitado tanto en el ámbito interno, las propias entidades

bancarias, como en el externo, los organismos encargados de supervisarlas.

Los graves problemas de algunas de ellas en los últimos años, ocasionados sobre todo por la operación con productos derivados, han causado que el sector tome conciencia de los efectos adversos que una inadecuada gestión del riesgo puede provocar en la cuenta de resultados. En este sentido, además de establecer estrictos controles internos, se han elaborado metodologías tendientes a cuantificar, en cada momento, la pérdida máxima que puede producirse como consecuencia del grado de exposición frente al riesgo mantenido. Un ejemplo de ello lo constituye la metodología Riskmetrics, propuesta por J.P. Morgan.

La creciente importancia que ha adquirido el riesgo de mercado en las entidades bancarias ha inducido el interés de las autoridades supervisoras por regular la materia desde un punto de vista prudencial. Esto es especialmente notorio en el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea. En 1988, en un intento por armonizar la normatividad de los países en torno de la solvencia de los bancos, el Comité emitió un documento, centrado en los riesgos relacionados con la actividad crediticia (el riesgo tradicional de la actividad bancaria).<sup>1</sup> Más tarde, en 1993 comenzó un proceso que concluyó en 1996 con la emisión de una reforma al documento previo,<sup>2</sup> en la que se incluyen las propuestas defi-

\* Universidad de Jaume I, España <cabedo@cofin.uji.es>.

1. Basle Committee on Banking Supervision, *International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards*, Banco de Pagos Internacionales, Basilea, julio de 1988.

2. Basle Committee on Banking Supervision, *Amendment to the Capital Accord to Incorporate Market Risks*, Banco de Pagos Internacionales, Basilea, enero de 1996.

nitivas sobre la regulación del riesgo de mercado<sup>3</sup> en las entidades bancarias.

En dicha regulación el Comité elige la opción de que las entidades inmovilicen una cifra mínima de recursos propios en cantidad de fondos de garantía frente al riesgo de mercado. Este monto se relaciona de manera directa con el grado de riesgo que toma cada entidad, integrado por dos componentes: las características del activo al que se refiere (riesgo específico) y la evolución general del mercado (riesgo general de mercado o, simplemente, riesgo de mercado).

El Comité, en el ámbito de su competencia (las entidades bancarias), divide el riesgo de mercado en cuatro grandes bloques: el derivado de la fluctuación de los tipos de cambio (riesgo de cambio); el de las variaciones de las tasas de interés (riesgo de interés); el de los cambios en los precios de las acciones, y el de la fluctuación de los precios de las mercaderías o *commodities*.<sup>4</sup>

A cada uno de los bloques de riesgo mencionados corresponden dos caminos para determinar el monto de recursos propios que se han de inmovilizar: un enfoque estándar o un modelo interno propio de la entidad. La principal novedad radica en esta última opción: las autoridades supervisoras de cada país podrán autorizar a los bancos para que utilicen sus modelos internos de gestión y cuantificación de riesgos en la determinación de los recursos que inmovilizarán por exposición frente al riesgo de mercado. Ante esta posibilidad cobra especial importancia el estudio de las opciones a que se puede recurrir en la determinación del monto de recursos. De este modo, el objetivo principal de eficacia —que las autoridades supervisoras impondrán para aceptar un modelo interno de cuantificación de riesgos— deberá ser compatible con el objetivo de eficiencia exigido por la entidad bancaria. Lógicamente, estos modelos internos deben cumplir requisitos, en particular la obligatoriedad del uso del valor en riesgo (*value at risk*).

El valor en riesgo (VAR) cuantifica la máxima pérdida que puede derivarse de la exposición de determinada cartera (institución, área de negocio) frente al riesgo de mercado, asociándola a un grado conocido de confianza estadística. En este sentido, el VAR de una cartera puede definirse como la máxima pérdida que, con un nivel determinado de fiabilidad estadística, puede experimentar el valor de aquélla en cierto lapso (período de tenencia o mantenimiento), durante el cual las posiciones permanecen inalteradas.

Debe destacarse también que interesa conocer esta máxima pérdida no sólo con fines de control y limitación de los riesgos, sino también desde la perspectiva de la evaluación de los rendimientos que, ligados a dicha exposición, se obtengan. Quizá

3. "El riesgo de mercado se define como el riesgo de que se produzcan pérdidas en las posiciones que mantiene una entidad, tanto dentro como fuera de balance, a raíz de los movimientos de los precios de mercado." *Ibid*.

4. La incorporación de esta última categoría obedece a la presencia y la participación crecientes de las entidades bancarias en los mercados de derivados, en los que un importante segmento corresponde a aquellos cuyo subyacente son *commodities*.

éste sea el motivo del creciente interés por el VAR en los ámbitos financieros. Así, según se señala en Mori *et al.*, aproximadamente la mitad de los intermediarios que operaban en los mercados internacionales ya utilizaban un sistema de dirección basado en el valor en riesgo, mientras que otro 30% tenía previsto instrumentarlo en un futuro inmediato.<sup>5</sup>

El objetivo de este artículo es mostrar, de modo sucinto, cuál es el procedimiento para cuantificar el valor en riesgo de una cartera, por lo que se analizan las opciones de que se dispone. El trabajo se divide en tres apartados: en el primero se estudian las etapas del proceso de cálculo que deben seguirse para determinar el valor en riesgo de una cartera; en el segundo se analizan los métodos y modelos alternativos que se pueden utilizar para cuantificar el VAR, y en el último se recogen las conclusiones.

### CÁLCULO DEL VALOR EN RIESGO DE UNA CARTERA

Como se señaló, el valor en riesgo ofrece la cuantificación de la máxima variación que puede experimentar el valor de una cartera a lo largo de un período de tenencia determinado, con un nivel de fiabilidad estadística preestablecido.<sup>6</sup> El VAR, por tanto, ofrece una base de cálculo idónea para determinar los recursos propios que se han de inmovilizar con fines precautorios. La finalidad de estos recursos no es otra que desempeñar un papel de fondo de garantía en caso de que una variación adversa de los precios o las cotizaciones redunde en rendimientos negativos de la cartera. En la medida en que el nivel de recursos se fije en función del valor en riesgo calculado, la protección que ofrecerán los fondos de garantía será suficiente (superior a la pérdida real que se genere) en un porcentaje de casos equivalente al nivel de fiabilidad estadística establecido.

Los elementos clave del concepto de valor en riesgo de una cartera son, de acuerdo con lo expuesto, el nivel de fiabilidad estadística requerido y el período de tenencia considerado. Con respecto al primero de ellos, su magnitud dependerá del grado de eficacia que se persiga con la medida del riesgo. En la práctica es frecuente utilizar niveles de confianza de 95 a 99 por ciento para el cálculo del VAR.

El período de tenencia deberá relacionarse con la facilidad con que la entidad se pueda deshacer de las posiciones que integran la cartera analizada y dependerá de la liquidez de los activos que la componen. En este sentido, el período de tenencia consiste en el lapso máximo en que la entidad puede despojarse de todas las posiciones que integran la cartera.

Una vez definido el concepto de valor en riesgo y determinada su utilidad a la hora de calcular los recursos propios que

5. A. Mori, M. Ohsawa y T. Shimizu, *Calculation of Value at Risk and Risk Return Simulation*, Institut for Monetary and Economic Studies, Bank of Japan, Discussion Papers Series, núm. 96-E-8, Tokio, 1996.

6. El valor en riesgo se ha definido para el ámbito de una cartera. No obstante, la definición puede aplicarse en otros ámbitos, como una posición concreta, un área de negocio o una entidad.

se han de inmovilizar como garantía frente a pérdidas en el valor de la cartera por exposición al riesgo de mercado. A continuación se expone el procedimiento que debe seguirse para su cálculo, que consta de las siguientes fases.

1) Identificación de los factores de riesgo. La primera etapa del proceso incluye determinar cuáles son las variables cuyo comportamiento puede influir de modo significativo en el valor de la cartera cuyo riesgo se desea cuantificar. A este respecto el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, en el ámbito de la utilización del VAR para calcular los recursos propios mínimos que ha de inmovilizar una entidad bancaria, establece los requisitos para determinar estos factores en cada una de las categorías de riesgo de mercado.

De este modo, el punto de partida para el riesgo de interés lo constituye la curva que determina la estructura temporal de los tipos de interés. Dicha curva debe dividirse en varios segmentos, de modo que cada uno recoja tasas de interés para distintos vencimientos. A cada uno de estos segmentos debe asignarse un factor de riesgo, con lo que se consideran las volatilidades según los plazos. El Comité recomienda que se tomen por lo menos seis factores de riesgo, aunque el número que se utilizará depende de la complejidad de las estrategias de gestión de carteras que efectúe la entidad.

También deben considerarse factores de riesgo específicos para el margen o *spread* entre los valores gubernamentales de renta fija y los demás de este tipo. Dichos factores deben reflejar la correlación imperfecta entre los tipos de interés correspondientes a activos libres de riesgo y el resto de tipos de interés.

Por lo que se refiere al riesgo de tipo de cambio, el Comité de Basilea establece que debe considerarse un factor de riesgo para cada una de las monedas en las que la entidad mantenga abiertas posiciones significativas.

Respecto al riesgo de variación de los precios de los títulos de renta variable, el Comité estipula que debe considerarse como mínimo un factor de riesgo que represente de modo general el riesgo de variación en el precio de las acciones (por ejemplo, uno relacionado con la evolución de un índice de mercado). No obstante, según la complejidad de las estrategias de gestión adoptadas por la entidad, podrán utilizarse modelos más precisos. Éstos requieren factores de riesgo adicionales que recojan el comportamiento de los sectores o incluso el de cada título de la cartera.

Finalmente, en lo relativo al riesgo de variación en el precio de las mercaderías o *commodities*, las normas de Basilea postulan la utilización de, al menos, un factor para cada uno de los mercados en los que se mantengan abiertas posiciones significativas.

De acuerdo con lo expuesto, los factores de riesgo que deben tenerse en cuenta para el cálculo del VAR se relacionan directamente con los precios o las cotizaciones de los instrumentos que componen las posiciones de una cartera. Los factores de riesgo estarán determinados por las variaciones de dichos precios o cotizaciones. Según la complejidad de la estrategia de gestión del riesgo, y la importancia relativa de la posición, se recurrirá a los precios individuales de los instrumentos considerados o

bien a un precio que aglutine información relativa a una categoría de instrumentos o activos, como puede ser un índice bursátil.

2) Determinación de la sensibilidad del rendimiento de la cartera frente a los factores de riesgo. En la segunda fase se debe determinar la variación que se produciría en el rendimiento de la cartera como consecuencia de una variación unitaria en cada uno de los factores de riesgo.

El cálculo de la vulnerabilidad del valor de la cartera frente a los factores de riesgo, lógicamente, estará condicionado por el modo en que éstos se hayan determinado en la etapa anterior. En este sentido, si se han seguido las recomendaciones del Comité de Basilea respecto al riesgo de interés, se habrá identificado un número mínimo de seis factores de riesgo. En esta situación habrá que determinar la sensibilidad de la cartera frente a las variaciones de cada uno de dichos factores de riesgo.

Para medir la sensibilidad será necesario simular una variación, de forma independiente, de cada factor de riesgo, o tasas de interés, considerados en cierto importe (normalmente un punto básico) y cuantificar el efecto de la fluctuación en cada uno de los instrumentos que componen la cartera. La acumulación de los efectos en los instrumentos equivale a la repercusión del factor en el valor de la cartera, esto es, la sensibilidad de esta última frente a aquél. Como resultado se obtendrá una medida de tipo vectorial, en la que cada componente del vector reflejará la sensibilidad de la cartera frente a cada factor de riesgo o tipos de interés que se hayan identificado como relevantes.

Cuando el riesgo considerado sea el de cambio, el Comité de Basilea recomienda utilizar tantos factores de riesgo como monedas constituyan la cartera analizada. Así, la sensibilidad del valor de la cartera frente a las variaciones en los factores de riesgo se registrará por el monto de divisas de cada una de las posiciones que compongan la cartera.

El razonamiento para calcular la sensibilidad del valor de una cartera formada por posiciones en activos de renta variable o en mercaderías es similar al empleado en el caso del riesgo de cambio, siempre que haya sido considerado un factor de riesgo para cada uno de los precios o cotizaciones de los componentes de la cartera. No obstante, utilizar factores de riesgo más generales que aglutinen la información de varios activos financieros o de un mercado requerirá la aplicación de metodologías econométricas que permitan calcular la relación entre el rendimiento de una cartera concreta y la variación en el factor de riesgo considerado. Los resultados obtenidos con estas técnicas estarán condicionados por la estabilidad, la extensión del período, y la relación entre el factor de riesgo y la cartera.

3) Cálculos sobre la variación máxima de los factores de riesgo. En la tercera etapa del proceso se realizan predicciones sobre las máximas variaciones esperadas en los factores de riesgo. Para este fin se pueden utilizar diversos métodos, cuyas hipótesis y funcionamiento se tratan más adelante.

4) Determinación del valor en riesgo de la cartera. Partiendo de las predicciones realizadas en la etapa anterior, y utilizando los cálculos sobre la sensibilidad de la cartera frente a los fac-

tores de riesgo, en esta cuarta etapa se efectúan predicciones de la variación máxima prevista en el valor de la cartera con determinado grado de fiabilidad estadística; esto es, sobre su valor en riesgo. En esta etapa es preciso tener en cuenta también las posibles interrelaciones de los factores de riesgo, que pueden ocasionar que su efecto conjunto en el rendimiento de la cartera sea distinto a la simple agregación de los efectos de cada uno de ellos considerados de forma aislada.

### MÉTODOS DE CÁLCULO DEL VALOR EN RIESGO

Como se expuso en la sección previa, en la tercera de las etapas del proceso de cálculo del valor en riesgo de una cartera es factible emplear diversos métodos para predecir cuáles serán las futuras variaciones máximas en los factores de riesgo. Teniendo en cuenta el efecto de dichos factores en el rendimiento de la cartera, a partir de las variaciones máximas se determina el VAR de ésta.

Este efecto puede considerarse individualmente para cada uno de los factores de riesgo definidos de acuerdo con el patrón expuesto en la sección anterior (enfoque delta), o bien puede considerarse la repercusión global de todos los factores en el rendimiento de la cartera sin distinguir la parte que corresponde a cada uno de ellos (enfoque global). Esto es, una primera clasificación de los métodos a los que se puede recurrir para calcular el valor en riesgo de una cartera es la que distingue entre los que emplean un enfoque global y los que utilizan uno de tipo delta.

En el enfoque global, el valor en riesgo de la cartera se define como la diferencia entre el valor que se espera que tenga la cartera al finalizar el período de tenencia y el valor que tiene en la actualidad (de estimación del VAR):

$$\text{VaR} = V_p - V_0 \quad [1]$$

donde  $V_p$  es el valor esperado de la cartera al finalizar el período de tenencia (según la coyuntura prevista) y  $V_0$  es el valor de la cartera en el momento actual.

Por tanto, el enfoque global se basa, primero, en la simulación de un escenario previsto para la cartera al terminar el período de tenencia. Dicho escenario se determina con base en la variación máxima prevista en el valor de la cartera, asociado al nivel de fiabilidad estadística aceptado; y segundo, en la comparación del mencionado con el valor que muestra actualmente la cartera. Es decir, en este enfoque se utiliza el efecto global de los factores de riesgo en el valor de la cartera sin considerar el efecto de cada uno de modo aislado.

En el enfoque delta, que sólo será aceptable cuando los cambios potenciales en los valores de la cartera puedan ser definidos como una función lineal de los cambios en los factores de riesgo, el VAR se calcula de modo proporcional a los cambios potenciales en dichos factores. De forma esquemática, el proceso de cálculo del valor en riesgo se puede sintetizar en la siguiente expresión:

$$\text{VaR} = S \cdot C \quad [2]$$

donde  $S$  es la sensibilidad de la cartera frente a los cambios y  $C$  denota el monto de las variaciones potenciales en los factores de riesgo; estos cambios potenciales se calculan con base en las máximas variaciones previstas en estos factores, asociadas al grado de confianza estadística convenido. El enfoque delta, por tanto, sí considera el efecto de los factores de riesgo de modo individual

En todo caso, se utilice un enfoque de tipo delta o uno de tipo global, el cálculo del valor en riesgo de la cartera requiere calcular las máximas variaciones futuras: de los factores de riesgo, en el primero de los enfoques, y de la cartera en el segundo. En ambos casos, para determinar la cuantía de esa posible futura variación, se puede recurrir a diversos métodos, que pueden clasificarse dentro en los siguientes grupos:

- de simulación histórica;
- de simulación de Montecarlo, y
- de varianzas-covarianzas

A continuación se detallan los principales aspectos de cada uno de estos grupos o categorías.

#### Métodos de simulación histórica

En los métodos de simulación histórica, la variación máxima que puede experimentar el valor de una cartera (o los factores de riesgo correspondientes) como consecuencia de la exposición frente al riesgo de mercado equivale a la máxima variación que hubiera experimentado dicha cartera (o los factores de riesgo considerados), a lo largo de un período histórico determinado, en un percentil estadístico prefijado. Este percentil, precisamente, ofrece el nivel de fiabilidad estadística del importe calculado.

El punto clave de estos métodos, en los que no se realizan hipótesis estadísticas sobre el comportamiento de los rendimientos, es la elección del período histórico que se ha de considerar. A este respecto, se pueden adoptar las dos posiciones siguientes.

1) Elegir un período histórico inmediatamente anterior al momento en el cual se efectúa el cálculo de la máxima variación. Este primera posibilidad presenta la ventaja de la objetividad que supone su utilización. Por contra, cuando se elige esta opción puede ocurrir que los cambios estructurales no se reflejen de manera adecuada con el modelo; es decir, si en el período del cual se toman las observaciones históricas hubo escasa volatilidad, la predicción sobre el valor en riesgo se basará en baja volatilidad y quizá no sea adecuada para el período sobre el que se efectúa la predicción.

2) Elegir un período histórico de características similares al presente. Esta segunda posibilidad subsana el inconveniente de no considerar de modo adecuado los cambios en la volatilidad que comportaba la primera opción. Sin embargo, tiene la desventaja de la necesaria introducción de la subjetividad al determinar qué período se adecua más al actual.

Propuestas y aplicaciones de métodos de simulación histórica se recogen en los trabajos de González Mosquera<sup>7</sup> y Hendricks,<sup>8</sup> entre otros.

### Métodos de simulación de Montecarlo

El punto de partida en los métodos de simulación de Montecarlo es la generación de series de números aleatorios que no tiene otra finalidad que la de fijar una distribución de probabilidad para la evolución futura, bien del factor o los factores de riesgo considerados, bien de la propia cartera. Es habitual que se utilicen números aleatorios normalmente distribuidos,<sup>9</sup> en los que los parámetros de la distribución (media y desviación típica) se obtienen con base en datos históricos.

La variación máxima en el valor de la cartera (o en el factor de riesgo correspondiente) se calcula a partir de la distribución estadística de los números aleatorios generados. Dicha variación máxima es la cantidad asociada, en dicha distribución, al percentil estadístico correspondiente al nivel de confianza estadística previsto.

Aplicaciones concretas del método de Montecarlo para el cálculo del VAR se pueden encontrar en los trabajos de Beder<sup>10</sup> y Singh,<sup>11</sup> entre otros.

### Métodos de varianzas-covarianzas

En los métodos de varianzas-covarianzas se supone que el valor en riesgo es proporcional a la desviación típica del rendimiento de la cartera, calculada conforme a información histórica. Para calcular el valor en riesgo en determinado momento  $t$  ( $VAR_t$ ) se recurre a la siguiente expresión:

$$VaR_t = \phi \cdot \sqrt{\tau \cdot \sigma_{pt}} \quad [3]$$

donde  $f$  es un parámetro que depende del grado de confianza estadística que se desee lograr con la medida,<sup>12</sup>  $s_{pt}$  es la desvia-

7. L.M. González Mosquera, "Medición y supervisión del riesgo de tipo de cambio", *Boletín Económico del Banco de España*, junio de 1994, pp. 47-56.

8. D. Hendricks, "Evaluation of Value at Risk Models Using Historical Data", *Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review*, abril de 1996, pp. 39-69.

9. Otras distribuciones alternativas a la normal son igualmente factibles.

10. T.S. Beder, "VAR: Seductive but Dangerous", *Financial Analysts Journal*, vol. 51, núm. 5, septiembre-octubre de 1995, pp. 12-24.

11. M.K. Singh, "Value at Risk Using Principal Components Analysis", *Journal of Portfolio Management*, vol. 24, núm. 1, otoño de 1997, pp. 101-112.

12. Si se supone un comportamiento normal, el parámetro  $f$  será el que se obtenga de la función de densidad de dicha distribución para el nivel de fiabilidad estadística predeterminado.

ción típica del rendimiento de la cartera prevista para determinado período de tenencia, y  $t$  es el período de tenencia o mantenimiento relevante en la situación concreta. Este último parámetro será igual a la unidad siempre que coincidan el período de tenencia para el cual se desee calcular el VAR y el utilizado para encontrar la desviación típica de la cartera.

El punto clave, por tanto, en los métodos de varianzas-covarianzas es el procedimiento para determinar la varianza (desviación típica) de la cartera. A este respecto, la desviación típica de la cartera se puede calcular, bien de manera directa (enfoque global), bien con base en las desviaciones típicas y correlaciones entre los factores de riesgo (enfoque delta). En este último se supone que cada factor de riesgo varía en un importe equivalente a su desviación típica estimada. Teniendo en cuenta esto, los cambios potenciales en el valor de la cartera se obtienen utilizando las sensibilidades de la cartera frente a cada uno de los factores de riesgo, de acuerdo con las fases del proceso de cálculo del VAR expuestas en el apartado anterior. Asimismo, cuando se trabaja con varios factores de riesgo, se debe tener en cuenta la correlación entre ellos. Es decir, la varianza (desviación típica) de la cartera se calcula, en el enfoque delta, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\sigma_{tp}^2 = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 \sigma_{it}^2 + 2 \sum \sum \rho_{ijt} \delta_i \delta_j \sigma_{it} \sigma_{jt} \quad [4]$$

donde  $d_i$  es la sensibilidad del rendimiento de la cartera frente al factor de riesgo  $i$ -ésimo;  $s_{it}$  es la volatilidad de dicho factor de riesgo  $i$ -ésimo (se entiende que medida a través de su desviación típica), y  $r_{ijt}$  es el coeficiente de correlación entre los factores de riesgo  $i$ -ésimo y  $j$ -ésimo.

Se comprueba fácilmente que la expresión [4] es el desarrollo del producto matricial:

$$\sigma_{tp}^2 = D' C D \quad [5]$$

donde  $D$  es el vector que recoge las sensibilidades del rendimiento de la cartera frente a los distintos factores de riesgo:

$$D = (\delta_1 \quad \delta_2 \quad \dots \quad \delta_n) \quad [6]$$

y  $C$  es la matriz de varianzas covarianzas entre dichos factores:

$$C = \begin{bmatrix} \sigma_{1t}^2 & \rho_{12t} \sigma_{1t} \sigma_{2t} & K & \rho_{1n} \sigma_{1t} \sigma_{nt} \\ \rho_{21t} \sigma_{2t} \sigma_{1t} & \sigma_{2t}^2 & K & \rho_{2nt} \sigma_{2t} \sigma_{nt} \\ K & K & K & K \\ \rho_{n1t} \sigma_{nt} \sigma_{1t} & \rho_{n2t} \sigma_{nt} \sigma_{2t} & K & \sigma_{nt}^2 \end{bmatrix} \quad [7]$$

En todo caso, con independencia de cuál sea la opción elegida para determinar el VAR (global o delta), en el enfoque de varianzas-covarianzas es necesario calcular una serie de valo-

res para las varianzas (tanto en un enfoque de tipo delta como en uno global) y covarianzas (sólo en el enfoque delta). Estos valores se pueden obtener, bien basándose en información histórica, bien en función de la volatilidad implícita en el precio de las opciones. Esta última alternativa adolece de dos inconvenientes:

- la volatilidad obtenida dependerá del método utilizado para valorar las opciones, y por tanto, estará condicionada por las hipótesis que lleve implícito el empleo de dicho método, y
- el ámbito de aplicación será limitado; la volatilidad implícita sólo se podrá obtener para los activos cuyo mercado de opciones proporcione precios de manera frecuente.

Esta segunda limitación ocasiona que la volatilidad implícita no pueda ser aplicada directamente para calcular la que tendrá el rendimiento de una cartera (enfoque global): en la medida en que no hay un mercado de opciones para cada una de las carteras que se pueden formar con distintos activos financieros, en general no podrá determinarse la volatilidad implícita de dichas carteras a partir del precio de las opciones. No obstante, sí es posible determinarla a partir de la variabilidad de los componentes de la cartera. Ahora bien, ello en primer lugar exige que cada uno de los activos que forman parte de dicha cartera tenga un mercado en el que se negocien opciones sobre él, de modo que a partir del precio de estos derivados se pueda obtener una previsión de su volatilidad futura. En segundo lugar, el cálculo de la volatilidad de una cartera a partir de la de sus componentes plantea un problema adicional: la simple agregación de la volatilidad implícita de dichos componentes, en general, proporciona una sobrestimación de la de la cartera, pues no tiene en cuenta las relaciones entre los activos que la constituyen. En este sentido, volatilidades elevadas para determinados activos pueden compensarse con el comportamiento de otros activos de la cartera, de lo cual se puede derivar que la volatilidad total sea menor que el resultado de la simple agregación. Para evaluar estas relaciones entre los activos, en muchas ocasiones sólo es posible recurrir a información de tipo histórico.

Los inconvenientes anteriores tal vez sean la causa de que la mayoría de los gestores de riesgos base sus modelos en información histórica. Cuando se utiliza este tipo de información para calcular valores futuros de las varianzas y covarianzas, en lo fundamental hay cuatro posiciones o hipótesis de partida que dan lugar a sendas metodologías aplicables para elaborar predicciones sobre la varianza de una variable basándose en información histórica.<sup>13</sup>

1) Suponer que la varianza permanece constante en el tiempo. De acuerdo con este primer método, la expresión a utilizar para el cálculo de la desviación típica (varianza) es la siguiente:

13. Aplicaciones de estas metodologías se pueden encontrar en los trabajos de D. Hendricks, *op. cit.*; A. Mori *et al.*, *op. cit.*; G.P. Hopper, "Value at Risk: a New Methodology for Measuring Portfolio Risk", *Business Review. Federal Reserve Bank of Philadelphia*, julio-agosto de 1996, pp. 19-30, y G.A. Vasilellis y N.Meade, "Forecasting Volatility for Portfolio Selection", *Journal of Business Finance and Accounting*, vol. 23, núm. 1, enero de 1996, pp. 125-143.

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{k-1} \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} (x_{is} - \mu_i)^2} \quad [8]$$

donde  $s_i$  es el valor de la desviación típica del factor de riesgo *i-ésimo*<sup>14</sup> calculada al inicio del período *t* con base en información histórica;  $x_{is}$  representa el valor del factor de riesgo (variación en el precio de mercado) en el momento *s*, anterior en el tiempo al momento en que se efectúa el cálculo de la varianza; *k* es la extensión del período histórico considerado para el cálculo de la desviación típica; y  $m_i$  es el valor promedio del factor de riesgo *i-ésimo*, calculado en el momento *t* con base en información histórica.

$$\mu_i = \frac{1}{k} \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} x_{is} \quad [9]$$

Por otro lado, para el cálculo de la covarianza entre dos factores de riesgo se utiliza la siguiente expresión:

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} (x_{is} - \mu_i) \cdot (x_{js} - \mu_j) \quad [10]$$

donde  $\sigma_{ij}$  es la covarianza entre los factores de riesgo *i-ésimo* y *j-ésimo*; y el resto de parámetros tiene un significado similar al expuesto en las expresiones anteriores.

Teniendo en cuenta que en esta primera metodología del enfoque de varianzas-covarianzas se supone, como hipótesis, que las varianzas y covarianzas de los factores permanecen constantes en el tiempo, las predicciones sobre los valores futuros de ellas se derivarán directamente de la aplicación de las expresiones anteriores. Estas predicciones no serán sino un valor constante, modificado con la periodicidad con la que se recalculen los valores de las varianzas y covarianzas.

2) Suponer que dicha varianza varía a lo largo del tiempo, considerando que toda la información histórica es igualmente relevante a la hora de predecir cual será el comportamiento futuro de la varianza: medias móviles igualmente ponderadas. Esto es, las predicciones realizadas constituyen una media móvil, para la que se utiliza como fórmula de cálculo la expresión:

$$\sigma_{it} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} (x_{is} - \mu_{it})^2} \quad [11]$$

donde  $\sigma_{it}$  es el valor de la desviación típica del factor de riesgo *i-ésimo* en el momento *t*, calculada con base en información histórica;  $x_{is}$  representa el valor del factor en el momento *s*; y  $\mu_{it}$  es el valor promedio del factor de riesgo considerado, calculado en el momento *t* con base en información histórica:

14. Las variables utilizadas son los factores de riesgo, pues sobre las mismas se definen tanto varianzas como covarianzas. En todo caso

$$\mu_{it} = \frac{1}{k} \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} x_{is} \quad [12]$$

Según se puede notar, las expresiones [11] y [12] son muy similares a las [8] y [9]. La única diferencia radica en que en aquéllas se supone que la media y la varianza varían a lo largo del tiempo (por ello van referidas al instante  $t$ ), mientras que en las dos últimas se considera que son constantes.

Por otro lado, si se plantea, como es lógico, que no sólo las varianzas varían a lo largo del tiempo, sino que también lo hacen las covarianzas, la expresión para calcular el valor futuro de éstas es:

$$\sigma_{ijt} = \frac{1}{k-1} \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} (x_{ist} - \mu_{it}) \cdot (x_{jst} - \mu_{jt}) \quad [13]$$

donde  $\sigma_{ijt}$  es la covarianza entre los factores de riesgo  $i$ -ésimo y  $j$ -ésimo, para el momento  $t$ , calculada con base en información histórica, y el resto de parámetros tiene un significado similar al descrito para expresiones anteriores.

Las expresiones [11] y [13] se utilizan para elaborar predicciones, en el instante  $t$ , sobre valores futuros de varianza y covarianza a partir de la información disponible en el instante inmediatamente anterior ( $t-1$ ). Teniendo esto en cuenta, queda claro que las sucesivas predicciones que se realicen de dichos valores definen una media móvil en la que se otorga idéntica ponderación a todas las observaciones históricas utilizadas en su cálculo,  $(1/k-1)$ , sin importar el instante temporal al que correspondan. Por dicho motivo, esta metodología se ha denominado enfoque o método de las medias móviles igualmente ponderadas.

3) Partir de que la varianza no permanece constante a lo largo del tiempo y que la información histórica es más relevante cuanto más próxima está al momento en el que se desea realizar la predicción de la varianza futura: medias móviles exponencialmente ponderadas. La expresión para calcular la desviación típica (varianza) es la siguiente:

$$\sigma_{it} = \sqrt{(1-\lambda) \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} \lambda^{t-s-1} \cdot (x_{is} - \mu_{it})^2} \quad [14]$$

donde se emplean variables y parámetros que ya se definieron antes, a excepción de  $\lambda$ , denominado factor de importancia decreciente (*decay factor*); este parámetro determina el ritmo al cual disminuye la importancia de las observaciones más alejadas en el tiempo respecto del momento en el cual se está realizando la predicción.

El empleo de la expresión [14] para elaborar predicciones sobre el valor de la varianza de los factores supone, en realidad,

las expresiones utilizadas para el cálculo de las varianzas de dichos factores son directamente aplicables en el cálculo de la varianza de la cartera (enfoque global).

calcular dichas predicciones como medias ponderadas de observaciones históricas. En concreto, las ponderaciones van decreciendo conforme la observación correspondiente se aleja más en el tiempo respecto al instante en el cual se calculan dichas predicciones. Así, la ponderación que, para la predicción realizada en el momento  $t$ , tiene la observación histórica  $s$ -ésima, se deriva de la expresión:

$$(1-\lambda) \cdot \lambda^{t-s-1} \quad [15]$$

Como el valor del factor de importancia decreciente ( $\lambda$ ) está comprendido entre cero y uno, cuanto mayor sea  $s$ , esto es, cuanto más alejada se encuentre en el tiempo la observación del factor de riesgo considerado, menor será la ponderación que se le otorgue al efectuar las predicciones sobre el valor futuro de la varianza.

Se demuestra fácilmente que una fórmula equivalente a la expresión [14] para la predicción de valores futuros de la desviación típica (varianza) conforme al enfoque de las medias móviles exponencialmente ponderadas es:

$$\sigma_{it} \equiv \sqrt{\lambda \cdot \sigma_{it-1}^2 + (1-\lambda) \cdot (x_{it} - \mu_{it})^2} \quad [16]$$

en la que el significado de cada una de las variables es idéntico al utilizado en expresiones anteriores. De acuerdo con [16] la predicción de la varianza (desviación típica) para el momento  $t$  se puede realizar a partir de una combinación lineal entre los valores de dicha varianza en el instante inmediatamente anterior y el cuadrado de la diferencia entre el valor del factor de riesgo y su valor esperado (promedio) en dicho instante.

Por otro lado, en el caso de las covarianzas, la realización de predicciones futuras mediante un modelo de medias móviles exponencialmente ponderadas requerirá de la expresión [17]:

$$\sigma_{ijt} = (1-\lambda) \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} \lambda^{t-s-1} \cdot (x_{is} - \mu_{it}) \cdot (x_{js} - \mu_{jt}) \quad [17]$$

El significado de las variables y los parámetros de esta ecuación es idéntico al de expresiones anteriores.

Por un motivo idéntico al que se indicó cuando se analizó la modelización de la varianza conforme este enfoque, la utilización de la expresión [17] supone que las predicciones de la covarianza dimanen de un promedio obtenido con datos históricos. En el cálculo de dicho promedio la importancia relativa de las observaciones históricas consideradas es decreciente, conforme éstas se alejan más en el tiempo respecto del instante en el que se realiza la predicción.

Asimismo, y siguiendo un camino similar al utilizado en el caso de la varianza, para las predicciones sobre la covarianza se puede utilizar la expresión [18] equivalente a la [17]:

$$\sigma_{ijt} \equiv \lambda \cdot \sigma_{ijt-1} + (1-\lambda) \cdot (x_{it} - \mu_{it}) \cdot (x_{jt} - \mu_{jt}) \quad [18]$$

Esto es, el cálculo de las covarianzas mediante un método de medias móviles exponencialmente ponderadas equivale a obtenerlas mediante una combinación lineal del producto de los errores de predicción en el instante inmediatamente anterior y los valores de la covarianza para dicho instante.

4) Suponer que la varianza no permanece constante a lo largo del tiempo, considerando que su evolución puede plasmarse mediante un modelo de heteroscedasticidad condicional autorregresiva (ARCH). La expresión general a utilizar para la determinación de la varianza es:

$$\sigma_{it}^2 = \alpha_0 + \sum_{j=1}^q \alpha_j \varepsilon_{it-j}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{it-j}^2 \quad [19]$$

donde  $\alpha_k \beta_l$  ( $k=0, \dots, q; l=1, \dots, p$ ) son los parámetros del modelo;  $\varepsilon_{it}$  son los errores de predicción cometidos cuando se utiliza un modelo econométrico específico (normalmente de la familia ARIMA) para realizar estimaciones de los valores de los factores de riesgo;  $p$  y  $q$  los retardos considerados, respectivamente, para los valores de los errores de estimación al cuadrado y varianza, y el resto de variables tiene un sentido análogo al de expresiones anteriores.<sup>15</sup>

En estos modelos, como se puede observar en la expresión [19], los cálculos sobre el valor futuro de la varianza de los factores de riesgo se realizan con una combinación lineal de valores retardados de errores de predicción al cuadrado, y de valores retardados de la propia varianza. La estimación de los parámetros de dicha combinación lineal se efectúa mediante la aplicación de técnicas de optimización (habitualmente máxima verosimilitud).

Para que la aplicación de los modelos ARCH o GARCH sea factible, se tiene que dar una serie de condiciones, referidas a los errores de predicción. Por tanto, si los factores de riesgo (enfoque delta) o los rendimientos de la cartera (enfoque global) cumplen las condiciones necesarias para plasmarse en un modelo mediante un esquema ARCH o GARCH, será factible recurrir a este tipo de modelos como otra opción a la hora de realizar predicciones sobre la varianza futura.

En todo caso, el principal inconveniente de los modelos de heteroscedasticidad condicional autorregresiva, en lo relativo a su uso para calcular el VAR, radica en la dificultad que entraña cuando se desean obtener las covarianzas. Para ello es necesario recurrir a los modelos ARCH multivariantes, los cuales requieren una serie de hipótesis simplificadoras sobre los parámetros que se desea estimar para que el cálculo de éstos resulte factible. Por tanto, y en el marco de cálculo del VAR, el uso de los modelos ARCH resultará más sencilla cuando se adopte un enfoque de tipo global.<sup>16</sup>

15. La ecuación [7] corresponde al planteamiento de un modelo ARCH generalizado (GARCH), introducido por T. Bollerslev, "Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity", *Journal of Econometrics*, vol. 31, 1986, pp. 307-327.

16. No obstante, una posible opción para aplicar los modelos ARCH en un enfoque delta la constituye la metodología ARCH factorial. So-

En resumen de este tercer apartado del trabajo, debe destacarse que para calcular el valor en riesgo de una cartera se pueden elegir básicamente dos opciones. En primer lugar, utilizar un único factor de riesgo (enfoque global) definido por el rendimiento de la propia cartera. O, alternativamente, utilizar diversos factores de riesgo (enfoque delta) definidos por las variables con un efecto potencial significativo en el valor de la cartera. En todo caso, más allá de cuál sea el enfoque elegido, el cálculo del VAR requiere que se efectúen predicciones. Para este fin, es pertinente recurrir a diversas metodologías (simulación histórica, de Montecarlo y modelos de varianzas-covarianzas). La decisión de qué metodología utilizar recaerá en el gestor de riesgos de la entidad bancaria. Conviene emplear la que proporcione una cobertura satisfactoria y que al mismo tiempo requiera, en promedio, menos recursos para inmovilizar. En todo caso, será el gestor de riesgos quien determine, luego de evaluar las opciones, qué modelo se adecua mejor a las características de las carteras que maneja.

## CONCLUSIONES

La creciente importancia que ha adquirido el riesgo de mercado, tanto en el seno de las propias entidades bancarias como en los organismos encargados de supervisarlas, ha inducido a que se elabore una serie de metodologías destinadas a cuantificar la pérdida máxima que puede generarse en cada momento en una institución, área de negocio o cartera como consecuencia de la exposición frente al riesgo. En este marco el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea aprueba que los bancos utilicen sus modelos internos de gestión y cuantificación de riesgos para determinar el monto de recursos que inmovilizarán por su exposición frente al riesgo de mercado. Estos modelos, de acuerdo con el Comité, deberán cumplir una serie de requisitos, entre los que destaca la obligación de usar el valor en riesgo.

El valor en riesgo de una cartera es la máxima pérdida que, con un nivel de fiabilidad estadística determinado, puede experimentar el valor de la misma durante un período temporal concreto (período de tenencia o mantenimiento), en el cual las posiciones permanecen inalteradas. El procedimiento de cálculo consta de cuatro fases: identificación de los factores de riesgo, determinación de la sensibilidad del rendimiento de la cartera frente a los factores de riesgo, cálculos de la variación máxima de los factores de riesgo y, finalmente, determinación del VAR de la cartera.

No hay un método único para calcular el VAR. Las distintas opciones posibles pueden incluirse dentro de dos enfoques: delta y global. En el primero se considera de modo individual el efecto de los factores de riesgo en la cartera, mientras que en el segundo se considera el de todos los factores en el rendimiento de la cartera sin distinguir la parte que corresponde a cada uno de ellos.

bre el tema véase J.D. Cabedo e I. Moya, "ARCH Factor: A New Methodology to Estimate Value at Risk", *24th Euro Working Group on Financial Modelling Proceedings*, Valencia, abril de 1999, pp. 203-225.





*El valor en riesgo de una cartera es la máxima pérdida que, con un nivel de fiabilidad estadística determinado, puede experimentar el valor de la misma durante un período temporal concreto (período de tenencia o mantenimiento), en el cual las posiciones permanecen inalteradas. El procedimiento de cálculo consta de cuatro fases: identificación de los factores de riesgo, determinación de la sensibilidad del rendimiento de la cartera frente a los factores de riesgo, cálculos de la variación máxima de los factores de riesgo y, finalmente, determinación del VAR de la cartera*

---

En todo caso, sea cual sea el enfoque, para obtener el VAR es preciso realizar predicciones sobre variaciones máximas, bien de los factores de riesgo considerados en lo individual, bien de dichos factores en conjunto, cuando se toma el efecto de todos ellos en el valor de la cartera. Para estas predicciones pueden usarse distintos métodos, los cuales se aglutinan en tres grupos: de simulación histórica, de simulación de Montecarlo y de varianzas-covarianzas.

En los métodos de simulación histórica el VAR se calcula como la variación máxima que puede experimentar una cartera a lo largo de un período histórico determinado, en un percentil estadístico prefijado. En los métodos de simulación de Montecarlo el VAR se calcula a partir de la distribución estadística de números generados de manera aleatoria; por tanto, constituiría la cantidad asociada en dicha distribución al percentil estadístico correspondiente al nivel de confianza estadística asumido.

Por su parte, en los métodos de varianzas-covarianzas se supone que el VAR es proporcional a la desviación típica del rendi-

miento de la cartera, calculada a partir de información histórica. Cuando se utiliza información histórica para calcular los valores futuros de varianzas y covarianzas, hay cuatro hipótesis de partida que dan lugar a sendas metodologías: suponer que la varianza permanece constante en el tiempo; que dicha varianza cambia a lo largo del tiempo, considerando que toda la información histórica es igualmente relevante; que la varianza no permanece constante a lo largo del tiempo y que la información histórica es más relevante cuanto más próxima es al momento en el que se desea realizar la predicción, y que la varianza no permanece constante en el tiempo, considerando que su evolución puede estudiarse mediante un modelo de heteroscedasticidad condicional autorregresiva.

Finalmente debe señalarse que la decisión referente a la metodología para el cálculo del valor en riesgo en una entidad compete al gestor de riesgos. Éste será quien, tras evaluar las posibilidades, determine el modelo que mejor se adecua a las características de las carteras de su responsabilidad. 