

## EL VALOR EN RIESGO DE UNA CARTERA: UNA APROXIMACIÓN DE SIMULACIÓN HISTÓRICA

Cabedo Semper, J.D.

Universidad Jaume I,

Moya Clemente, I.

Universidad Politécnica de Valencia

### RESUMEN

El Valor en Riesgo (VaR) es un concepto de referencia obligatoria cuando se plantea la cuantificación del riesgo de mercado. De este modo, instituciones internacionales, como el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, e importantes empresas del ámbito financiero, como J.P. Morgan, consideran que el VaR es una pieza clave a la hora de medir el riesgo de mercado. En el presente trabajo se propone una nueva metodología para la estimación del VaR de una cartera: Simulación Histórica con Predicciones Autorregresivas (S.H.P.A.). Esta metodología se aplica a un conjunto de carteras expuestas frente al riesgo de cambio, comprobándose que el índice de cobertura proporcionado por la medida calculada está en concordancia con el nivel de fiabilidad estadística preestablecido para la misma. Adicionalmente, se ha comparado dicho índice de cobertura con el proporcionado por el método *Riskmetrics*, aplicado sobre el mismo conjunto de carteras, obteniéndose mejores resultados en el primer caso.

**PALABRAS CLAVE:** Valor en Riesgo, Riesgo de cambio, Riesgo de mercado.

### ABSTRACT

Value at Risk (VaR) has become a compulsory reference point when measuring market risk. International institutions, like the Basle Committee on Banking Supervision, and important financial firms, like J.P. Morgan, consider VaR as a key topic when market risk must be quantified. In this paper we put forward a new method for quantifying the portfolio VaR: the historical simulation with autoregressive forecasts (SHPA) method. We apply this on a set of foreign exchange exposed portfolios, and we obtain a hedge index in accordance with the assumed likelihood level. Furthermore, by comparing these results with those obtained when *Rismetrics* is used, we show how the proposed method provides better results, even when stress tests are implemented.

**KEYWORDS:** Value at risk, Foreign exchange risk, Market risk.

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la cuantía máxima de la pérdida que puede derivarse como consecuencia de la exposición de una determinada institución frente al riesgo de mercado<sup>1</sup>, interesa tanto desde el punto de vista del control y limitación de los riesgos, como desde la perspectiva de evaluación de los rendimientos que, ligados a dicha exposición, se obtengan.

El Valor en Riesgo (VaR) aporta una cuantificación para la mencionada pérdida, asociándola a un grado de confianza estadística conocido. En este sentido, el VaR de una cartera puede ser definido como la máxima pérdida que, con un nivel de fiabilidad estadística determinado, puede experimentar el valor de la misma a lo largo de un período temporal concreto (período de tenencia o mantenimiento), durante el cual las posiciones permanecen inalteradas.

La utilización del Valor en Riesgo se ha generalizado en el ámbito de los mercados financieros en los últimos años. En este sentido, según señalaban Mori et al. (1996), aproximadamente la mitad de los *dealers* que operaban en los mercados internacionales ya estaban utili-

zando un sistema de dirección basado en el Valor en Riesgo, mientras que un 30% adicional tenía previsto implementarlo en un futuro inmediato. Por otro lado, es destacable que el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea haya adoptado como criterio la utilización obligatoria del VaR, para que un modelo de cuantificación de recursos propios necesarios por exposición frente al riesgo de mercado, pueda ser considerado como aceptable. Asimismo, debe señalarse que, en los últimos años, determinadas entidades privadas han desarrollado sus propias metodologías, de cara a la determinación del VaR. Este es el caso del método *Riskmetrics*, diseñado por J. P. Morgan y que se encuentra a disposición de todos los usuarios que deseen emplearlo, con una clara voluntad de generalizar el uso del Valor en Riesgo.

En el anterior contexto, el presente estudio tiene como objetivo la propuesta de una nueva metodología para el cálculo del VaR: el método de Simulación Histórica con Predicciones Autorregresivas (S.H.P.A.). Con el anterior fin, el resto del trabajo se ha estructurado en cinco apartados: en el primero se estudian las distintas alternativas metodológicas que han sido propuestas en la literatura para el cálculo del Valor en Riesgo. En el segundo se detallan los fundamentos teóricos y el esquema a seguir para la aplicación del método S.H.P.A. En el tercer apartado se ha aplicado la metodología propuesta sobre un conjunto de carteras expuestas frente a una de las categorías del riesgo de mercado: el riesgo de cambio. Dentro del cuarto de los epígrafes se han analizado los resultados obtenidos con dicha aplicación, comparándolos con los proporcionados por un método alternativo (*Riskmetrics*). Y se ha reservado el último de los apartados para las conclusiones.

## **CÁLCULO DEL VALOR EN RIESGO: PROPUESTAS METODOLÓGICAS RECOGIDAS EN LA LITERATURA**

De acuerdo con el trabajo de Mori et al. (1996), para la determinación del Valor en Riesgo deben seguirse 3 etapas:

1. Identificación e introducción en el modelo de la información sobre cambios en el entorno, que afecten al valor de la cartera. Para este primer paso es necesario identificar los factores de riesgo, esto es, aquellas variables que puedan afectar al mencionado valor. Dependiendo del grado de complejidad de la estrategia de gestión del riesgo, y de la importancia relativa de la posición mantenida, se utilizarán como factores de riesgo los rendimientos concretos de los activos que conforman la cartera (tipos de interés, tipos de cambio, etc.), o bien se recurrirá a un precio que aglutine información relativa a una categoría de instrumentos o activos, como puede ser el caso de un índice bursátil.
2. Medición de la sensibilidad de la cartera: En esta segunda etapa se determina en que medida cambia el valor de la cartera ante una variación unitaria en cada uno de los factores de riesgo identificados en la fase anterior.
3. Estimación de la pérdida máxima que puede experimentar la cartera, con un determinado nivel de fiabilidad estadística, ante los cambios en el entorno esperados. Esta estimación dependerá de cual haya sido el método elegido para la predicción de la volatilidad futura y de las hipótesis estadísticas que hayan sido realizadas al respecto.

En relación con esta última etapa, Kritzman (1991) divide las técnicas para la estimación de la volatilidad futura de una cartera en dos grupos: las basadas en información histórica y las

que utilizan la volatilidad implícita en el precio de determinados activos, sobre todo, opciones. En el primer grupo de técnicas, la volatilidad futura se estima en base a datos históricos, midiéndose la misma mediante la desviación típica. Como alternativa a este enfoque, la volatilidad futura se puede determinar a partir de la implícita en el precio de las opciones, ya que ésta, presumiblemente, refleja toda la información relevante que afecta la volatilidad del activo.

Esta división entre volatilidad implícita e histórica, que se puede encontrar en diversos trabajos, como es el caso del de Vasilellis y Meade (1996), plantea las dos primeras alternativas a la hora de realizar predicciones sobre los valores futuros de la volatilidad de una cartera. No obstante, la utilización de la volatilidad implícita<sup>2</sup> adolece de dos inconvenientes:

- En primer lugar, la volatilidad obtenida dependerá del método utilizado para valorar las opciones, y por tanto, estará condicionada por las hipótesis que lleve implícitas el empleo de dicho método.
- En segundo lugar, el ámbito de aplicación será limitado. La volatilidad implícita sólo se podrá obtener para aquellos activos para los que exista un mercado de opciones que proporcione continuamente precios.

Esta segunda limitación motiva que la volatilidad implícita no pueda ser aplicada directamente para la estimación de la volatilidad del rendimiento de una cartera: en la medida en que no existe 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 en dichas carteras a partir del precio de las opciones.

No obstante, sí que 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 el mismo, de modo que a partir del precio de estos derivados se pueda obtener una estimación de su volatilidad futura. Y en segundo lugar, la estimación 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 existentes entre los activos que forman parte de la misma. En este sentido, volatilidades elevadas para determinados activos, pueden verse compensadas con el comportamiento de otros activos dentro de la cartera, lo cual puede provocar que la volatilidad total sea menor que el resultado de la simple agregación. Para la estimación de estas relaciones entre los activos, en muchas ocasiones sólo es posible recurrir a información de tipo histórico. Probablemente ésta sea la causa de que, de acuerdo con Hendricks (1996), la mayor parte de gestores de riesgos basan sus modelos en información histórica.

En relación con la utilización de información histórica para la realización de predicciones sobre la volatilidad futura de una cartera, Mori et al. (1996) clasifican los métodos existentes en 3 categorías o grupos:

- Métodos de simulación histórica, en los que, en primer lugar, se deriva una distribución empírica de las variaciones experimentadas por el valor de una cartera durante un determinado período de tenencia, anterior al momento de cálculo. El Valor en Riesgo se determina como la máxima pérdida de dicha distribución, asociada a un percentil prefijado.

- Métodos de simulación de Montecarlo, en los que se parte de la generación de series de variables pseudo-aleatorias, asumiéndose que siguen la distribución real de la población, y considerando las varianzas y covarianzas estimadas en base a información histórica. El VaR se calcula como la máxima pérdida, asociada a un percentil prefijado, que se puede derivar de los valores de estas variables pseudo-aleatorias.
- Métodos matriciales o de varianzas-covarianzas, en los que se asume que cada factor de riesgo varía en un importe equivalente a su desviación típica, obtenida en base a información histórica. El Valor en Riesgo se estima de modo proporcional a dicha variación.

En una línea similar a la descrita, Hendricks (1996) señala que los métodos que más habitualmente son utilizados por los gestores de riesgos se pueden incluir dentro de lo que se han denominado métodos de simulación histórica y métodos matriciales o de varianzas-covarianzas.

Por otro lado, Jackson (1995) analiza dos enfoques utilizables para la estimación del VaR de una cartera: varianzas-covarianzas y simulación histórica. Beder (1995), si bien no realiza una clasificación de los distintos métodos utilizables para la estimación del VaR, en su trabajo emplea dos de ellos: simulación histórica y método de Montecarlo.

Partiendo de un planteamiento algo distinto, Longerstae (1996), establece que para la determinación del Valor en Riesgo es necesario realizar simulaciones sobre los cambios en el valor de la cartera como consecuencia de posibles variaciones en los precios o cotizaciones de los factores de riesgo. Según el autor, las simulaciones sobre el comportamiento futuro se pueden realizar mediante el método delta o bien mediante el método de valoración completa. Para la implementación de este último método se propone la generación de escenarios, bien directamente a partir de situaciones pasadas, o bien en base a simulaciones de Montecarlo.

En esta misma línea, Lamothe y Leber (1996) realizan una distinción entre los dos grandes enfoques que se pueden utilizar para determinar el riesgo de una cartera: El enfoque global y el enfoque de tipo delta. Este último será aceptable cuando los cambios potenciales en los valores de la cartera puedan ser definidos mediante una aproximación lineal de los cambios en los precios, y su formulación se puede sintetizar en la siguiente ecuación (1):

$$R = SCE - CPE \quad (1)$$

donde  $R$  representa una medida del riesgo,  $SCE$  representa la sensibilidad de la cartera frente a cambios en el entorno, y  $CPE$  denota los cambios potenciales en dicho entorno.

Por otro lado, el enfoque global puede ser definido en base a la ecuación (2):

$$R = VCP - VCA \quad (2)$$

donde  $VCP$  representa el valor de la cartera según la coyuntura prevista y  $VCA$  dicho valor de la cartera según la coyuntura actual.

En el anterior contexto, los autores hablan de 4 métodos que pueden ser utilizados a la hora de definir el movimiento adverso del mercado que determine el riesgo de la posición, en definitiva, que determine el Valor en Riesgo:

- El método de simulación de escenarios, que supone la formulación de posibles escenarios futuros, en la que siempre será necesario introducir un componente subjetivo.
- El método del contraste histórico, similar a lo que otros autores denominan simulación histórica.
- El método del contraste histórico estructurado, que pasa por la aplicación del método del contraste histórico a un período pasado que, se considera, tiene características similares a las del momento en el que se aplica el método.
- El método de Montecarlo estructurado.

Dentro de cada uno de los anteriores métodos se considera factible la aplicación del enfoque delta y del enfoque global.

En resumen, los métodos propuestos y utilizados en los trabajos a los que se ha hecho alusión, permiten distinguir dos grandes enfoques para la estimación de la volatilidad futura del rendimiento de una cartera, y por tanto, para la estimación de su Valor en Riesgo:

1. Estimación directa, a partir de valores pasados del rendimiento de dicha cartera: enfoque global.
2. Estimación a partir de la volatilidad histórica de los factores de riesgo que influyen sobre la variabilidad de los componentes de la cartera: enfoque delta.

Dentro de ambos enfoques los métodos utilizables pueden agruparse en 3 categorías:

- Métodos de simulación histórica. En éstos, la variación máxima que puede experimentar el valor de una cartera como consecuencia de la exposición frente al riesgo de mercado se calcula como la máxima variación que hubiera experimentado dicha cartera (o los factores de riesgo considerados), a lo largo de un período histórico determinado, dentro de un percentil 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, lo constituye la elección del período histórico a considerar. Propuestas y aplicaciones de métodos de simulación histórica aparecen recogidas, entre otros, en los trabajos de González Mosquera (1994) y de Hendricks (1996).
- Métodos de simulación de Montecarlo. En ellos se parte de la generación de series de números aleatorios, que no tiene otra finalidad sino la de fijar una distribución de probabilidad para la posible evolución futura, bien del factor o factores de riesgo considerados, o bien de la propia cartera. Es habitual la utilización de números aleatorios normalmente distribuidos<sup>3</sup>, en los que los parámetros de la distribución (media y desviación típica) han sido obtenidos en base a datos históricos. Aplicaciones concretas del método de Montecarlo para el cálculo del VaR se pueden encontrar, entre otros, en los trabajos de Beder (1995) y Singh (1997).

- Métodos de varianzas-covarianzas. En éstos se asume que el Valor en Riesgo es proporcional a la desviación típica del rendimiento de la cartera, calculada en base a información histórica. En concreto, la expresión a utilizar para el cálculo de dicho Valor en Riesgo en un momento del tiempo  $t$  ( $VaR_t$ ) es la siguiente (3):

$$VaR_t = \phi \cdot \sqrt{\tau} \cdot \sigma_{pt} \quad (3)$$

donde  $\phi$  es un parámetro que depende del grado de confianza estadística que se desee lograr con la medida;  $\sigma_{pt}$  es la desviación típica de la variación en el valor de la cartera, para un determinado período de tenencia; y  $\tau$  es el período de tenencia o mantenimiento relevante en la situación concreta. Este último parámetro será igual a uno siempre que coincidan el período de tenencia para el cual se desee calcular el VaR y el utilizado para la determinación de la desviación típica de la cartera. Por otro lado, si, como es habitual, se asume un comportamiento normal, el parámetro  $\phi$  será el que se obtenga de la función de densidad de dicha distribución, para el nivel de fiabilidad estadística predeterminado.

El punto clave, por tanto, dentro de los métodos de varianzas-covarianzas es el procedimiento a seguir para la determinación de la varianza de la cartera. A este respecto, Hendricks (1996) utiliza en su trabajo dos enfoques: el de las medias móviles igualmente ponderadas y el de las medias móviles exponencialmente ponderadas. En el primero de los casos se utiliza la fórmula estadística convencional de la varianza, en la que se asume que la totalidad de 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 mayor peso a la hora de determinar la varianza.

Por su parte, Mori et al. (1996) calculan la desviación típica de la cartera, utilizando un esquema de media simple. Dicha desviación típica se estima con dos periodicidades: diariamente (equivalente al enfoque de las medias móviles igualmente ponderadas planteado por Hendricks) y semestralmente. En este último caso se está asumiendo implícitamente que las varianzas y covarianzas entre los factores de riesgo permanecen constantes a lo largo del semestre considerado.

Hopper (1996) señala que, en la medida en que la varianza de los factores de riesgo no sea constante a lo largo del tiempo, para realizar predicciones sobre la misma deberán utilizarse metodologías que recojan dicha variabilidad. En concreto en su trabajo recomienda dos alternativas: una basada en los modelos de heteroscedasticidad condicional autorregresiva y *Riskmetrics* desarrollada por J.P. Morgan<sup>4</sup>. Ambas calculan la varianza como una media ponderada de los cuadrados de los beneficios pasados de la cartera, dando un ponderación superior a los beneficios más recientes.

Vasilellis y Meade (1996), dentro de los métodos de cálculo de la varianza en base a información histórica utilizan 3 alternativas: una basada en medias móviles igualmente ponderadas; una segunda basada en medias móviles exponencialmente ponderadas; y una tercera basada en modelos de heteroscedasticidad condicional autorregresiva.

En suma, de acuerdo con lo aportado por los trabajos que se han ocupado de la cuantificación del Valor en Riesgo, básicamente existen cuatro posiciones o hipótesis de partida, que

dan lugar a sendas metodologías aplicables para la realización de predicciones futuras sobre la varianza de una cartera:

- Asumir que la varianza<sup>5</sup> permanece constante en el tiempo. En este caso la expresión para el cálculo de la desviación típica (varianza) es su fórmula convencional (4):

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{k-1} \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} (x_{ps} - \mu_p)^2} \quad (4)$$

donde  $\sigma_p$  es el valor de la desviación típica de la cartera, que se supone permanece constante;  $x_{ps}$  representa el rendimiento de dicha cartera 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  $\mu_p$  es el valor promedio del rendimiento de la cartera, calculado en base a información histórica.

- Asumir 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. En este caso, la expresión a utilizar para la predicción de futuros valores de la desviación típica es similar a (4), pero sin asumir un valor constante para dicha desviación típica (5):

$$\sigma_{pt} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} (x_{ps} - \mu_{pt})^2} \quad (5)$$

donde  $\sigma_{pt}$  es el valor de la desviación típica de la cartera, calculada al inicio del período  $t$  en base a información histórica, y el resto de variables tienen idéntico significado al de la expresión (4).

- Asumir que la varianza no permanece constante a lo largo del tiempo, considerando que la información histórica es más relevante cuanto más próxima se encuentra al momento en el que se desea realizar la predicción de la varianza futura: medias móviles exponencialmente ponderadas. La expresión a utilizar para la estimación de la desviación típica (varianza) es la siguiente (6):

$$\sigma_{pt} = \sqrt{(1-\lambda) \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} \lambda^{t-s-1} \cdot (x_{ps} - \mu_{pt})^2} \quad (6)$$

donde  $\lambda$  es el denominado factor de importancia decreciente (*decay factor*) que determina el ritmo al cual disminuye la importancia de las observaciones más alejadas en el tiempo, y el resto de variables tienen un significado similar al utilizado en (4) y (5).

- Asumir que la varianza no permanece constante a lo largo del tiempo, considerando que su evolución puede modelizarse mediante un modelo de heteroscedasticidad condicional autorregresiva (ARCH). La expresión general a utilizar para la determinación de la varianza viene dada por (7):

$$\sigma_{pt}^2 = \alpha_0 + \sum_{j=1}^q \alpha_j \varepsilon_{pt-j}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{pt-j}^2 \quad (7)$$

donde  $\alpha_k \beta_l$  ( $k=0, \dots, q, l=1, \dots, p$ ) son los parámetros del modelo;  $\varepsilon_{pt}$  son los errores de estimación;  $p$  y  $q$  los retardos considerados; y el resto de variables tiene un sentido análogo al de expresiones anteriores<sup>6</sup>.

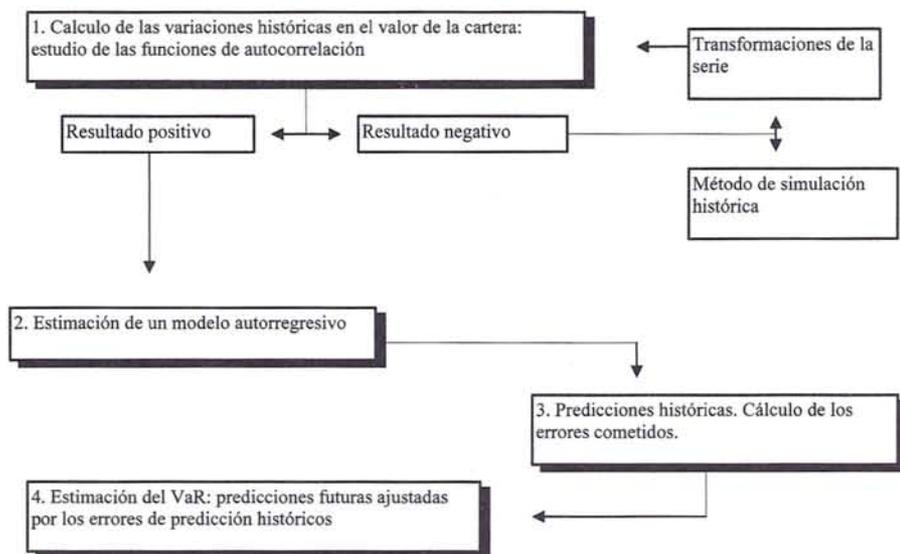
## EL MÉTODO S.H.P.A.

Tal y como ha quedado puesto de manifiesto en el apartado anterior, existen básicamente tres grupos de metodologías para el cálculo del Valor en Riesgo a partir de datos históricos: la simulación histórica, la simulación de Montecarlo, y las varianzas-covarianzas. El método de Simulación Histórica con Predicciones Autorregresivas que se propone en el presente trabajo se encuadra, como su nombre indica, dentro del primero de los grupos. En este sentido, la variación prevista en el valor de la cartera se obtiene a partir de las variaciones experimentadas por dicha cartera a lo largo de un período anterior al momento en el que se realiza la predicción. No obstante, mientras que en el enfoque general la variación prevista se obtiene de modo directo a partir del estudio de los percentiles de las variaciones históricas, en el método S.H.P.A., los percentiles históricos utilizados son los correspondientes a los errores de predicción que proporciona el modelo autorregresivo planteado.

En el método de Simulación Histórica con Predicciones Autorregresivas se utiliza la autocorrelación observada en gran parte de las variables económicas y financieras, cuando se toman sus rendimientos elevados al cuadrado. Concretamente, teniendo en cuenta que ésta es equivalente a la autocorrelación en los rendimientos, cuando son tomados en valor absoluto, el método S.H.P.A. toma como base esta última autocorrelación.

En la figura 1 se recoge el esquema con las distintas fases que deben ser seguidas para el cálculo del Valor en Riesgo de una cartera, utilizando el método de Simulación Histórica con Predicciones Autorregresivas.

**Figura 1. Esquema de la metodología de Simulación Histórica con Predicciones Autorregresivas para la estimación del VaR de una cartera.**



Según se puede apreciar en dicha figura, para este cálculo es necesario seguir 4 etapas:

- Primera etapa: Autocorrelación de los rendimientos de la cartera. En esta primera fase deben calcularse las variaciones relativas, en valor absoluto, en el valor de la cartera objeto de estudio, a lo largo de un determinado período histórico. Asimismo, deben estudiarse las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial de dichas variaciones. Como resultado de este estudio pueden obtenerse las siguientes alternativas:
  - En primer lugar, puede que no sea detectada autocorrelación en las variaciones históricas. En este caso, no será factible la estimación de un modelo autorregresivo para las mismas. Es decir, no se podrán realizar predicciones sobre los valores futuros de las variaciones en el valor de la cartera (valor absoluto) en base al comportamiento de dichas variaciones en el pasado. La mejor predicción, por tanto, será una variación nula, que, dentro de la metodología planteada, podrá utilizarse directamente en la tercera de las etapas. En todo caso, el uso de una predicción de esta índole es equivalente a la aplicación del enfoque general en el método de simulación histórica.
  - El segundo de los posibles resultados puede ser la constatación de una autocorrelación elevada pero que no decrece a partir de un determinado retardo. Esta situación denota un comportamiento no estacionario de la serie temporal analizada. En este caso también será factible, por supuesto, la utilización del método general de simulación histórica, pero al mismo tiempo será posible la realización de alguna transformación en la serie original que la haga estacionaria. Concretamente, podrán tomarse sucesivas diferencias sobre esta serie, y tras comprobar la estacionariedad, respecto a la medida, de la serie transformada, reiniciar el proceso con la misma.

- Finalmente, la tercera de las posibilidades es la detección de autocorrelación en la serie estudiada, dándose además el hecho de que dicha autocorrelación decrezca a partir de un determinado retardo. En este caso sí que se podrá estimar un modelo autorregresivo, y por tanto será posible el paso a la siguiente de las fases de la metodología propuesta.
- Segunda etapa: Estimación de un modelo autorregresivo. El estudio de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de los rendimientos de la cartera (tomando valores absolutos) permitirá la determinación de los retardos que pueden resultar estadísticamente significativos, y la estimación, a través de la metodología de Box-Jenkins, de los coeficientes del modelo correspondientes a dichos retardos.
- Tercera etapa: Predicciones históricas. En base a los coeficientes estimados en la anterior fase, en esta tercera etapa se deben realizar predicciones de las variaciones en el valor de la cartera. Para la realización de estas predicciones se debe tomar un período histórico contenido en el considerado para la estimación del modelo autorregresivo. La finalidad de esta fase no es otra sino la de determinar la cuantía del error de estimación cometido.
- Cuarta etapa: Estimación del VaR. En la última de las fases del método propuesto se procede a la estimación del Valor en Riesgo de la cartera. Dicho valor se determina en base a una predicción del rendimiento futuro de dicha cartera, en valor absoluto, realizada en base al modelo estimado, en la segunda etapa, para el período histórico inmediatamente anterior. No obstante, las predicciones realizadas se corrigen en base a los errores determinados en la fase tercera del proceso. De este modo, según cual sea el grado de fiabilidad estadística que se pretenda obtener, la corrección se realizará en base a los correspondientes percentiles de la distribución del error, determinada en la fase anterior. Así, si el nivel de confianza estadística que se desea alcanzar es del 99%, la corrección se efectuará de acuerdo con el percentil 99 de la distribución de los errores. El Valor en Riesgo de la cartera será el obtenido con esta predicción corregida.

### **CÁLCULO DEL VAR MEDIANTE EL MÉTODO S.H.P.A. APLICACIÓN A CARTERAS EXPUESTAS FRENTE AL RIESGO DE CAMBIO**

La aplicación del método S.H.P.A. se ha realizado sobre un conjunto de 100 carteras, integradas por posiciones en divisas aleatoriamente generadas. En concreto, se han utilizado las cotizaciones del dólar USA, dólar australiano, yen japonés, franco suizo y dólar canadiense, frente al ECU (considerada como *proxy* del euro), que ha sido tomado como moneda base<sup>7</sup>. Las paridades de las divisas se han obtenido a partir de las cotizaciones oficiales diarias frente a la peseta, que publica el Banco de España.

El período de observación contemplado para la cotización de las divisas, ha sido el comprendido entre enero de 1990 y diciembre de 1996. Por otro lado, atendiendo a las recomendaciones de González Mosquera (1994) y a la Directiva 93/6/CEE, se ha considerado un período de observación histórica con una duración de 3 años.

Los cálculos realizados en cada una de las etapas necesarias para la aplicación de la metodología se detallan a continuación:

1. Autocorrelación de los rendimientos de la cartera: En primer lugar se ha calculado el valor de mercado en cada uno de los 1713 días hábiles del período considerado (años 1990 a 1996), para cada una de las 100 carteras analizadas, según las cotizaciones diarias de las divisas que las componen. A partir de estos valores de mercado, se ha determinado la variación diaria en el valor de cada cartera<sup>8</sup>, en términos relativos, como la diferencia de los logaritmos neperianos de dichos valores correspondientes a dos días consecutivos. La serie temporal necesaria para la aplicación del método S.H.P.A. se ha obtenido mediante el cálculo de los valores absolutos de dichas variaciones.

Por otro lado, se han tomado períodos históricos de tres años de duración<sup>9</sup>, sobre los que se ha estudiado el comportamiento del valor de cada una de las 100 carteras. Concretamente, para cada período y cartera se ha calculado la función de autocorrelación y la función de autocorrelación parcial. Asimismo, se ha estimado el estadístico Q de Ljung-Box con el fin de determinar el grado de significación estadística de la autocorrelación.

En la tabla 1 se han detallado los valores del estadístico Q calculados para cada cartera, correspondientes al período en el que se ha obtenido un valor de menor cuantía para el mencionado estadístico. Según se puede apreciar en esta tabla, para un total de 11 carteras el nivel de significación del valor del estadístico Q calculado es superior al 1%. Es decir, que al 99% de confianza, para dichas carteras, no se puede aceptar la existencia de autocorrelación. Por tanto, no es factible la estimación de un modelo autorregresivo. Estas carteras, que aparecen señaladas con un asterisco en la mencionada tabla, han sido excluidas del análisis, pues la aplicación sobre las mismas de la metodología propuesta sería equivalente al uso del método general de simulación histórica.

**Tabla 1: Estadístico Q de Ljung-Box mínimo obtenido en los distintos subperíodos**

Cartera	Q(12)	Cartera	Q(12)	Cartera	Q(12)	Cartera	Q(12)	Cartera	Q(12)
1	182,4522	21	62,7742	41	115,072	61	79,5514(**)	81	60,5082
2	74,5982	22	53,2533(**)	42	35,0533(**)	62	30,2183	82	100,0322
3	35,3998(**)	23	41,6404	43	85,1946	63	125,6737	83	95,0272
4	59,3649	24	53,3922	44	91,8276	64	12,4562(*)	84	0,028(*)
5	80,9104	25	2,9393(*)	45	76,4576	65	69,3835	85	30,0426
6	23,4404(*)	26	196,7133(**)	46	62,7048	66	37,8493	86	111,2154
7	155,6132(**)	27	56,1599	47	39,2915	67	58,2669	87	76,4973
8	126,5843	28	4,2394(*)	48	32,7311	68	26,8319	88	137,2719
9	18,4567(*)	29	149,9184	49	28,2616	69	12,9419(*)	89	51,6942
10	27,3751	30	36,9764	50	80,6987	70	135,9707	90	36,8767
11	167,6794	31	106,8321	51	102,2183	71	62,9166	91	21,9083(*)
12	131,2692	32	22,1163	52	61,4888	72	103,4915	92	105,4059
13	99,113	33	28,1548	53	4,1978(*)	73	192,6613	93	35,0546
14	139,64	34	35,1982	54	19,4753(*)	74	28,5248	94	78,2592
15	63,7792(**)	35	86,3746	55	85,8588	75	66,199	95	18,2843(*)
16	54,8347	36	55,5489	56	74,066	76	24,4129	96	124,0988
17	27,2507	37	79,8373	57	160,4371	77	63,5828	97	40,1489
18	100,193	38	99,7007	58	48,8972	78	85,2384	98	79,3445(**)
19	23,7765	39	110,7539	59	41,7855(**)	79	55,6647	99	177,4856
20	70,0395(**)	40	92,1907	60	42,4504	80	76,5599	100	146,7231

Q(12): Estadístico Q de Ljung-Box correspondiente a 12 retardos; (\*): Nivel de significación superior al 1%; (\*\*) Comportamiento no estacionario

Por otro lado, en la tabla 1 se han señalado un total de 10 carteras con un doble asterisco. En éstas se han detectado unos coeficientes de autocorrelación elevados en los distintos retardos para los que han sido calculados, sin que haya sido posible determinar uno de estos retardos a partir del cual los coeficientes disminuyesen. Se trata, por tanto, de series temporales con un comportamiento no estacionario en media, sobre las que no se puede calcular directamente un modelo autorregresivo, por lo que tampoco han sido consideradas en el análisis.

2. Estimación modelo autorregresivo: Utilizando la metodología de Box-Jenkins se han estimado un total de 316 modelos AR: uno para cada una de las 79 carteras sobre las que, tras la primera de las etapas, se centra la aplicación del método S.H.P.A.; y dentro de cada cartera, un modelo para cada uno de los subperíodos de tres años considerado. Se ha calculado el estadístico Q de Ljung-Box para los residuos de cada uno de los modelos, determinándose que su nivel de significación es superior al 1%. Es decir, con este nivel de significación, el modelo autorregresivo calculado ha eliminado la autocorrelación detectada en la primera de las fases de la metodología propuesta.
3. Predicciones históricas: Los coeficientes obtenidos en la segunda etapa, se han utilizado en esta tercera para realizar predicciones, dentro del período histórico para el cual han sido calculados. Concretamente, y para cada cartera, el modelo autorregresivo estimado para el período 90-92 se ha empleado para realizar predicciones del rendimiento de dicha cartera, en valor absoluto, para el año 92; el calculado para el período 91 - 93 ha sido utilizado para realizar las predicciones para el año 93; y así sucesivamente hasta las predicciones para el año 95.

Es decir, en esta tercera fase, en primer lugar, se obtienen predicciones para la variación en el valor de cada cartera, considerando valores absolutos, para los años 92, 93, 94 y 95. Estas predicciones se han realizado desde una perspectiva *ex-post*; esto es, para efectuarlas se han utilizado modelos que han sido estimados utilizando datos de dichos periodos. La finalidad del cálculo de estas predicciones, que se han denominado históricas, no es otra sino la determinación del error de estimación cometido. Dicho error ha sido cuantificado a partir del cociente (8):

$$\frac{VR_t}{VP_{t/t-1}} \quad (8)$$

donde  $VR_t$  es el rendimiento real de la cartera para el instante (día)  $t$ , y  $VP_{t/t-1}$  es la variación prevista por el modelo para dicho instante  $t$ , en un momento inmediatamente anterior ( $t-1$ ).

Como último paso en esta tercera fase se ha determinado el valor del percentil<sup>10</sup> 99 del error calculado en base a la expresión (8). Dicho percentil se ha obtenido, para cada cartera, en cada uno de los 4 años para los que se han realizado predicciones históricas.

4. Cálculo del Valor en Riesgo: Los modelos autorregresivos estimados en la segunda etapa se han empleado para la realización de predicciones sobre la variación en el valor de la cartera, en valor absoluto, para el período anual, inmediatamente siguiente al período histórico utilizado en su estimación. Es decir, los coeficientes de los modelos calculados con las observaciones de los años 90 a 92, han sido usados para la realización de predicciones en el año 93; los estimados con observaciones de los años 91 a 93, lo

han sido para predecir las variaciones del año 94; y así sucesivamente hasta el año 96. Esto es, las predicciones realizadas en esta cuarta fase, a diferencia de las de la etapa anterior, se han efectuado desde una perspectiva *ex-ante*.

El cálculo del Valor en Riesgo se ha efectuado multiplicando las anteriores predicciones por el percentil 99 (nivel de confianza asumido igual al 99%) del error de predicción calculado en la fase tercera de aplicación de la metodología. De este modo, dentro de cada cartera, las predicciones efectuadas para un año han sido corregidas con el percentil 99 del error de predicción calculado en el año inmediatamente anterior.

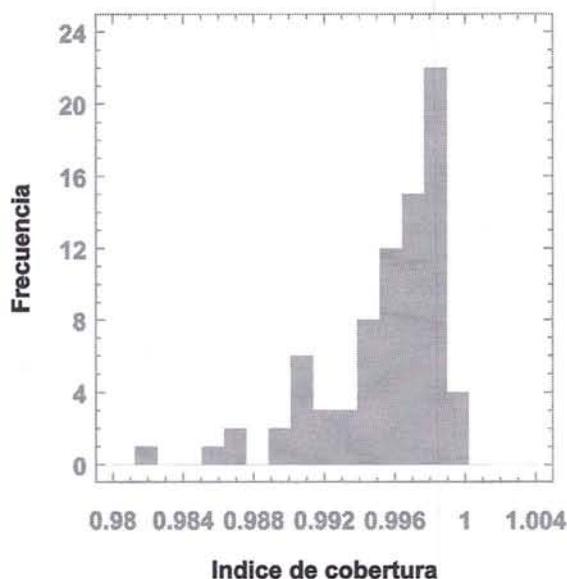
La aplicación descrita de la metodología S.H.P.A. ha dado como resultado un importe para el Valor en Riesgo en cada uno de los 913 días comprendidos entre enero<sup>11</sup> de 1993 y diciembre de 1996. De conformidad con las hipótesis realizadas, relativas al grado de fiabilidad estadística de la medida obtenida, el VaR calculado debe ser superior a las pérdidas que ha experimentado la cartera en el 99% de los casos. Con la finalidad de contrastar el cumplimiento de dicha hipótesis, para cada una de las carteras se ha calculado el índice de cobertura (*IC*), de conformidad con la expresión (9):

$$IC = \frac{NDS}{NDT} \quad (9)$$

donde *NDS* representa el número de días en los que el importe calculado por el método ha sido superior a la variación negativa real en el valor de la cartera, mientras que *NDT* corresponde al número de días total.

En la figura 2 se han representado, mediante un histograma, los resultados obtenidos con el índice de cobertura. Según se puede apreciar en dicha figura, dicho índice se sitúa por encima del 99% para la mayor parte de carteras. Sólo para un número reducido de casos, el índice de cobertura cae por debajo del nivel de fiabilidad estadística que teóricamente debe proporcionar la medida. De este modo, el promedio de cobertura obtenido ha sido del 99,54% (0,9954). Para dicho promedio, se ha calculado un intervalo de confianza, al 95%, cuyos límites inferior y superior se sitúan, respectivamente, en 0,995 y 0,996. Es decir, que en términos de promedio el índice de cobertura obtenido con la aplicación del método S.H.P.A. para el cálculo del Valor en Riesgo se sitúa por encima del 99%, habiéndose podido contrastar el cumplimiento de la hipótesis asumida respecto al grado de fiabilidad estadística.

**Figura 2. Histograma del índice de cobertura obtenido con el VaR calculado a través del método S.H.P.A.**



Finalmente, es necesario destacar que en la aplicación realizada de la metodología S.H.P.A. los parámetros de los modelos autorregresivos estimados se han recalculado con una periodicidad anual. Esto es, se ha supuesto que dichos parámetros permanecen constantes a lo largo de todo un año. Una mayor periodicidad en dicho cálculo redundaría, en todo caso, en una mejora de los resultados obtenidos.

### **EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS: ANÁLISIS COMPARATIVO CON *RISKMETRICS***

En el presente epígrafe se comparan los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología S.H.P.A. con los proporcionados por una alternativa: *Riskmetrics*. El método *Riskmetrics* ha sido diseñado por J.P. Morgan, entidad que, en una iniciativa para generalizar el uso del Valor en Riesgo, permite una utilización libre del mismo por parte de aquellas instituciones o agentes que lo deseen.

Tal y como ha quedado expuesto en apartados anteriores, *Riskmetrics* es un método de varianzas-covarianzas, en el que se asume que la varianza de una cartera puede ser modelizada mediante un esquema de medias móviles exponencialmente ponderadas. Partiendo de un enfoque tipo delta, se realizan previsiones para futuros valores de la desviación típica de los factores de riesgo, utilizando una expresión idéntica a la (6), en la que las referencias hechas a la cartera deben ser entendidas sobre el correspondiente factor de riesgo. Asimismo, para el cál-

culo de las covarianzas entre los factores de riesgo se utiliza un esquema de medias exponencialmente ponderadas, que puede derivarse de la expresión (10):

$$\sigma_{ijt} = (1 - \lambda) \cdot \sum_{s=t-k}^{t-1} \lambda^{t-s-1} \cdot (x_{is} - \mu_{it}) \cdot (x_{js} - \mu_{jt}) \quad (10)$$

donde  $\sigma_{ijt}$  es la covarianza entre los factores de riesgo  $i$ -ésimo y  $j$ -ésimo, correspondiente al momento  $t$ ;  $x_{is}$  y  $x_{js}$  representan los valores en el momento  $s$  para dichos factores;  $\mu_{it}$  y  $\mu_{jt}$  recogen valores promedio de los mismos, calculados en base a información histórica; y  $\lambda$  tiene un significado similar al de la expresión (6).

La metodología *Riskmetrics* ha sido aplicada sobre el conjunto de 79 carteras analizadas en el epígrafe anterior, dentro del período temporal considerado (años 1990 a 1996). Los factores de riesgo utilizados han sido los rendimientos diarios de las 5 divisas en las que se encuentran materializadas las posiciones de las carteras analizadas. Por otro lado, de acuerdo con las recomendaciones de J.P. Morgan-Reuters (1996) se ha tomado como *decay factor* un valor igual a 0,94.

En base a lo anterior, se han determinado predicciones, tanto para las varianzas como para las covarianzas, en cada uno de los 913 días comprendidos entre enero de 1993 y diciembre de 1996. La predicción para la varianza de cada cartera, a partir de las varianzas y covarianzas de los factores de riesgo se ha realizado en base al siguiente producto matricial (11):

$$\sigma_{ip}^2 = D' C D \quad (11)$$

donde  $D$  es el vector que recoge las sensibilidades ( $\delta$ ) de la cartera frente a los distintos factores de riesgo (12):

$$D = (\delta_1 \quad \delta_2 \quad \dots \quad \delta_n) \quad (12)$$

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

El Valor en Riesgo se ha estimado en base a la expresión (3). Se ha asumido un comportamiento normal, por lo que se ha utilizado un valor de 2,33 para el parámetro  $\phi$ . Por otro lado, teniendo en cuenta que las varianzas y covarianzas se han determinado en base diaria, el valor del parámetro  $\tau$  considerado ha sido 1.

En la tabla 2 se detalla el valor promedio y el intervalo de confianza para el mismo, obtenido para el índice de cobertura calculado de acuerdo con la metodología *Riskmetrics*. Según se puede comprobar, dicho valor promedio (0,9833) queda por debajo del que sería esperable de acuerdo con el nivel de fiabilidad estadística establecido (0,99). Los límites del intervalo de confianza para dicho valor promedio quedan igualmente por debajo del 99%. Es decir, la aplicación de la metodología *Riskmetrics* comporta la obtención de un VaR que proporciona un índice de cobertura inferior al esperable, y que, a nivel de promedio, a tenor del contenido de la tabla 2, es distinto y también inferior al obtenido con la aplicación del a metodología S.H.P.A.

**Tabla 2. Índice de cobertura del Valor en Riesgo**

Metodología	Promedio cobertura	Intervalo confianza 95%	
S.H.P.A.	0,9954	0,995	0,996
<i>Riskmetrics</i>	0,9833	0,982	0,984

Promedio cobertura: Media aritmética del índice de cobertura para las 79 carteras

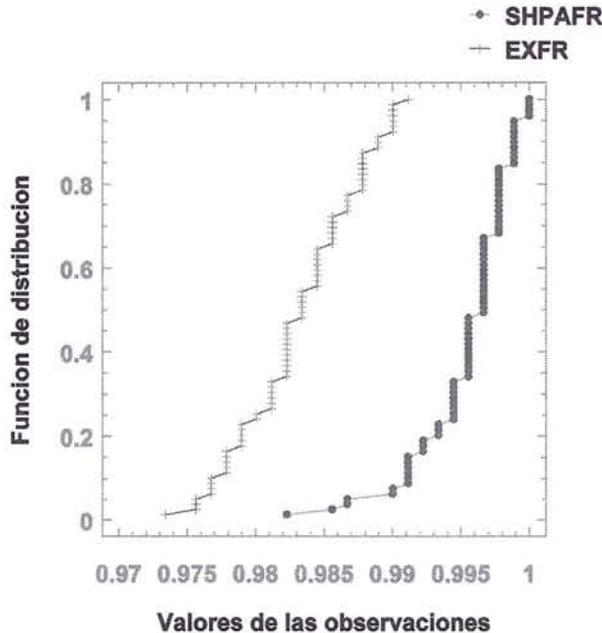
Intervalo confianza: 95%: Intervalo de confianza individual para el anterior promedio

Con la finalidad de contrastar la diferencia entre los resultados obtenidos para el índice de cobertura con la aplicación de las dos metodologías, se ha realizado el test de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras. Con este fin, se ha calculado el supremo de las distancias, en valor absoluto, de los valores de las funciones de distribución del índice de cobertura determinado de acuerdo con las dos metodologías. Dicho supremo se sitúa en 0,911. El valor crítico tabulado, para un nivel de significación del 5% y un tamaño de las muestras igual a 79, es de 0,216. Por tanto, al ser este último menor, se rechaza la hipótesis nula de homogeneidad entre las poblaciones de las que provienen ambas muestras. Esto es, existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados aportados por las dos metodologías, y de este modo queda confirmado el indicio detectado tras la comparación de los valores promedio de los índices de cobertura.

Por otro lado, la figura 3 recoge las funciones de distribución de dichos índices, calculados de acuerdo con las dos metodologías que se comparan. Según se puede apreciar en dicha figura, los valores obtenidos aplicando el método S.H.P.A. son siempre superiores a los obtenidos aplicando *Riskmetrics*. Con el fin de confirmar, en términos estadísticos, estos mayores índices de cobertura proporcionados por S.H.P.A., se ha aplicado el test de Kolmogorov-Smirnov considerando la hipótesis nula de igualdad entre las funciones de distribución frente a la alternativa de que una función de distribución sea superior a la otra. Concretamente, la hipótesis alternativa asumida es la de que los valores de la función de distribución calculada según *Riskmetrics*,  $F(x)$ , son superiores a los de la función de distribución según la metodología S.H.P.A.,  $G(x)$  (13):

$$H_0: F(x) = G(x) \quad H_1: F(x) > G(x) \quad (13)$$

Figura 3: Función de distribución para los valores del índice de cobertura



**SHPAFR:** Índice de cobertura según la metodología S.H.P.A.

**EXFR:** Índice de cobertura según la metodología *Riskmetrics*.

El estadístico a calcular para este test es  $(D_{n,n}^+)^2$ , donde  $D_{n,n}^+$  viene dado por el supremo de la diferencia entre ambas distribuciones (14):

$$D_{n,n}^+ = \sup (F(x) - G(x)) \quad (14)$$

siendo  $n$  es el tamaño de la muestra ( $n = 79$ ). El valor obtenido para el estadístico ha sido 0,830.

El valor crítico para el test viene dado por la expresión (15):

$$\frac{\chi_{2,\alpha}^2}{2 \cdot n} \quad (15)$$

donde  $\alpha$  denota el nivel de significación escogido. Para un valor del 5% en dicho nivel de significación, el cálculo de la expresión (15) da como resultado 0,038. Teniendo en cuenta que dicho valor es inferior al del estadístico calculado (0,830), se rechaza la hipótesis nula de que las distribuciones son iguales, frente a la alternativa de que la función de distribución es mayor en el caso de utilizar la metodología *Riskmetrics*. Por lo tanto, se ha constatado que la utilización del método S.H.P.A. supone la obtención de índices de cobertura superiores a los que comporta el empleo de la metodología *Riskmetrics*.

Adicionalmente, para la comparación de los resultados obtenidos en el cálculo del VaR mediante la aplicación de las dos metodologías, se ha estimado el montante de las mayores pérdidas que, para cada cartera, ha supuesto la no cobertura con la cifra del Valor en Riesgo calculada. Concretamente, para cada cartera, y para cada día se ha calculado el siguiente índice (16):

$$\frac{|VVC_{t/t+1}|}{RP_t} \quad (16)$$

donde  $RP_t$  representa el montante del Valor en Riesgo calculado en el instante  $t$ , para el día siguiente; y  $VVC_{t/t+1}$  representa la pérdida de valor de la cartera durante el mencionado período. Los valores de este índice superiores a la unidad, informarán de una infravaloración de la variación en el valor de la cartera de acuerdo con el Valor en Riesgo calculado. En este caso, la diferencia entre el valor del índice y la unidad representará, en porcentaje sobre dicho VaR, el montante no cubierto.

Una vez obtenidos los valores de la anterior relación para cada uno de los días pertinentes, se ha calculado el percentil 99, tomándose únicamente aquellos valores de la relación (16) que quedan fuera de dicho percentil. Sobre éstos se ha obtenido el promedio, que informa, precisamente, del montante de las mayores pérdidas no cubiertas con el Valor en Riesgo calculado. En la tabla 3 se recogen los valores promedio de las 79 carteras, determinados con este cálculo, así como sus respectivos intervalos de confianza.

**Tabla 3: Montante de las mayores pérdidas no cubiertas**

Metodología	Promedio	Intervalo confianza 95%	
S.H.P.A.	1,0538	1,017	1,091
<i>Riskmetrics</i>	1,4576	1,417	1,499

Promedio: Media aritmética del montante de las mayores pérdidas para las 79 carteras

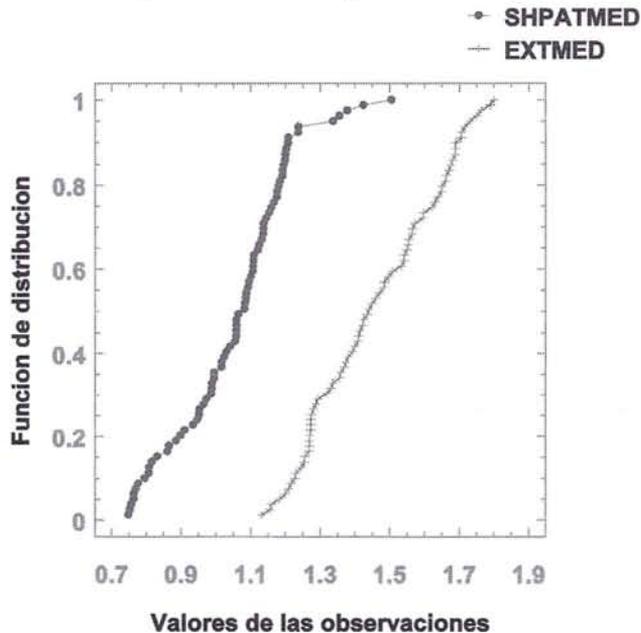
Intervalo confianza: 95%: Intervalo de confianza individual para el anterior promedio

Datos en tanto por uno sobre la cifra de Valor en Riesgo calculada

Según se puede apreciar en dicha tabla, en el caso de la metodología S.H.P.A. las mayores pérdidas no cubiertas suponen, en promedio, un 5,38% del Valor en Riesgo calculado ( $1,0538 - 1 = 0,0538$ ). Por otro lado, la aplicación de la metodología *Riskmetrics* comporta que las mayores pérdidas no cubiertas se sitúen en el 45,76% del VaR calculado ( $1,4576 - 1 = 0,4576$ ). En definitiva, en términos de promedio, el montante de las pérdidas no cubiertas con la cifra del Valor en Riesgo se sitúa en una cota superior cuando se aplica el método *Riskmetrics*.

Con el fin de comprobar si es posible extrapolar la anterior conclusión, alcanzada para el promedio, a nivel de toda la población, en la figura 4 se han recogido las funciones de distribución para las dos poblaciones, formadas por los valores de las mayores pérdidas no cubiertas calculadas de acuerdo con las dos metodologías que se están comparando.

**Figura 4: Función de distribución de las mayores pérdidas no cubiertas por el Valor en Riesgo calculado**



**EXTMED:** Mayores pérdidas no cubiertas; metodología *Riskmetrics*.

**SHPATMED:** Mayores pérdidas no cubiertas; metodología S.H.P.A.

Según se puede apreciar en esta figura, los valores de las observaciones (calculados de acuerdo con (16)) son siempre mayores cuando la metodología utilizada es la *Riskmetrics*. En todo caso, con el fin de confirmar estadísticamente esta observación, se ha aplicado el test de Kolmogorov-Smirnov, contrastándose la hipótesis nula de igualdad entre las funciones de distribución, frente a la alternativa de que la función de distribución presenta mayores valores cuando se aplica el método S.H.P.A. Siguiendo un camino análogo al expuesto anteriormente se ha calculado el estadístico  $(D_{n,n}^+)^2$  obteniéndose un valor de 0,719. Al ser éste superior al valor crítico (0,038) calculado según la expresión (15), se rechaza la hipótesis nula, frente a la alternativa planteada. Es decir, la utilización de la metodología S.H.P.A. comporta unas pérdidas no cubiertas por el VaR calculado, que son de menor cuantía a las que se derivan cuando se utiliza *Riskmetrics*.

## CONCLUSIONES

El Valor en Riesgo se ha convertido en un concepto de obligada referencia a la hora de cuantificar el riesgo de mercado de una cartera. La utilización de la pérdida máxima que puede experimentar dicha cartera a lo largo de un período de tenencia determinado, asociada a un grado de fiabilidad estadística preestablecido, se ha generalizado en el ámbito de los mercados financieros.

Sin embargo, no existe un único método para calcular el VaR de una cartera. De este modo, en primer lugar se puede optar por la utilización de datos históricos o bien por el empleo de la volatilidad implícita en el precio de determinados activos derivados, a la hora de realizar las previsiones sobre futuros valores de la volatilidad de la cartera, que se encuentran en la base del Valor en Riesgo. Los inconvenientes que presenta la segunda de las alternativas hacen que el uso de los métodos que recurren a datos históricos esté más extendido. Dentro de éstos, básicamente se pueden emplear tres enfoques: el de simulación histórica, el de simulación de Montecarlo y el de varianzas-covarianzas. El empleo de uno de estos enfoques se puede efectuar desde una perspectiva global, calculando directamente el VaR de la cartera, o bien desde una perspectiva delta, esto es, calculando el Valor en Riesgo a partir del de los componentes de la mencionada cartera.

En este contexto, el presente trabajo plantea una nueva metodología, S.H.P.A., para el cálculo del VaR, basada en la autocorrelación de los rendimientos de una cartera con posiciones en activos financieros, cuando aquéllos son tomados en valor absoluto. Esta metodología de simulación histórica, de carácter global, utiliza los percentiles reales de la distribución de los errores de predicción cometidos con el empleo de un modelo autorregresivo, estimado a partir de los rendimientos de la cartera. Estos percentiles son usados para corregir la predicción sobre el rendimiento futuro de dicha cartera, y de este modo calcular el Valor en Riesgo.

La metodología propuesta ha sido aplicada sobre un conjunto de 100 carteras con posiciones en cinco divisas aleatoriamente generadas. Se ha tomado como moneda base el ECU como *proxy* del euro, considerándose los rendimientos diarios de dichas carteras durante el período 1990 - 1996. Los tests previos a la utilización de la metodología han descartado 21 de dichas carteras. Sobre las 79 restantes se ha aplicado el método S.H.P.A. para calcular el VaR. Se ha comprobado, que el índice de cobertura alcanzado con la cifra del Valor en Riesgo estimada, está en consonancia con el nivel de fiabilidad estadística asumido a priori.

Adicionalmente, los resultados obtenidos se han comparado con los proporcionados por la aplicación del método *Riskmetrics* sobre el mismo conjunto de carteras. Se ha podido constatar que el índice de cobertura logrado con este último método es inferior y estadísticamente distinto al que se obtiene con S.H.P.A., que, tal y como se ha señalado, es el que cabría esperar de conformidad con las hipótesis sobre fiabilidad estadística asumidas. Por otro lado, se ha comprobado que la utilización de *Riskmetrics* conlleva la obtención de unas pérdidas no cubiertas superiores, en términos estadísticos, a las que resultan del uso del método S.H.P.A., obviamente dentro del conjunto de carteras y período histórico considerados en el estudio.

## NOTAS

- (1) "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, como consecuencia de los movimientos en los precios de mercado" [Basle Committee on Banking Supervision, 1996:1].
- (2) Sobre la volatilidad implícita se puede consultar Mayhew (1995).
- (3) Otras distribuciones alternativas a la normal son igualmente factibles.
- (4) Esta metodología utiliza el enfoque de medias móviles exponencialmente ponderadas.
- (5) Dentro de un enfoque global se realizan hipótesis sobre la varianza de la cartera. En un enfoque delta dichas hipótesis deben ir referidas tanto a las varianzas de los factores de riesgo como a las covarianzas entre los mismos.
- (6) La ecuación (7) corresponde al planteamiento de un modelo ARCH generalizado (GARCH), introducido por Bollerslev (1986)

- (7) Al no disponerse de una serie histórica suficientemente larga de tipos de cambio del euro, para ilustrar la aplicación del modelo propuesto se ha utilizado como moneda base de referencia el ECU.
- (8) Teniendo en cuenta la gran liquidez del mercado de divisas, se ha considerado un período de tenencia de un día, suponiéndose que, como máximo, cualquier posición en divisas puede deshacerse dentro del mencionado intervalo temporal.
- (9) Años 90 -92, 91 - 93, 92 - 94, y 93 - 95
- (10) El percentil calculado corresponde al grado de fiabilidad estadística que se pretende lograr con la medida.
- (11) Los tres primeros años (90 - 92) del período total de observaciones utilizado (90-96) se han empleado para realizar las predicciones correspondientes al año 93, y, por lo tanto, no ha sido estimado el Valor en Riesgo en dichos años.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMIN, K.I.; NG, V.K. (1997): "Inferring future volatility from the information in implied volatility in Eurodollar options: a new approach". *The Review of Financial Studies*, Vol. 10, num. 2: 333 - 367.
- BASLE COMMITTEE ON BANKING SUPERVISION (1996): *Amendment to the capital accord to incorporate market risks*. "Bank for International Settlements", Basle, January.
- BECKSTROM, R.; LEWIS, D.; ROBERTS, C. (1994): "VAR: Pushing risk management to the statistical limit". *Capital Market Strategies*, num. 3: 9 - 15
- BEDER, T.S. (1995): "VAR: Seductive but dangerous". *Financial Analysts Journal*, vol. 51, num. 5, Sept - Oct: 12-24
- BINDER, A.F. (1991): "Integrated risk management vital for surviving banks". *Journal of Commercial Bank Lending*, vol. 73, num. 5: 13 - 20.
- BOLLERSLEV, T. (1986): "Generalized autorregresive conditional heteroscedasticity". *Journal of Econometrics*, vol. 31: 307 - 327
- BRAILSFORD, T.J.; FAFF, R.W. (1996): "An evaluation of volatility forecasting techniques". *Journal of Banking and Finance*, vol. 20, num. 3: 419 - 438.
- CABEDO, J.D.; MOYA, I. (2001): "Cuantificación del riesgo de cambio". *Revista de Economía Aplicada*. Vol. 9 Num. 27 Pp. 133 - 156.
- CONSEJO DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (1993): Directiva 93/6/CEE del Consejo de 15 de marzo de 1993 sobre la adecuación del capital de las empresas de inversión y las entidades de crédito. "Diario Oficial de las Comunidades Europeas", num. L 141 de 11 de junio.
- ENGEL, C.; HAKKIO, C.S. (1993): "Exchange rate regimes and volatility". *Federal Reserve Bank of Kansas City Economic Review*, vol. 78, num. 3, Third Quarter: 43 - 58.
- FIGLEWSKI, S. (1997): "Forecasting volatility". *Financial Markets Institutions and Investments*, vol. 6, num. 1: 1 - 88.
- GONZÁLEZ MOSQUERA, L. M. (1994): "Medición y supervisión del riesgo de tipo de cambio". *Boletín Económico del Banco de España*, junio: 47 - 56
- HENDRICKS, D. (1996): "Evaluation of Value at Risk models using historical data". *Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review*, April: 39 - 69
- HENDRICKS, D.; HIRTLE, B. (1997): "Bank capital requirements for market risk: the internal models approach". *Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review*, vol. 3, num. 4: 1 - 12.
- HO, T.S.Y.; CHEN, M.Z.H.; ENG, F.H.T. (1996): "VAR Analytics: Portfolio structure, key rate convexities and VAR betas". *Journal of Portfolio Management*, vol. 23, num. 1, Fall: 89 - 98
- HOPPER, G.P. (1996): "Value at risk: a new methodology for measuring portfolio risk". *Business Review. Federal Reserve Bank of Philadelphia*, July August: 19 - 30
- HSIEH, D.A. (1988): "The statistical properties of daily exchange rates: 1974-1983". *Journal of International Economics*. Num. 13: 171 - 186.
- J.P. MORGAN / REUTERS (1996): *Riskmetrics - Technical document*. (Morgan Guaranty Trust Company of New York. Forth edition. December).
- JACKSON, P. (1995): "Risk measurement and capital requirements for banks". *Bank of England Quarterly Bulletin*, vol. 35, num. 2, May: 177 - 184.
- JORION, P. (1995): "Predicting volatility in the foreign exchange market". *Journal of Finance*, vol. L, num. 2, June: 507 - 528.
- JORION, P. (1996): "Risk<sup>2</sup>: Measuring the risk in Value at Risk". *Financial Analysts Journal*, vol. 52, num. 6, Nov. - Dec.: 47 - 56.
- KRITZMAN, M. (1991): "About estimating volatility". *Financial Analysts Journal*, vol. 47., num. 4, July - August: 22 - 25.
- KUPIEC, P.H. (1995): "Techniques for verifying the accuracy of risk measurement models". *Journal of Derivatives*, num. 3: 73 - 84.

- KUPIEC, P.H.; O'BRIEN J.M. (1995): *Recent development in bank capital regulation of market risks* (Board of Governors of the Federal Reserve System. Finance and Economics Discussion Series. W.P. 95-51).
- LAMOTHE, P.; LEBER, M.A. (1996): "Riesgo de Tipo de Interés en las Tesorerías". *Análisis Financiero*, Num. 70, 3er cuatrimestre: 26 - 37
- LONGERSTAEY, J. (1996): "VAR, RiskMetrics and market risk methodology" *Revue de la Banque Forum Financier Belge*, num. 1, Jan Feb: 42 - 51
- LOPEZ, J.A. (1997): "Regulatory evaluation of Value at Risk models", *Federal Reserve Bank of New York Research Paper*, num. 9710.
- MARSHALL, C.; SIEGEL, M. (1996): "Value at Risk: Implmenting a risk measurement standard" *Working Paper. Harvard Business School*.
- MATTEN, C. (1995): "Earnings volatility as an alternative risk capital measure". *Economic Financial Prospects*, num. 6: 2 - 5
- MAYHEW, S. (1995): "Implied volatility". *Financial Analysts Journal*, vol. 51, num. 4, July - August: 8 - 20
- MORI, A.; OHSAWA, M.; SHIMIZU, T. (1996): "Calculation of Value at Risk and risk return simulation" *Discussion Papers Series*, num. 96-E-8. Institut for Monetary and Economic Studies (Bank of Japan).
- PRISTKER, M. (1997): "Evaluating Value at Risk methodologies: accuracy versus computational time". *Journal of Financial Services Research*, vol. 12, num. 2/3: 201 - 242
- SINGH, M.K. (1997): "Value at Risk using principal components analysis". *Journal of Portfolio Management*, vol. 24, num. 1, Fall: 101 - 112
- STAMBAUGH, F. (1996): "Risk and Value at Risk". *European Management Journal*, vol. 14, num. 6: 12 - 96.
- VASILELLIS, G. A.; MEADE, N. (1996): "Forecasting volatility for portfolio selection". *Journal of Business Finance and Accounting*, vol. 23, num. 1, January: 125 - 143

La Revista *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa* recibió este artículo el 14 de junio de 2002 y fue aceptado para su publicación el 13 de diciembre de 2002.