

CÁLCULO DEL VALOR DE RIESGO DE UNA CARTERA*

Clemecia Martínez
Profesora de Finanzas y Comercio Internacional.
Facultad de Contaduría Pública, Universidad Externado de Colombia

1.1 MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO

El riesgo de capital, conocido como el VaR, se define como la pérdida máxima que una institución financiera podría observar por una determinada posición o cartera de inversión, en la caso de presentarse un cambio en los factores de riesgo, durante un horizonte de inversión definido y con un nivel de confianza establecido. “El punto de partida para llegar al VaR en la llamada posición de la cartera: es decir, el valor a precios de mercado, bajo la hipótesis de que los precios siguen algún tipo de ley aleatoria, el precio de mercado de la cartera en una fecha futura es también una variable aleatoria”¹.

De acuerdo con esta definición, la estimación del VaR involucra cuatro elementos que deben definirse de manera precisa si el objetivo es realizar estimaciones confiables:

– Grado de sensibilidad del valor de la cartera de inversión:

Partiendo de una base de datos real con precios de una muestra de activos financieros, bien sean precios, tasas de interés o índices se conforma un portafolio de dos activos y se mide su nivel de exposición al riesgo, aplicando variación en algunos factores de riesgo; sin embargo, la relación entre el cambio en los factores de riesgo y el cambio en el valor del portafolio puede tomar diferentes formas, como son:

* El presente trabajo, referente a modelos de medición del riesgo, es un capítulo (cap. 4) del próximo libro que prepara CLEMENCIA MARTÍNEZ.

1. ANGEL VILARIÑO SANZ. *Turbulencias financieras y riesgos de mercado*, España, Prentice Hall, 2001, p. 189.

- a. Relación lineal. La respuesta porcentual de una cartera es equivalente al cambio porcentual en los factores de riesgo.
- b. Relación convexa. En este caso la respuesta del valor de la cartera ante cambios en los factores de riesgo, aunque siguen una tendencia, no es lineal.
- c. Relación irregular. Se pueden observar relaciones no lineales entre los cambios del valor de la cartera y los cambios en los factores de riesgo, sobre todo cuando la cartera incluye títulos opcionales.

La elección del modelo VaR apropiado dependerá del tipo de relación que hay entre los cambios en los factores de riesgo de los instrumentos que conforman la cartera de inversión y el cambio en el valor del portafolio.

– Forma de la distribución de probabilidad:

En la práctica, la mayoría de los modelos que se utilizan para estimar el riesgo del capital suponen que las distribuciones son normales o lognormales (es decir, con la forma de una campana), ya que con solo dos parámetros –media y desviación estándar– es posible replicar la información contenida en toda la distribución.

– Horizonte de inversión:

Según los estudiosos en la materia se deben tomar períodos bastante significativos como para sacar estimaciones que reflejen realidades, de forma tal que una muestra muy pequeña puede arrojar información sesgada. Para determinar el horizonte de inversión se deberían tener en cuenta los siguientes factores:

- a. Liquidez y tamaño de la posición. Cuando se estima el VaR, se supone implícitamente que la posición de riesgo se puede reducir o cubrir en el periodo de tiempo determinado a los precios promedio del mercado, lo cual supone que los mercados son completamente líquidos y que siempre habrá un comprador o vendedor dispuesto a ser la contraparte. Si el horizonte de inversión se interpreta como el periodo en que la institución financiera podría deshacer o cubrir la posición de riesgo, este horizonte debería depender del monto y de la liquidez de la misma.
- b. Propósito de la posición de riesgo. El fondeo se puede controlar mediante una apropiada planeación a los requerimientos de flujos de efectivo. También va en función de determinar previamente si la posición predominante es de una entidad que busca más que todo cobertura, especulación o arbitraje en la mayoría de sus operaciones.

c. Desarrollo de los mercados. El tamaño de los mercados es otra variable determinante en la definición del horizonte de riesgo. Es el caso de entidades que tienen sus portafolios la mayoría en renta variable o en renta fija, bien sea para el caso colombiano de TES, de Bonos de Seguridad, de TDA, de Bonos Yankees o de Eurobonos, y de CDT. En la medida en que los volúmenes operados dentro del mercado sean relativamente bajos, intentar realizar operaciones de cobertura en estos mercados puede incrementar el VaR, en vez de reducirlo.

d. Factores de riesgo: Es importante analizar qué factores de riesgo se van a considerar, porque en economías emergentes como la colombiana algunos factores son demasiado volátiles: volatilidad de las tasas de interés, efecto inflación, efecto devaluación. El periodo necesario para liquidar o cubrir la posición de riesgo depende de las condiciones de mercado. En periodos de estabilidad probablemente tomará menos tiempo deshacer la posición que en periodos de turbulencia.

e. Supuestos del modelo. Calcular el VaR para diferentes horizontes de inversión a partir de la estimación de la volatilidad calculada con datos diarios, sólo puede realizarse si se cumplen determinados supuestos estadísticos.

Inicialmente se debe definir con qué modelo se va a iniciar, para a partir de él determinar si va a ser más relevante la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de correlación, el nivel de confianza, el beta.

Como se puede observar, son diversos los elementos que influyen en la determinación óptima del horizonte de inversión. A pesar de ello, y para efectos de determinar los requerimientos de capital, por concepto de riesgo de mercado el Comité de Basilea definió un horizonte de inversión de dos semanas (10 días hábiles)² para su evaluación.

– Nivel de confianza.

Supone que las pérdidas esperadas se pueden modelar utilizando la metodología, limitándolas de manera discrecional con aproximaciones que oscilan entre el 95 y 99.9 como lo estima el acuerdo de Basilea. Implica determinar de un número de resultados probables de pérdidas o ganancias, en cuántos de ellos un intermediario requiere que la estimación de las pérdidas máximas (VaR) sea inferior a las que realmente podría observarse.

En un marco de regulación prudencial, determinar el nivel de confianza debe ser una decisión interna de las instituciones financieras.

2. Comité de Basilea (1996).

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO VaR

Es uno de los métodos de mayor aplicabilidad para medir nivel de exposición al riesgo, por la facilidad de su operación, por la universalidad del mismo hasta el punto de que Basilea lo propone como el método de mayor aceptación y precisión. Además tiene otras ventajas planteadas por diversos estudiosos:

- a. La estimación del VaR sirve para portafolios y carteras expresados en moneda local, y/o en moneda extranjera, lo que permite medir el riesgo de los capitales en las diversas monedas cada uno por aparte y comparar los riesgos de las diferentes posiciones de una institución financiera, es decir, el VaR permite construir portafolios de referencia (*benchmark*).
- b. La metodología de valor en riesgo se puede aplicar a todas las posiciones de riesgo o carteras de inversión y a todos los niveles de una institución financiera. Recientemente, los modelos de VaR también se están aplicando a aseguradoras, fondos de pensiones y otras instituciones financieras.
- c. El riesgo de portafolio se genera por las fluctuaciones de los factores de mercado, como las tasas de interés, el tipo de cambio, los precios de los activos financieros, y de crédito, la tasa de mora, el índice de precios al consumidor, la unidad de valor real.
- d. En vista de que el modelo se deriva de otros modelos estadísticos y financieros, ha sido llevado a escenarios matemáticos muy sencillos de aplicar por su formulación en hojas de cálculo, permite que se pueda calcular, sin mayor complicación, a partir de las bases de datos y de la disponibilidad de los indicadores del mercado. Esto hace que sea de fácil interpretación por los responsables de la toma de decisiones y por quienes deben rendir cuentas a los clientes, a los inversionistas, a los niveles directivos y a las entidades de vigilancia y control.
- e. En entidades bancarias y del sector financiero en general que son por gerencias, subgerencias, divisiones, departamentos etc., el modelo VaR permite a la dirección evaluar el comportamiento de las unidades de negocio y determinar la estrategia de la institución financiera bajo una base de rendimientos ajustados por riesgos, es decir, permiten asignar el capital a las áreas de negocio en función de los rendimientos esperados y del nivel de riesgo que se debe soportar para alcanzarlo.

Una limitación del VaR es que parte de datos históricos para el caso de portafolios con renta variable, lo cual hace que los resultados no tomen en cuenta eventualidades impredecibles del mercado.

Otra limitación es que si se toman series demasiado pequeñas se corre el riesgo de excluir datos relevantes de períodos fuertes dentro de la empresa, marcados por tendencias al alza o a la baja y que no quedan incluidos dentro de la muestra, por lo que los resultados sesgan la toma de decisión.

1.3 IMPACTO DE LOS FACTORES DE RIESGO

– Riesgo de mercado o de capital.

- a. Uno de los factores fuertes en un portafolio son las tasas de interés, porque al generarse un aumento de las tasas del mercado, para efectos de descontar los títulos de renta fija, el precio del portafolio baja y viceversa, comportamiento que observan los diversos agentes dependiendo de su posición de compradores o de vendedores, porque las fluctuaciones afectan los estados financieros y el margen de intermediación.

Las tasas de descuento se deben aplicar según la naturaleza del título valor y de si la entidad está sometida a control y vigilancia de la Superintendencia Bancaria para el caso colombiano. Se pueden utilizar las tasas de descuento para los TES, las que se relacionan con el índice de rentabilidad de los títulos de Tesorería (Irtes, IrtesV, Irtus, Irtuvr) o las de los Cetes o en más precisas aun las de Sistema de Valoración de la Bolsa Colombia. Para el caso de otros títulos como los CDT se aplicará la DTF.

- b. Otro factor es el *spread* que afecta el portafolio, dependiendo de si su tendencia es al alza o a la baja.
- c. Las curvas de rendimiento contribuyen al mayor o menor riesgo, dependiendo de la tendencia. Es el caso del Cetes que refleja la curva estimada de los TES.
- d. La inflación también incide en el riesgo, porque afecta los precios y permite depurar la tasa para que su valor sea real.
- e. El tipo de cambio, cuando se trata de portafolios en moneda extranjera. Esta va acorde con la devaluación y aumenta la tasa de cambio y si se da revaluación, disminuye la tasa de cambio. Para el caso de activos favorece la devaluación y para los pasivos favorece a revaluación.
- f. La bursatilidad es otro factor de riesgo que afecta la renta variable, ya sea alta, media o baja.

– Riesgo de crédito.

Su efecto se mide por el costo de la reposición de flujos de efectivo si la otra parte incumple. Uno de los factores que lo afectan es la calificación de las

entidades responsables de calificar la cartera, para el caso colombiano están la Duff and Pheleps de Colombia y la Bank Watch. Si la calificación es alta AAA o hasta BB el portafolio es de gran valor y en la medida en que baje la calificación, el valor del portafolio bajará.

– Riesgo de liquidez.

Uno de los factores que más inciden en este tipo de riesgo es el nivel de disponible o de liquidez que hay en el mercado financiero y que facilita el acceso a los recursos. Cuando el mercado está seco, automáticamente afecta la liquidez porque el dinero se vuelve más costoso.

– Riesgo operativo.

Un factor que hace más fuerte este riesgo es la aplicación de normas, la implantación de procedimientos, el implemento de tecnologías, los controles, y el seguimiento.

– Riesgo legal.

Se presenta por la posibilidad de que existan errores en la formulación de los contratos, o en la interpretación de los mismos.

1.4 CONTROL INTEGRAL DE RIESGOS³

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

Al aplicar los diferentes modelos para obtener el nivel de exposición al riesgo, se obtiene información como:

- La variación relativa de los precios de los activos financieros.
- Determinar los valores en posición por cada activo financiero y por el total del portafolio.
- Cuantificar las pérdidas y ganancias por activo financiero y por el total del portafolio, para determinar el nivel máximo de exposición al riesgo y conocer qué activo tiene mayor riesgo.
- El anterior numeral permite detectar en la entidad, empresa o institución qué estrategias de cobertura se deben manejar para contrarrestar el riesgo, bien sea de tipo administrativo y de la estructura y conformación del portafolio, o de la cartera.

3. CARLOS SÁNCHEZ C. *Valor en riesgo y otras aproximaciones*, 2001, p. 352.

– Un procedimiento de *back testing* para verificar la calidad de las estimaciones y de los parámetros.

– Conlleva a que lo que primero que se debe manejar es el riesgo operativo por cuanto es de manejo del personal de la entidad y se puede racionalizar mediante una adecuada selección y una capacitación en el campo financiero, así como contar con personal de amplia experiencia y conocimiento en el campo del anejo de la tesorería, de las finanzas, del conocimiento del sector.

– A partir del patrimonio técnico que posee la entidad, delimitar perfectamente el nivel máximo de exposición a riesgo y tomar decisiones de obertura oportunas. Lo anterior también se logra con los indicadores que las entidades reguladoras competentes tienen definidos como medida de anticipación a los factores internos que define la propia entidad, conociendo su propia estructura.

– Indicadores y límites de concentración que eviten que las pérdidas no esperadas se propaguen a otras áreas de negocio o dentro del mismo portafolio.

– Estimación de las pérdidas potenciales en la presencia de eventos extremos mediante pruebas de estrés y análisis de sensibilidad.

Eventos extremos: Usualmente se toman muestras de los portafolios para analizar sus tendencias, para el caso de entidades cuyo objeto social no sea propiamente la captación y colocación de recursos, porque para las entidades financieras sí deben tomar el total del portafolio, valorarlo a precios de mercado y cuantificar el riesgo. En cualquiera de los dos casos, para medir las tendencias históricas se debe tomar datos históricos amplios para evitar las decisiones por lo último que sucedió o por tendencias de mercados de situaciones extremas que no son las usuales, bien sean a favor o en contra, pero que indican pérdidas menores o mayores al VaR.

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

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

Pruebas de estrés y análisis de sensibilidad. En términos generales una prueba de estrés consiste en simular escenarios de situaciones extremas del mercado y de la empresa, para medir el comportamiento y estimar el riesgo a que se está expuesto, mediante la determinación de las pérdidas y ganancias de un portafolio. Es decir, a diferencia de los modelos de valor en riesgo y de valores extremos, los escenarios de estrés y de sensibilidad son pruebas no estadísticas.

Las pruebas de estrés más usadas son:

a. Estimar las pérdidas y ganancias del portafolio en el caso de que los factores de riesgo cambien en una magnitud similar a las que se observaron en alguna fecha en las que se presentó un desastre financiero. El procedimiento consiste en las siguientes fases:

- El portafolio se valora a precios del mercado, tomando como base los flujos de los portafolios, aplicando los valores vigentes de los factores de riesgo, como son las tasas de interés, e índice de precios al consumidor, las curvas de rendimiento, y demás indicadores.
- Se estima el rendimiento de cada uno de los factores de riesgo, de mercado, en la fecha que ocurrió el evento irregular.
- Se calcula el valor de estrés de los factores de riesgo aplicando los rendimientos calculados en la fase anterior.
- El portafolio se toma y se encuentra su valor actual, pero ya no con los indicadores vigentes, sino con los estimados, para las situaciones críticas, es decir se revalúa con los valores de los factores de riesgo estimados.
- Se calcula las pérdidas y ganancias (escenario de estrés).

b. Analizar escenarios estructurados: consiste en analizar las pérdidas y ganancias del portafolio tomando ya un escenario similar al que se presentó en una situación en concreto. Este tipo de análisis debe tomar en cuenta la estructura del mercado y cómo cambia durante las crisis. Sus resultados dependen de la capacidad del administrador de riesgos para generar los escenarios. Algunos ejemplos de cómo crear los escenarios son:

- Desplazar la curva de rendimiento, que en el caso de los países se denomina la Cetes.
- Cambiar las sobretasas crediticias, las que se ajustan con las tasas de crisis, se considera la de usura, un *spread*, entre otras.
- Suponer una devaluación y una caída en el mercado bursátil, o una revaluación.
- Evaluar alternativas de fondeo.
- Modificar los modelos de valoración. Es decir no sólo a partir de los indicadores formales que expiden las entidades reguladoras, sino hacer aplicaciones diversas, como por ejemplo modificar los márgenes.
- Suponer cambios en los parámetros y supuestos de los modelos.
- Alterar el valor de las correlaciones.

c. Evaluar escenarios específicos e intuitivos sobre las condiciones propias de la institución. Esto se asemeja un poco a aplicar un modelo interno.

Teoría de los valores extremos (EVT). La teoría de los valores extremos es una técnica actuarial que se concentra en la estimación de las probabilidades de los eventos que se sitúan en las colas de la distribución. Estos modelos se enfocan en las colas de una manera que las pruebas de estrés no cubren ya que buscan una serie de movimientos adversos y los utiliza para generar una simulación estadística que supone que los mercados son anormales, como baja liquidez y pánico masivo.

Dependiendo de la cantidad de eventos extremos disponibles, los modelos EVT se pueden clasificar en dos clases:

Modelos de datos suficientes. Suponen que se cuenta con suficiente información y que los datos están idéntica e independientemente distribuidos. Este es un modelo poco utilizado en el sector.

Back-testing⁴. A fin de verificar la exactitud del VaR y para probar la calidad de la estimación del riesgo se aplica el *back testing* para confirmar que el cálculo del VaR es correcto con respecto de los resultados de pérdidas y ganancias observadas. La prueba estadística consiste en contar cuántas veces las pérdidas observadas exceden el VaR. Para ello hay dos posibilidades.

a. Comparar el VaR de la cartera (de mercado o de crédito) con el VaR de algún *Benchmark* que indique el riesgo de portafolio. El inconveniente con este método es que es difícil encontrar entidades con portafolios semejantes .

b. En retrospectiva, es decir, contrastar el VaR y las pérdidas observadas contra el nivel de confianza, así:

$$\frac{\text{N.º de días } P \& G > \text{VaR}}{\text{Total de días}} \leq (1-\alpha)$$

Donde: P & G = Pérdidas y ganancias observadas.
 α = Nivel de confianza

Si se cumple la desigualdad el modelo es aceptable. De lo contrario, el modelo debe calibrarse.

El valor de riesgo de una cartera ofrece la cuantificación de la máxima que puede experimentar el valor de una cartera a lo largo de un periodo de tenencia

4. SÁNCHEZ C. *Valor en riesgo y otras aproximaciones*, cit., p. 374.

determinado. El VaR por tanto ofrece una base de cálculo idónea para determinar los recursos propios que se han de inmovilizar con fines precautorios.

Se define el riesgo como las posibles variaciones en el valor o rendimientos de una cartera (activos, inversiones, títulos, etc.) de una entidad, ante una variación en la situación financiera o ante la presencia de una eventualidad que afecte a los mismos.

La inmovilización de recursos propios se trata como un fondo de garantías el cual es creado con la finalidad de que ante la variación adversa de los precios o las cotizaciones no afecte de forma negativa los rendimientos de una cartera, o en pocas palabras es una especie de colchón financiero el cual le permite a la entidad maniobrar en caso de que se presenten problemas con los precios y rendimientos del mercado.

Esta previsión o fondo de garantía se hace en función de unos niveles de fiabilidad estadística y en función de los periodos de tenencia considerados.

En cuanto a los niveles de fiabilidad, estos dependen de la eficacia que se persiga con la medida del riesgo. Es usual utilizar niveles de confianza del 99 y el 95 por ciento. Estos márgenes deben ser logrados a las diferentes hipótesis que se consideran en procesos econométricos en los cuales se analizan las posibles variaciones de la cartera en función de las perturbaciones que pudiesen suceder en el mercado como una fluctuación de precios, un exceso de demanda o una guerra. En cuanto a los periodos de tenencia, éstos se refieren a la facilidad de la entidad en abandonar posiciones importantes de la cartera analizada o sea el lapso de tiempo en que vuelve líquida su cartera y dependerá de la liquidez de los activos que componen su cartera.

Esto se expone como la inmovilización como garantía frente a pérdidas en el valor de una cartera por exposición al riesgo de mercado. Existen cuatro pasos fundamentales para la determinación de los riesgos de una cartera.

1. Identificación de los factores de riesgo: La primera etapa consiste en determinar cuáles son las variables cuyo comportamiento puede influir de modo significativo en el valor de la cartera cuyo riesgo se desea cuantificar. Se debe establecer los requisitos para determinar estos factores en cada una de las categorías de riesgo de mercado.

Al analizar el riesgo de una cartera es importante identificar las variables que afectan los rendimientos de una cartera y clasificarlos según su volatilidad de las diferentes posiciones de una entidad de su cartera. Para los factores de

riesgo de interés lo constituye la curva que determina la estructura temporal de los tipos de interés, teniendo en cuenta los diferentes tipos de interés y su vencimiento. A estos segmentos debe asignarse un factor de riesgo, con lo que se considera las volatilidades según los plazos. El comité recomienda que se tomen por lo menos seis factores de riesgo, aunque esto dependerá de las gestiones que realice una 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. Debe haber una clara diferenciación entre el riesgo de activos libres de riesgos y el resto de tipo de interés.

En cuanto a las divisas o tipos de cambio, se debe considerar al menos un factor de riesgo por cada una de las monedas en las que la entidad mantenga abiertas posiciones significativas; esto lleva a que por cada moneda se deba tener en cuenta un determinado riesgo que afecte el rendimiento de la cartera de una entidad en cuanto a divisas se trata.

La variación de precios es un tema de cálculo de riesgo también, ya que el mercado es el que determina los precios de los títulos y activos financieros. La recomendación es que al menos se considere un riesgo de forma general para el precio de los títulos o acciones, aunque dependiendo de las estrategias que se quieran utilizar se deberá pensar en una clasificación más específica y particular de los tipos de riesgo de los precios de los activos.

En cuanto a los factores de riesgo de la mercadería, las entidades deben identificar los diferentes riesgos a los que están expuestas en los diferentes mercados. Esto quiere decir que las entidades deben identificar al menos un riesgo general para cada mercado en donde posean una posición abierta de activos. Los factores de riesgo estarán determinados por las variaciones de dichos precios o cotizaciones.

2. Determinación de la sensibilidad del rendimiento de la cartera frente a los factores de riesgo: Esto se muestra en la variación de los rendimientos de una cartera por la variación unitaria de cada uno de los factores de riesgo; esto se traduce en la elasticidad de la cartera ante un cambio imprevisto en el riesgo de un activo. Lo que se busca es cuantificar el impacto de un cambio en el rendimiento de un activo sobre la rentabilidad de la cartera de la entidad.

El modo de determinar la elasticidad de la cartera estará condicionado por la forma en que se determinaron los riesgos en la etapa anterior, ya que partiendo de la clasificación de los mismos se puede calcular el impacto de las variaciones en la cartera.

Para medir la sensibilidad será necesario simular una variación de forma independiente de cada factor de riesgo o tasas de interés para cuantificar el efecto de la fluctuación en cada uno de los instrumentos que componen la cartera.

Para el cálculo del efecto de la variación del riesgo de tipo de cambio es necesario tomar en cuenta un riesgo en particular para cada tipo de cambio que se tenga posición, así se asimilarán los efectos en la cartera por separado y por cada moneda que constituya a la misma. En cuanto al riesgo en tipo de interés y mercadería, se considera un riesgo general por cada mercado o plazo del mercado, para esto es necesario utilizar metodologías financieras que midan los cambios porcentuales de una cartera por los cambios en puntos básicos de los niveles de riesgo de los activos; los resultados obtenidos estarán condicionados por la estabilidad, la extensión del periodo y la relación entre el factor riesgo y la cartera.

3. Cálculo sobre la variación máxima de los factores de riesgo : Para este fin se puede utilizar diversos métodos, cuyas hipótesis y funcionamiento son explicados en otro apéndice.

4. Al cumplir con los anteriores pasos se puede determinar el valor de riesgo de una cartera la cual estará determinada por la elasticidad de la cartera y por los resultados de los estudios econométricos, hipótesis y conclusiones del proceso de determinación.

1.5 MÉTODOS DE CÁLCULO DEL VALOR EN RIESGO

Es una de las etapas de cálculo del valor del riesgo de una cartera es factible utilizar métodos que nos permitan predecir cuáles serán las variaciones máximas en el futuro para los factores de riesgo. Teniendo en cuenta los factores en el rendimiento de la cartera, a partir de las variaciones máximas se determina el valor de riesgo (VaR).

Este efecto se puede considerar individualmente para cada uno de los factores de riesgo (enfoque delta) o también 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. Esta es la primera clasificación de los métodos a los que podemos recurrir para calcular el valor de riesgo de una cartera.

El enfoque global : Es aquel en el cual el riesgo de la cartera se define como la diferencia entre el valor que se espera que tenga nuestra cartera al finalizar el periodo de tenencia (V_p) y el valor que tienen en la actualidad (V_0) entonces (VaR: $V_p - V_0$).

Debido a esto el enfoque global se basa en dos escenarios: el primero de ellos es la simulación de un escenario para la cartera al determinar un periodo de tenencia de la misma, y dicho escenario es a su vez determinado por la variación máxima prevista en el valor de la cartera. Y el segundo se toma del anterior y se compara con el valor de nuestra cartera actual.

El enfoque delta: Que solo será utilizable en los casos en los cuales los cambios potenciales de la cartera puedan definirse como una función de los cambios de los factores de riesgo; el VaR se calcula según la variación proporcional de los factores.

De todas formas, se use un tipo de enfoque u otro, el cálculo del valor en riesgo de la cartera requiere calcular las máximas variaciones futuras tanto de los factores de riesgo, en el primero de los enfoques, como de la cartera en el segundo; no obstante, en ambos, para determinar la cuantía de esa posible variación utilizamos diversos métodos como:

- Método de simulación histórica.
- Método de simulación de Montecarlo.
- Método de varianzas y covarianzas.

- Método de simulación histórica

En este método de valoración de una cartera el mayor riesgo que se toma es la variación que ha tenido esta cartera a través del tiempo y de esta forma se hace una especie de estudio anterior de las variaciones y posibles patrones de comportamiento para el futuro.

Para esta clase de métodos en los cuales las hipótesis estadísticas no son utilizadas con modelos se debe escoger minuciosamente el periodo histórico y su comportamiento y se pueden considerar las dos posiciones siguientes:

1. Elegir un periodo histórico inmediatamente anterior al momento en el cual se hace el cálculo de máxima variación. Esta posición puede tener la desventaja de que los cambios estructurales no se reflejen de manera adecuada y que estos por ejemplo muestren una escasa volatilidad y a raíz de ello la predicción de baja volatilidad no será la más adecuada para dicho periodo.
2. Elegir un periodo histórico de características similares al presente. Esta posición elimina el problema de no considerar de modo adecuado la volatilidad, pero introduce, mediante la subjetividad, el escoger un periodo que se adecue o no más que otro.

– Método de simulación de Montecarlo

El objetivo de los métodos de simulación de Montecarlo es generar series de números aleatorios con la finalidad de fijar una distribución de probabilidad para la evolución futura, ya sea del factor o los factores de riesgo considerados.

Bajo el nombre de “método de Montecarlo” o “simulación Montecarlo” se agrupa una serie de procedimientos que analizan distribuciones de variables aleatorias usando simulación de números aleatorios.

El método de Montecarlo da solución a una gran variedad de problemas matemáticos haciendo experimentos con muestreos estadísticos en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinístico.

Generalmente en estadística los modelos aleatorios se usan para simular fenómenos que poseen algún componente aleatorio. Pero en el método de Montecarlo, por otro lado, el objeto de la investigación es el objeto en sí mismo, un suceso aleatorio se usa para estudiar el modelo.

A veces la aplicación del método de Montecarlo se usa para analizar problemas que no tienen un componente aleatorio explícito; en estos casos un parámetro determinista del problema se expresa como una distribución aleatoria y se simula dicha distribución.

La simulación de Montecarlo fue creada para resolver integrales que no se pueden resolver por métodos analíticos, para resolver estas integrales se usaron números aleatorios. Posteriormente se utilizó para cualquier esquema que emplee números aleatorios, usando variables aleatorias con distribuciones de probabilidad conocidas, el cual es usado para resolver ciertos problemas estocásticos y determinísticos, donde el tiempo no juega un papel importante.

El método fue llamado así por el principado de Mónaco, por ser “la capital del juego de azar”, al tomar una ruleta como un generador simple de números aleatorios. El nombre y el desarrollo sistemático de los métodos de Montecarlo data aproximadamente de 1944 con el desarrollo de la computadora electrónica. Sin embargo, hay varias instancias (aisladas y no desarrolladas) en muchas ocasiones anteriores a 1944.

El uso real de los métodos de Montecarlo como una herramienta de investigación viene del trabajo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mun-

dial. Este trabajo involucraba la simulación directa de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión de neutrones aleatorios en material de fusión.

Aun en la primera etapa de estas investigaciones, JOHN VON NEUMANN y STANISLAO ULAM refinaron esta curiosa “ruleta rusa” y los métodos “de división”. Sin embargo, el desarrollo sistemático de estas ideas tuvo que esperar el trabajo de HARRIS y HERMAN KAHN en 1948. Aproximadamente en el mismo año, FERMI, METROPOLOS y ULAM obtuvieron estimadores para los valores característicos de la ecuación de SCHRÖDINGER para la captura de neutrones a nivel nuclear.

Algunos matemáticos que han contribuido a la historia del método Montecarlo:

A la edad de 20 años, GEORGE BUFÓN descubrió el teorema binomial, colaboró con CRAMER en mecánica, geometría, probabilidad, teoría del número y el cálculo diferencial e integral. Su primer trabajo *Carreau de Sur le jeu* introdujo cálculo diferencial e integral en la teoría de las probabilidades; escribió *Théorie de la terre*.

La mayoría lo recuerda en el campo de las matemáticas por un experimento de la probabilidad que realizó calculando los palillos que una vez lanzados sobre su hombro caían sobre un piso embaldosado. Contando el número de ensayos, los palillos cayeron a través de las líneas entre los azulejos. Este experimento causó mucha discusión entre los matemáticos que ayudaron hacia una comprensión de la probabilidad.

En 1934, RICHARD COURANT se incorporó a la Universidad de Nueva York, donde formó un pequeño grupo de investigación; este grupo reflejó el estilo de trabajo del famoso instituto Göttinger (Alemania), donde había sido alumno de DAVID HILBERT.

Las investigaciones de COURANT fueron de diversos tipos: métodos finitos de la diferencia, superficies mínimas y ecuaciones diferenciales parciales. Fue pionero en publicaciones de textos matemáticos y de monográficos de alta calidad; un ejemplo es *Métodos de física matemática* por COURANT e HILBERT.

Quizás es más conocido por sus talentos científicos de la organización y dirección en el instituto que lleva su nombre.

FRIEDRICH dijo de él: “No se pueden apreciar los logros científicos de Courant simplemente fijándose en sus publicaciones, pues sus investigaciones no eran aisladas sino que estaba completamente interrelacionado con otros campos de

la ciencia, y además, era la inspiración de muchos otros trabajos de investigación”.

JOHN VON NEWMAN formó parte del grupo de los seis profesores de matemáticas de instituto de estudios avanzados de Princeton junto con J. W. ALEXANDER, A. EINSTEIN, O. VEBLÉN y H. WEYL, en 1933 fue corredactor de *Los anales de las matemáticas* y dos años más tarde de *Compositio Mathematica*.

En 1938 la sociedad de matemática americana concedió a NEUMANN el premio Bôcher por su trabajo *Funciones y grupos casi periódicos de la memoria* publicado en dos partes en 1934 y 1935. Fue uno de los pioneros de la informática haciendo contribuciones significativas al desarrollo del diseño lógico. Avanzó considerablemente en la teoría de los autómatas celulares. Su trabajo con el grupo de Los Alamos continuó desarrollando el *synergism* entre las capacidades de las computadoras y las necesidades de soluciones de cómputo a los problemas nucleares relacionados con la bomba de hidrógeno.

El análisis de sensibilidad permite estudiar el efecto del cambio en una sola variable en un momento dado. Analizando el proyecto desde escenarios alternativos, puede tenerse en cuenta el efecto de un *limitado número* de combinaciones de variantes. La simulación de Montecarlo es un instrumento que permite considerar todas las combinaciones posibles. Por tanto, permite examinar la distribución completa de los posibles resultados del proyecto.

Imagínese que es un jugador en Montecarlo. No sabe nada sobre las leyes de probabilidad (pocos jugadores la conocen), pero un amigo le ha sugerido una complicada estrategia para jugar a la ruleta.

Su amigo realmente no ha comprobado la estrategia, pero confía en que, como *media*, le proporcionará a usted un 2.5% de rentabilidad por cada 50 vueltas es un beneficio del 55 por ciento; la estimación pesimista de su amigo es una pérdida del 50%. ¿Cómo puede saber si verdaderamente son éstas las probabilidades? Una vía simple, aunque posiblemente cara, es comenzar a jugar y registrar los resultados al final de cada serie de 50 vueltas. Después de, por ejemplo, 100 series de 50 vueltas cada una, dibuje una distribución de frecuencias de los resultados y calcule la media y los límites superior e inferior. Si las cosas van bien, puede convertirse en un jugador profesional.

Una alternativa es simular en una computadora la ruleta y la estrategia. En otras palabras, podría dar instrucciones al computador para que obtenga números aleatorios, que serían el resultado de cada vuelta de la ruleta y calcular entonces cuánta hubiese sido la ganancia o la pérdida de la estrategia particular del juego.

Esto sería un ejemplo de simulación de Montecarlo. En el presupuesto de capital reemplazamos la estrategia del juego por un modelo del proyecto, y la rueda de ruleta por un modelo del mundo en el que se desenvuelve el proyecto.

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, 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.

Simulación del proyecto de automóvil eléctrico.

Paso 1: modelización del proyecto. El primer paso en cualquier simulación es introducir un modelo preciso del proyecto. Por ejemplo, el análisis de sensibilidad del proyecto de automóvil eléctrico estaba basado implícitamente en el siguiente modelo de flujo de tesorería:

Flujo de tesorería = (ingresos - costos - amortización) x (1 - tasa impositiva) x amortización

Ingresos = tamaño de mercado x cuota de mercado x precio unitario.

Costes = (tamaño del mercado x cuota del mercado x costos variables unitarios) + costo fijo.

Este modelo es todo lo que necesita para el sencillo análisis de sensibilidad que realizamos anteriormente. Pero si se desea simular el proyecto en su conjunto, necesita ver cómo están relacionadas las variables.

El modelo completo del proyecto incluiría un conjunto de ecuaciones para cada variable.

Paso 2: especificación de probabilidades para los errores de previsión. Se espera que el tamaño del mercado sea 10 millones de automóviles, sin llegar a pensar que se está subvalorando o sobreestimando el tamaño del mercado; por

tanto, el error de previsión esperado es posible estimaciones. El tamaño del mercado podría alcanzar sólo 9 millones de coches o llegar hasta los 11 millones. Así el error de previsión tiene un valor esperado de cero y una amplitud de más menos 10%. Es preciso lograr análogos perfiles de los posibles errores de previsión para cada una de las demás variables del modelo.

Paso 3: Seleccionar números para los errores de previsión y calcular los flujos de tesorería.

Ahora se toman muestras de la distribución de los errores de previsión, se calcula los flujos de tesorería resultantes para cada período y los anota. Después de realizar muchas iteraciones comienzan a tenerse estimaciones precisas de la distribución de probabilidad de los flujos de tesorería.

Evaluación de la simulación: se paga lo que vale.

La simulación, a pesar de ser costosa y complicada, tiene la ventaja obvia de impulsar al encargado de las previsiones y al decisor a enfrentarse con la incertidumbre y las interdependencias.

Una vez construido el modelo, es sencillo analizar qué ocurriría si fuese posible reducir el grado de incertidumbre de cualquiera de las variables. También es posible utilizarlo para examinar los efectos de modificaciones en el proyecto.

Todo esto hace que la simulación parezca una panacea para las enfermedades del mundo. Pero, como suele suceder, se paga lo que vale. De hecho, a veces se paga más de lo que vale.

No es sólo el asunto del tiempo y el dinero gastados en la construcción del modelo. Es muy difícil estimar las interrelaciones de variables y las distribuciones de probabilidad subyacentes, aun cuando honradamente se intente hacerlo. Pero en el presupuesto de capital, los encargados de las previsiones rara vez son imparciales y las distribuciones de probabilidad en las que está basada la simulación pueden estar muy sesgadas.

En la práctica, una simulación que pretenda ser realista será también muy compleja. Por ello, muchas veces el decisor delega la construcción del modelo en "científicos de la dirección", consultores o asesores. El peligro está en que, aun por tanto, no confíe en él. Esta es una experiencia bastante corriente, aunque irónica, el modelo intentaba abrir cajas negras y acaba creando otra.

– Método de varianzas – covarianzas

En este método se supone que el valor en riesgo de una cartera, entendido como la máxima pérdida que, con un nivel de fiabilidad estadística determinado, puede presentar el valor de la misma durante un periodo temporal concreto en donde las posiciones permanecen inalteradas; es proporcional a la desviación típica del rendimiento de la cartera, calculada de acuerdo con la información histórica.

El procedimiento del cálculo consta de cuatro fases:

1. Identificación de los factores de riesgo.
2. Determinación de la sensibilidad.
3. Cálculos de la variación máxima de los factores de riesgo.
4. Determinación de la VaR de la cartera.

Para poder calcular el valor en riesgo en determinado momento t (VaR_t), se aplica la siguiente ecuación:

$$VaR_t = \phi \sqrt{\tau} \sigma_{pt}$$

Donde f depende del grado de confianza que se desee lograr con la medida, pt es la desviación típica del rendimiento de la cartera prevista para determinado periodo de tenencia, y t es el periodo de tenencia.

La desviación típica se puede calcular, bien de manera directa o *enfoque global*; o con base en las desviaciones típicas y correlaciones entre los factores de riesgo *enfoque delta*.

Enfoque global: se considera de modo individual el efecto de los factores de riesgo en la cartera.

Enfoque delta: se consideran los factores de riesgo en el rendimiento de la cartera sin distinguir la parte que corresponde a cada una de ellos.

En el enfoque delta la varianza (desviación típica) de la cartera se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma^2_{tp} = \sum_{i=1}^u \delta_i^2 \sigma_{it}^2 + 2 \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^u \rho_{ij} \delta_i \delta_j \sigma_{it} \sigma_{jt}$$

Donde δ es la sensibilidad del rendimiento de la cartera frente al factor de riesgo i -ésimo; s es la volatilidad de dicho factor de riesgo i -ésimo (medida a través de su desviación típica) y σ_{ijt} es el coeficiente de correlación entre los factores de riesgo i -ésimo y j -ésimo.

Se comprueba fácilmente que la expresión anterior es el desarrollo del producto matricial.

$\sigma^2_{tp} = D'CD$, donde D es el vector que recoge las sensibilidades del rendimiento de la cartera frente a los distintos factores de riesgo:

$$D' = (\delta_1 \delta_2 \dots \delta_n)$$

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

En todo caso, con independencia de cual sea la opción elegida para determinar el VaR (global o delta), en el método de varianzas covarianzas es necesario calcular una serie de valores para las varianzas (tanto en enfoque delta como enfoque global) y covarianzas (solo en el enfoque delta). Estos valores se pueden obtener, basándose en información histórica, en función de la volatilidad implícita en el previo de las opciones. Esta última presenta dos inconvenientes:

1. 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.
2. El ámbito de aplicación será limitado; la volatilidad implícita solo se podrá obtener para los activos cuyos mercados de opciones proporcionen precios de manera frecuente.

Los inconvenientes anteriores permiten que los gestores de riesgo basen sus modelos en información histórica. Cuando se utiliza este tipo de información para calcular valores futuros de varianzas covarianzas, en lo fundamental existen cuatro opciones o hipótesis de partida que dan lugar a sendas metodologías aplicables para elaborar predicciones sobre la varianza de una variable basándose en información histórica.

1. Suponer que la varianza permanece constante en el tiempo.

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{s=t-K}^{t-1} (x_{is} - \mu_i)^2}$$

Donde σ_i es el valor de la desviación típica del factor de riesgo i -ésimo calculada al inicio de un periodo t con base en información histórica; x_{is} representa el valor del factor de riesgo (variación en el precio de mercado) en el momento σ_i anterior en el tiempo al momento en que se efectúa el cálculo de la varianza; K es la extensión del periodo histórico considerado para el cálculo de la desviación típica; μ_i es el valor promedio del factor de riesgo calculado en el momento t con base en información histórica.

2. Que dicha varianza cambia a lo largo del tiempo, considerando que toda información histórica es igualmente relevante a la hora de predecir cuál 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:

$$\sigma_{it} = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{s=t-K}^{t-1} (x_{is} - \mu_{it})^2}$$

Donde σ_{it} es la desviación típica del factor de riesgo en el momento t , calculada con base en información histórica; x_{is} representa el valor del factor en el momento s ; y μ_{it} es el valor promedio del factor de riesgo considerado, calculado en el momento t con base en información histórica.

$$\mu_{it} = \frac{1}{k} \sum_{s=t-k}^{t-i} x_{is}$$

3. 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 de la varianza futura: medias móviles exponencialmente ponderadas. La expresión para calcular la desviación típica (varianza) es la siguiente:

$$\sigma_{it} = \sqrt{\frac{1}{(1-\lambda) \sum_{s=t-k}^{t-1} \lambda^{t-s-1}} \sum_{s=t-k}^{t-1} (x_{is} - \mu_{it})^2}$$

Donde se emplean variables y parámetros que ya se definieron antes, a excepción de λ , denominado factor de importancia decreciente; 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 anterior para elaborar predicciones sobre el valor de la varianza de los factores supone, en realidad, calcular dichas predicciones como medias ponderadas de observaciones históricas. Las ponderaciones de-

crecen 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 , se deriva de la siguiente expresión:

$$(1-\lambda)\lambda^{t-s-1}$$

Como el valor del factor de importancia decreciente (λ) 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.

4. suponer que la varianza no permanece constante en el tiempo, considerando que su evolución puede estudiarse mediante un modelo de heterocedasticidad condicional autorregresiva.

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

Donde α_0 a α_p ($k=0, \dots, q$; $l=1, \dots, p$) son los parámetros del modelo, ε_{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.

En estos modelos, como se puede apreciar en la expresión anterior, 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.

MODIFICACIONES AL RÉGIMEN DEL IMPUESTO DE RENTA Y COMPLEMENTARIOS EN LA LEY 863 DE 2003

Luis Humberto Suárez Quevedo
Profesor de Problemas Económicos Colombianos.
Facultad de Contaduría Pública,
Universidad Externado de Colombia

El presente artículo analiza las modificaciones que introdujo la reforma tributaria, mediante la Ley 863 del 2003, específicamente sobre el impuesto de renta, aunque una nueva reforma está sobre el escritorio. Sin embargo, la anterior reforma está vigente y es necesario revisar las operaciones ocurridas durante el año 2004 para atender las exigencias de la ley.

El Congreso de la República aprobó mediante la Ley 863 del 29 de diciembre de 2003 una nueva reforma tributaria para Colombia, la cual comenzó a regir a partir del primero de enero del 2004.

Si bien los 69 artículos de la citada ley introducen modificaciones en aspectos como el impuesto sobre la renta y complementarios, la retención en la fuente, el impuesto sobre las ventas, el impuesto al patrimonio, el gravamen sobre los movimientos financieros, además de incorporar cambios en las normas antievasión, los procedimientos tributarios y otras disposiciones, es objeto del presente artículo centrarse en el estudio y análisis de los aspectos concernientes a las modificaciones introducidas al régimen del impuesto de renta y complementarios de la ley en comento.

El artículo primero de la Ley 863 puso límite a los ingresos no constitutivos de renta, así:

1. Determinó que el cien por ciento de las utilidades originadas en los procesos de democratización de sociedades, realizados mediante oferta pública, serán gravados con el impuesto sobre la renta.

Se sigue entendiendo que un proceso de democratización de la propiedad accionaria de las sociedades anónimas comporta la oferta al público en general