

CÁLCULO DEL VaR EN LOS DERIVADOS DE CRÉDITO: *CREDIT DEFAULT SWAP*¹

J. David Cabedo Semper, cabedo@cofin.uji.es
José Antonio Reverte Sánchez, reverte@cofin.uji.es
José Miguel Tirado Beltrán, tirado@cofin.uji.es
Universidad Jaume I

ABSTRACT:

El desarrollo que los derivados de crédito han experimentado en los últimos años ha sido notorio. Esto se ha debido, al menos en parte, a la aparición de una normativa de supervisión bancaria, emanada del Comité de Basilea, que los considera como instrumentos mitigadores de riesgo. Gran parte de la literatura se ha centrado en la valoración de estos activos financieros, pero son pocos los estudios que han abordado la problemática de los riesgos que generan. En el presente trabajo se propone un método para cuantificar el riesgo de mercado asociado a la utilización de derivados de crédito. El método, basado en el valor en riesgo, resulta especialmente idóneo para estos activos negociados en mercados OTC, caracterizados por una escasa estandarización de condiciones y una no muy elevada liquidez. En el trabajo se realiza una aplicación empírica del método propuesto, que evidencia la sencillez de su utilización.

Palabras clave: Valor en riesgo; *Credit Default Swap*; Riesgo de crédito; *Bootstrap*.

1. INTRODUCCIÓN

La incertidumbre sobre el valor de las posiciones futuras de una operación financiera, bien porque su retorno sea inferior a la cantidad esperada, bien porque la probabilidad de incumplimiento asociada a la calidad crediticia del activo aumente o bien por la influencia de múltiples variables económicas, se traduce en la posibilidad de una disminución del valor patrimonial de la entidad operadora y, por lo tanto, de una posible pérdida. Esta probable situación, enmarcada como riesgo de crédito, se considera como la de mayor peligro para la estabilidad y continuidad de las entidades bancarias en caso de que ocurran eventos adversos para ello.

Por tanto, siendo el riesgo de crédito el más importante de los riesgos a los que se encuentran expuestos los bancos, resulta racional la relevancia que han adquirido los temas relacionados con dicho riesgo de crédito, tanto a nivel interno en el seno de las propias entidades bancarias, como a nivel externo en los organismos reguladores encargados de su supervisión, e incluso en el mundo académico. Para las primeras, porque este riesgo está implícito en la mayor parte las actividades financieras; para los reguladores, por cuanto es importante asegurar que la exposición al riesgo de crédito asumido por las instituciones financieras no pone en peligro al sistema financiero. A este respecto conviene destacar la normativa propuesta por el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (2004), en la que se incentiva la mejora de los métodos de cuantificación del riesgo de crédito y la mejora en su gestión.

En este sentido, cabe citar que este organismo a través de la normativa propuesta en el Nuevo Acuerdo de Capital (conocido por Basilea II) reconoce que, entre los instrumentos utilizables para la mitigación del riesgo de crédito se encuentran los derivados de crédito, siempre que estén sujetos a unos determinados requisitos formales y cuando las entidades bancarias usuarias hayan establecido un sólido y eficiente marco de gestión del riesgo. En el caso de los *Credit Default Swaps* (CDS) y *Total Return Swaps* (TRS), se ha establecido su equiparación a las condiciones requeridas para una garantía personal, para cualquiera de los enfoques permitidos para el cálculo de los recursos propios mínimos por exposición al riesgo de crédito. En este contexto, los derivados de crédito proporcionan una reducción de los recursos propios mínimos a inmovilizar por los riesgos asumidos al conseguir una reducción de los mismos, derivándose de ello una mejora en la rentabilidad de los recursos propios totales de la entidad.

La normativa citada, Basilea II, es un incentivo para el uso de los derivados de crédito. Desde la aparición de estos instrumentos, los mercados han crecido de modo exponencial, convirtiéndose en una herramienta importante para las instituciones financieras. En este sentido basta señalar que, el un volumen de negociación de derivados de crédito en 1996 fue de 40 mil millones de dólares de valor nominal², y la Asociación Internacional de Swaps y Derivados-ISDA (2004), ha puesto de manifiesto que el pasado año de 2004 el volumen de negociación alcanzó los 8.420 billones de dólares (un crecimiento en torno al 55% sobre el ejercicio anterior, que fue de 5.440 billones de dólares). De entre los distintos instrumentos derivados de crédito que se negocian, los *Credit Default Swaps* (CDS) representan aproximadamente el 45% de la cuota de mercado.

A pesar de que su origen sea la cobertura frente a determinados riesgo, la operatoria con derivados de crédito provocan a su vez riesgos (de mercado, ...). Por lo tanto, las entidades financieras, deberán identificar, analizar y cuantificar los riesgos financieros a los que se exponen bajo dos perspectivas: una, la de establecer medidas de cobertura máximas y eficientes; y otra, establecer la provisión de recursos propios regulativos, capaces de amortiguar los efectos de las pérdidas potenciales, esperadas e inesperadas.

En el anterior contexto, el objetivo del presente trabajo es proponer un método para cuantificar el riesgo de mercado de un derivado de crédito. El método propuesto, de carácter no paramétrico, permite estimar el valor en riesgo de unos activos financieros, como son los derivados de crédito, negociados fundamentalmente en mercados OTC, y que por lo tanto están poco estandarizados y de los que tampoco se dispone de amplias series temporales de valores de cotización.

Para el logro de este objetivo, el trabajo se estructura de la siguiente manera: en el apartado dos, se describe en primer lugar el funcionamiento de los derivados de crédito, particularmente los *Credit Default Swap* (CDS) y, en segundo término, las dos categorías principales de modelos para su valoración: los modelos estructurales y los de forma reducida³. En el tercer apartado, se realiza la

¹ Los autores desean agradecer a la Fundación Bancaria (código: P1 1*2003-20) el apoyo financiero prestado.

² British Bankers' Association (2002).

³ Recientemente, han aparecido los modelos de barrera crediticia que se incluyen en documentos de trabajo de Gordy y Hietfeld (2001), Douady y Jeanblanc (2002), Hull y White (2001) y Avellaneda y Zhu (2001).

propuesta de método para estimar el VaR de un derivado de crédito. En el apartado cuarto, se aplica este método para la estimación del valor en riesgo de un CDS. Y por último, en el apartado quinto se señalan las conclusiones del trabajo.

2. DERIVADOS DE CRÉDITO: CREDIT DEFAULT SWAP

Los derivados de crédito son contratos financieros que transfieren el riesgo de crédito, que se negocian en mercados no organizados (OTC) y cuyos valores se encuentran vinculados al cambio en la calidad crediticia de un instrumento subyacente. Así pues, los derivados de crédito se interpretan como instrumentos financieros que permiten la intermediación y desagregación del riesgo de crédito.

En los contratos de derivados de crédito intervienen dos partes: una, el comprador que es el que posee el riesgo de crédito, y otra el vendedor del instrumento que le asegura al primero un determinado importe en caso de que ocurra un hecho específico, por ejemplo un impago. Entre ambas partes se originarán flujos monetarios: por un lado, las cuotas fijas o variables que periódicamente el comprador del contrato debe pagar al vendedor; y por otro, el flujo variable que significa el potencial pago del vendedor. En definitiva, los derivados de crédito funcionan como una póliza de seguro. Sin embargo, tal y como se ha indicado anteriormente, aunque estos activos son una buena herramienta para gestionar el riesgo de crédito, su utilización supone asumir nuevos riesgos residuales.

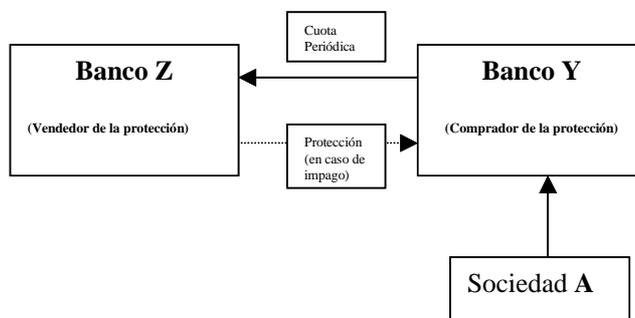
Hattori (1996) un derivado de crédito como “un contrato que lleva aparejada una obligación de pago, dependiente bien del valor de un instrumento de deuda (un préstamo o un bono), bien de la solvencia, bien del rendimiento diferencial, e incluso de la calificación crediticia de uno o más prestatarios determinados, cumplimentándose dicha obligación de pago mediante una liquidación en metálico o a través de la entrega del activo o activos subyacentes”.

Los instrumentos derivados de crédito, en términos generales, forman tres grupos⁴: las permutas financieras, las opciones crediticias y los productos estructurados que incluyen derivados de crédito. Por la importancia de su utilización por parte de los principales usuarios de los derivados de crédito, los bancos, este trabajo se centra en una forma particularmente común de opciones crediticias como es el *Credit Default Swap* (CDS). Este tipo de derivado de crédito, perteneciente al grupo de las opciones crediticias o *credit options*, es empleado para la cobertura del riesgo de disminución en la calidad crediticia.

Normalmente el comprador del *swap* es una entidad financiera, la cual acuerda pagar a otra entidad, que es la vendedora de la protección, una cuota fija periódica a cambio de una indemnización en el caso de que el crédito constituido como referencia no se desarrolle de la forma convenida.

El funcionamiento de esta operativa queda recogido en el esquema de la figura 1: el Banco Y posee un bono de alto riesgo de la Sociedad A y, para protegerse de un posible impago, contrata un *Credit Default Swap* (CDS) con el Banco Z. El Banco Y pagará una cuota fija periódica, y a cambio el Banco Z, en caso de producirse el impago, recibirá el bono y abonará su nominal al Banco Y.

Figura 1: Derivados de Crédito: Proceso de *Credit Default Swap* o *Swap* de Riesgo de Impago



Fuente: Elaboración propia

Un CDS manifiesta su cualidad de protección crediticia porque provee de un seguro contra el riesgo de insolvencia de una entidad emisora, por ejemplo de un bono. Así, el vendedor de la protección queda obligado a la compra del bono, a su valor par, si se sucede una eventualidad tal como quiebra, incumplimiento de obligaciones de pago, reestructuración de operaciones financieras, etc. Por su parte, el comprador de la protección deberá de abonar periódicamente al vendedor de la protección, y hasta la fecha de vencimiento del contrato CDS o hasta cuando el evento crédito ocurra (lo que suceda primero), un porcentaje (en puntos básicos) sobre el valor nominal⁵.

Resulta obvio, el que los flujos de caja que se generan por el funcionamiento de éste tipo de contratos son similares a los de un seguro. El comprador del contrato paga periódicamente una cuota fija (en proporción al valor del préstamo, normalmente) con la cual se asegura contra los acontecimientos que imposibiliten la recuperación de sus préstamos cubiertos. En el caso de que el préstamo asegurado sea incumplido, el asegurador (pagador contingente) deberá reembolsar una cantidad monetaria compensatoria de la pérdida, y ninguna cantidad en caso de que el préstamo sea recuperado.

En resumen, se deduce que hay una transferencia del riesgo de crédito y un coste por ello que, necesariamente se ha de valorar a efectos de rendimientos netos de la cartera y, más tarde, de los recursos propios y totales de la entidad compradora de protección.

El uso de CDS's, al no quedar exenta de exposición al riesgo de crédito, exige de su valoración. Esta valoración no sólo es necesaria en el sentido prudencial fijado por los reguladores bancarios; el empleo de derivados de crédito significa un coste y, por lo tanto, resulta de interés para el establecimiento de precios de la operación cubierta y, por ende, fijar la referencia de las rentabilidades exigidas

⁴ Véase Pérez (2002).

⁵ Estos pagos periódicos se expresan como CDS spread (o la prima CDS).

por los inversores sin perjudicar el fin primordial empresarial como es la creación de valor. Por ejemplo, la IAS39 hace mención a la valoración de los derivados, resaltando que debe realizarse a precios de mercado. En mercados organizados esto no representa ningún problema, pero si se trata de derivados negociados en mercados OTC, el concepto de valoración a precio de mercado no es algo tan evidente. Ante estas situaciones se deberá recurrir modelos de valoración de Derivados de Crédito: modelos estructurales y modelos de forma reducida.

Los primeros, los modelos estructurales, fueron introducidos por Merton (1974) y desarrollados, entre otros, por Black y Cox (1976), Geske (1977), Brennan y Schwartz (1980), Titman y Totous (1989), Kim, Ramaswamy y Sundaresan (1993), Shimko, Tejima y van Deventer (1993), y Longstaff y Schwartz (1995a y b). Se basan en el “valor de la empresa” para determinar el suceso de crédito. Así, en diversos trabajos, como los propuestos por Longstaff y Schwartz (1995b) y Zhou (1996), se pretende modelar el balance de situación del prestamista. El pasivo fijo de la empresa constituye un punto límite para la valoración de sus activos. Si los activos descienden por debajo de ese límite, la empresa, se entiende que no podrá soportar su deuda y se producirá la insolvencia. Es decir, en los modelos estructurales, el incumplimiento se produce cuando el valor de los activos de una empresa disminuye hasta el punto de que ya no es capaz de pagar sus deudas fijas.

Un enfoque alternativo lo integran los modelos de forma reducida, diferenciándose fundamentalmente sobre del grado de previsibilidad de la morosidad. En este segundo enfoque, el suceso de crédito está supeditado a información exógena a la entidad, como es la información de mercado relacionada con los títulos de la entidad de referencia y la estructura temporal de tipos de interés. De entre los trabajos a destacar con la utilización de esta metodología, se citan los desarrollados por Jarrow y Turnbull (1995), Das y Tufano (1996), Jarrow, Lando y Turnbull (1997), Madan y Unal (1998), Duffie y Singleton (1999), Hull y White (2000), Howeling y Vorst (2002). Estos modelos, necesitan de una menor cantidad de datos que los modelos estructurales, lo que ha permitido que se generalice su uso para valorar instrumentos con riesgo de crédito.

De entre éstos, a continuación se desarrolla el propuesto por Jarrow y Turnbull (1995) que es el que se utilizará en el cálculo del VaR realizado en apartados posteriores. Este modelo se basa en un argumento sencillo:

El precio de cualquier valor –por ejemplo bonos o *credit default swaps*– puede expresarse como el valor esperado de sus flujos de caja futuros. El valor esperado se obtiene multiplicando cada posible flujo de caja futuro por la probabilidad neutral al riesgo de su ocurrencia, donde la probabilidad neutral al riesgo viene determinada por el diferencial en las obligaciones con riesgo de incumplimiento. Se analiza, para un nacional unitario, la siguiente expresión (1):

$$BCZR_t = BCZN_t \cdot [(1 - PD) \cdot 1 + PD \cdot TR] \quad (1)$$

siendo $BCZR_t$ el precio actual de un bono cupón cero emitido por la empresa X que vencerá en un período determinado (t) y con riesgo; $BCZN_t$ el precio actual de un bono del Tesoro de cupón cero (y por tanto sin riesgo) que también vence en un período específico; PD la probabilidad de incumplimiento ajustada al riesgo; y TR la tasa de recuperación.

Este precio se puede interpretar como el valor actualizado (utilizando tasas de descuento libres de riesgo) de los flujos de caja ajustados al riesgo esperados sobre el bono. El descuento se realiza con $BCZN_t$, y el precio actual de un bono del Tesoro de cupón cero (y por tanto sin riesgo) que también vence en un período específico. El valor esperado, se calcula a partir de los flujos de caja sobre los bonos de la Compañía X y la probabilidad de incumplimiento ajustada al riesgo, PD . De esta forma, o bien incumple la compañía X , pagando un porcentaje conocido del valor nominal, TR , con la probabilidad PD , o bien cumple, y paga el todo el valor nominal con la probabilidad $(1 - PD)$.

Partiendo de que se conoce la tasa de recuperación, TR , con los precios de mercado para $BCZR_t$ y $BCZN_t$, se puede averiguar la probabilidad de incumplimiento, PD , para la valoración de mercado. Despejando PD en (1) se llega a la expresión (2):

$$PD = \frac{1 - \frac{BCZR_t}{BCZN_t}}{1 - TR} \quad (2)$$

Si se expresan los tipos de interés en forma compuesta continua, los precios actuales del bono de cupón cero libre de riesgo y el del bono de cupón cero sujeto a riesgo quedarán según la expresión (3):

$$\begin{aligned} BCZN_t &= e^{-rt} \\ BCZR_t &= e^{-(r+s)t} \end{aligned} \quad (3)$$

donde r es la tasa libre de riesgo, s es el diferencial crediticio (*spread*) o prima, y t el período determinado de vencimiento. De este modo, los precios actuales del bono de cupón cero libre de riesgo a un año y el del bono de cupón cero sujeto a riesgo a un año, (3) quedará como la expresión (4):

$$\begin{aligned} BCZN_t &= e^{-r} \\ BCZR_t &= e^{-(r+s)} \end{aligned} \quad (4)$$

Incorporando los datos de (4) en la expresión (2), se obtiene (5):

$$PD = \frac{1 - \frac{e^{-(r+s)}}{e^{-r}}}{1 - TR} = \frac{1 - e^{-s}}{1 - TR} \quad \text{asumiendo que } e^{-s} \cong 0 \Rightarrow PD = \frac{s}{1 - TR} \quad (5)$$

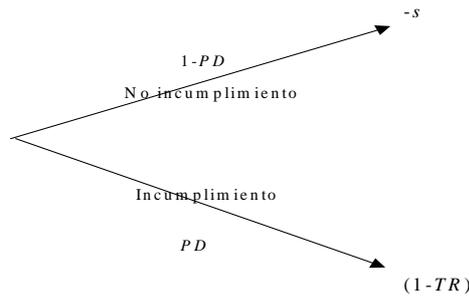
Es decir, el diferencial crediticio es pequeño ($e^{-s} = 1 - s$) y tiende a cero. Tal y como se muestra en (5), la relación entre el diferencial crediticio (s) de un CDS simple y el precio del $BCZR_t$ (el precio actual de un bono cupón cero emitido por la empresa X que vencerá en un período t y con riesgo) es el numerador de (5):

$$s = 1 - \frac{BCZN_t}{BCZN_t}$$

Una vez expuesto el argumento anterior, se valora un CDS utilizando el modelo de Jarrow y Turnbull (1995). Se parte de la misma premisa anterior de considerar sólo un período determinado (t). Desde una óptica del comprador de la protección, ante la presencia de un CDS, sólo se pueden suceder uno de los dos casos: A) o no tiene problemas de cobro y sólo se habrá pagado la prima establecida (s); B) o hay incumplimiento, y el vendedor del CDS pagará de la manera concertada⁶. Dándose una probabilidad de incumplimiento (PD) hasta el vencimiento del activo financiero CDS y una la tasa de recuperación (TR), llegada la eventualidad que obligue a la liquidación del CDS, la cantidad del protector al comprador de la cobertura será $(1 - TR)$.

Mediante la siguiente figura (2) se muestran las dos posibles situaciones comentadas:

Figura 2: Situaciones posibles para el comprador de protección con un CDS



Fuente: Elaboración propia

La valoración del CDS, descontando los pagos generados por el mismo será la siguiente según expresiones (6) y (7):

$$Valor_A^{CDS} = -(1 - PD) \cdot s \cdot e^{-r} + (1 - TR) \cdot PD \cdot e^{-r} \quad (6)$$

$$Valor_B^{CDS} = -(1 - PD) \cdot s \cdot e^{-r} + (1 - TR - s) \cdot PD \cdot e^{-r} \quad (7)$$

donde e^{-r} es el factor de descuento sin riesgo al vencimiento del CDS.

Como se desprende de este modelo, para valorar el CDS es necesario conocer la prima contratada (*spread*), la probabilidad de insolvencia o incumplimiento (PD) y los valores del factor de descuento sin riesgo.

Como extensión de lo desarrollado, basta con plantear una situación en la cual puedan concertarse más de un período para los pagos de primas del CDS. En todo caso, como el hecho de que surja un incumplimiento, implica una resolución definitiva del CDS, la activación del mismo tendrá como liquidación unas situaciones similares a lo estudiado hasta ahora, debiendo tener en cuenta si el evento ocurre estando un período en vigor. Y así, la fracción del año o período que haya transcurrido será objeto de prorrateo.

Mediante un sencillo desarrollo, a través de árboles de decisión y teniendo en cuenta las probabilidades de incumplimiento acumuladas hasta el vencimiento del CDS, el modelo representado a través de las expresiones (6) y (7) adoptaría las (8) y (9) para cada situación posible (pago de prima en el último período vs. no pago de prima en el último período):

$$Valor_A^{CDS} = -s \cdot \sum_{i=1}^n \Delta T_i \cdot (1 - Q_i) \cdot e^{-r \cdot t_i} + (1 - TR) \cdot \sum_{i=1}^n (1 - Q_{i-1}) \cdot PD_i \cdot e^{-r \cdot t_i} \quad (8)$$

$$Valor_B^{CDS} = -s \cdot \sum_{i=1}^n \Delta T_i \cdot (1 - Q_{i-1}) \cdot e^{-r \cdot t_i} + (1 - TR) \cdot \sum_{i=1}^n (1 - Q_{i-1}) \cdot PD_i \cdot e^{-r \cdot t_i} \quad (9)$$

siendo n el número de pagos de prima estipulados; ΔT_i es la fracción del período entre dos momentos de pago de prima; PD_i la probabilidad de incumplimiento entre tales períodos consecutivos, bajo el supuesto de no ocurrencia previa, lo que se denomina probabilidad condicional de incumplimiento entre T_{i-1} y T_i ; s es la prima a pagar cada período, significada en términos anuales; TR es la tasa de recuperación estimada; $e^{-r \cdot t_i}$ es el factor de descuento sin riesgo en el momento i ; y, por último, los términos Q_i que representan la probabilidad de que ocurra el incumplimiento antes de⁷ T_i .

Bajo la hipótesis de que todas las probabilidades condicionales de incumplimiento sean iguales para todos y cada uno de los períodos, aplicando el diferencial o *spread* de mercado⁸, se puede establecer una relación entre la PD_i , TR y el *spread* de mercado, tal y como se realizó para el modelo en un solo período.

En el presente se utiliza el modelo de Jarrow y Tumbull (1995), considerando el *spread* determinado por valoración neutral al riesgo⁹ (*VNR*) bajo la ausencia de oportunidades de arbitraje.

⁶ La liquidación puede ser por entrega (100% del incumplimiento) o por diferencias por lo que el comprador del CDS debe recibir, en caso de insolvencia o default la diferencia entre el valor par del bono y la tasa de recuperación, especificándose en este caso el pago de la prima.

⁷ Si Q_0 es nula, la i -ésima se representará como sigue: $Q_i = Q_{i-1} + (1 - Q_{i-1}) \cdot PD_i$

⁸ El *spread* de mercado es el que anula el valor inicial del derivado o CDS.

3. PROPUESTA PARA LA ESTIMACIÓN DEL VALOR EN RIESGO

Uno de los aspectos en los que se ha centrado gran parte de la literatura sobre derivados de crédito, en general y sobre *Credit Default Swaps* en particular, ha sido la problemática de su valoración. Prueba de ello la constituye el importante número de trabajos sobre el tema que se publican, de los que los citados en el apartado anterior no constituyen sino una pequeña muestra.

No obstante, resulta conveniente remarcar que los derivados de crédito son activos financieros y que por lo tanto su precio o valor puede verse alterado con el paso del tiempo debido al denominado riesgo de mercado. Resulta por tanto interesante disponer de una cuantificación de este riesgo, la cual, desde hace ya algunos años, viene realizándose a través del VaR.

El valor en riesgo de un CDS podría definirse como la máxima variación que puede experimentar el valor de dicho activo financiero a lo largo de un período de tiempo determinado (período de tenencia) y con un nivel de confianza estadística preestablecido. En el momento de su constitución, el CDS debe tener, por definición, un valor igual a 0: el valor actual, en términos de esperanza matemática, de la corriente de pago de primas debe ser igual al valor actual (también en términos de esperanza matemática) de la indemnización a percibir. Ahora bien, a partir de dicho momento, en general, uno de los valores actuales superará al otro, por lo que el CDS tendrá un valor positivo bien para su vendedor (en el caso de que el mayor valor actual corresponda a la corriente de pago de las primas) o bien para su comprador (cuando se produzca la situación inversa). El valor en riesgo proporciona una cuantificación de la máxima variación en dicho valor.

Para poder realizar el cálculo del VaR se debe fijar previamente el valor de sus dos parámetros fundamentales:

- El período de tenencia o período para el cual se calcula la máxima pérdida. En el caso de los derivados de crédito negociados en mercados OTC (y por tanto con poca liquidez), este período de tenencia debería coincidir con el tiempo que medie entre el momento de cálculo del VaR y el instante más próximo en el cual se produzca el pago de la prima y/o pueda producirse la indemnización en caso de insolvencia. Estos períodos de tenencia serán de días o meses.
- El nivel de fiabilidad estadística asumido. Niveles entre el 90 y el 99% son los que comúnmente se utilizan.

A partir de estos dos parámetros, el VaR puede calcularse, teóricamente, en base a dos enfoques (Cabedo y Moya, 2000):

- El enfoque delta: cuantifica la máxima variación en el valor a partir de las máximas variaciones en los factores de riesgo (precios) y de la sensibilidad del valor de la cartera o activo financiero analizado frente a los cambios en estos factores.

$$\text{VaR} = S \cdot C \quad (10)$$

donde S representa la sensibilidad del valor de la cartera frente a los cambios en los factores de riesgo, y C denota el montante de las variaciones potenciales en los factores de riesgo; estos cambios potenciales se calculan en base a las máximas variaciones previstas en estos factores, asociadas al nivel de confianza estadística asumido.

- El enfoque global: cuantifica la máxima variación comparando el valor del activo o cartera analizados al final del período de tenencia, con el valor de dicho activo al inicio del mencionado período.

$$\text{VaR} = V_p - V_0 \quad (11)$$

donde V_p es el valor esperado al finalizar el período de tenencia y V_0 es el valor de en el momento actual.

Por tanto, el enfoque global se basa en, primero, la simulación de un escenario previsto para el activo o cartera analizados al finalizar el período de tenencia; dicho escenario se determina en base a la máxima variación de valor prevista, asociado al nivel de fiabilidad estadística asumido. Y segundo, en la comparación del mencionado escenario con los niveles en los que actualmente se sitúa el valor de cartera.

Para períodos de tenencia largos y para activos negociados en mercados OTC en los que la obtención de series temporales con datos de media/alta frecuencia puede no ser factible, el mejor es el enfoque global, dentro del cual se pueden aplicar métodos no paramétricos.

De acuerdo con Jorion (1999) dentro de este enfoque global¹⁰, puede utilizarse el método de simulación histórica y el método de Montecarlo. Dentro de este último, cabe la posibilidad de emplear un enfoque paramétrico o alternativamente uno no paramétrico basado en el remuestreo. Es precisamente este último enfoque no paramétrico, el que se propone en este trabajo para calcular el valor en riesgo. Su principal ventaja: la no necesidad de asumir normalidad (o cualquier otra distribución paramétrica).

La aplicación del método de Montecarlo para la estimación del VaR de un derivado o cartera de derivados de crédito¹¹ propuesta en el presente trabajo requiere el seguimiento de una serie de etapas:

1. En primer lugar se debe valorar el derivado de crédito en el momento inicial; en el instante en el que se desea calcular el valor en riesgo.
2. En segundo lugar se deben generar, aleatoriamente, escenarios sobre posibles valores del derivado de crédito al final del período de tenencia. En esta generación de escenarios es donde deben utilizarse las técnicas de remuestreo¹².

Para poder generar estos escenarios deben determinarse todos los valores que, a fecha de hoy, sea razonable considerar pueda tener el derivado de crédito al final del período de tenencia. Para determinar este rango de valores habrá que considerar los valores que pueden tomar las variables que intervienen en la determinación del precio del derivado, así como sus probabilidades. Si, por ejemplo,

⁹ El principio de valoración neutral al riesgo (VNR) no establece que los inversores sean neutrales al riesgo, sino que los activos financieros derivados puedan valorarse bajo el supuesto de que tales inversores son neutrales al riesgo, lo que significa que las preferencias de los inversores no influyen sobre el precio de la opción cuando se expresa como función del precio de los activos subyacentes. VNR supone dos resultados: uno, que el rendimiento esperado de todos los activos financieros es el tipo de interés libre de riesgo; y otro, el tipo de interés libre de riesgo es la tasa de descuento apropiada para aplicar a cualquier flujo de caja esperado.

¹⁰ Jorion (1999) se refiere a él como enfoque de valoración completa.

¹¹ En adelante se utilizará "derivado de crédito" para hacer referencia tanto a cartera de derivados como a instrumentos aislados.

¹² Sobre remuestreo puede consultarse Efron y Tibshirani (1998).

se está trabajando con un CDS y se está utilizando el modelo de Jarrow Turnbull (1995) para su valoración, las variables a considerar son las que se detallan en las expresiones (8) y (9):

- Probabilidad de insolvencia (Q). Posibles valores: Q_1, Q_2, \dots, Q_L
- Tras de Recuperación (TR). Posibles valores: TR_1, TR_2, \dots, TR_M
- Tasa de interés libre de riesgo (e^{-rt}). Posibles valores: $e^{-rt_1}, e^{-rt_2}, \dots, e^{-rt_N}$

Cada combinación de posibles valores de las anteriores variables al final del período de tenencia proporcionará un valor del CDS:¹

$$\begin{aligned} Q_1, TR_1, e^{-rt_1} &\rightarrow V_{111} \\ Q_1, TR_1, e^{-rt_2} &\rightarrow V_{211} \\ Q_2, TR_1, e^{-rt_1} &\rightarrow V_{311} \\ &\dots\dots\dots \\ Q_L, TR_M, e^{-rt_N} &\rightarrow V_{LMN} \end{aligned}$$

El número de valores posibles para el CDS al final del período de tenencia será el resultado del siguiente producto: $R = L \times M \times N$. Cada una de estos R posibles valores del CDS tendrá asociada una probabilidad (P):

$$\begin{aligned} V_{111} &\rightarrow P_{111} \\ V_{211} &\rightarrow P_{211} \\ V_{311} &\rightarrow P_{311} \\ &\dots\dots\dots \\ V_{LMN} &\rightarrow P_{LMN} \end{aligned}$$

Se debe cumplir que:

$$\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N P_{ijk} = 1 \quad (12)$$

Con todos estos datos (posibles valores del CDS y probabilidades), el escenario para el final del período de tenencia se generará del siguiente modo: a través de extracciones con reposición del conjunto de todos los posibles valores del CDS se obtendrá una muestra de R elementos. El algoritmo de extracciones con reposición deberá programarse de modo que cada uno de los posibles valores del CDS (V_{ijk}) tenga una probabilidad de ser escogido, cuando se realiza una extracción, igual a la probabilidad de que ese sea el valor que tome el CDS al final del período de tenencia (P_{ijk}).

3. Con los R valores obtenidos, se calculará el valor medio o valor esperado del CDS al final del período de tenencia. Comparando dicho valor con el que tiene el derivado en el momento inicial, se obtendrá la posible variación en su valor.
4. El proceso de generación de escenario, obtención de valor esperado y cálculo de la variación anteriormente descrito se repetirá un número elevado de veces, de modo que, con las observaciones obtenidas se pueda formar una distribución de las variaciones en el valor del CDS.
5. En base a esta distribución, el valor en riesgo se obtendrá del percentil correspondiente al nivel de fiabilidad estadística asumido.

4. APLICACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO A UN CDS

Con objeto de mostrar como puede aplicarse el método de estimación del valor en riesgo propuesto en el apartado anterior, en el presente apartado se calcula el VaR de un hipotético CDS que tiene las siguientes características:

- El bono de referencia genera pagos semestrales los días 5 de enero y 5 de julio de cada año, hasta el año 2010. Es decir, la insolvencia del emisor del bono puede ponerse de manifiesto en las mencionadas fechas que será cuando, caso de producirse la contingencia, el comprador del CDS tendrá derecho a percibir la compensación correspondiente.
- El nominal es de 1.000.000 €
- La prima anual a pagar es de 150 puntos básicos. El pago de la prima anual se efectúa de una sola vez el día 5 de julio. Esto es, los pagos por la prima, en caso de que no se produzca insolvencia quedan resumidos en la figura 3:

Figura 3: Pagos de la prima en caso de que no se produzca insolvencia

15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
5/7/2005	5/7/2006	5/7/2007	5/7/2008	5/7/2009	5/7/2010

- El bono de referencia tiene una calificación Ba (Moody's Investor Service, 2003) en el momento actual (5/1/2005).
- La tasa de recuperación se supone constante e igual al 55%

Aplicando el modelo de Jarrow Turnbull (1995) (expresiones 8 y 9) y considerando que la tasa de interés libre de riesgo¹³ es del 2,17%, el valor del CDS en el momento actual (5/1/2005) es de 42.161,71€ a favor del vendedor de la cobertura. Es decir, el valor actual, en términos de esperanza matemática, de la corriente de primas supera en la mencionada cantidad al valor actual, también en términos de esperanza matemática, de la compensación a recibir en caso de que se produzca la insolvencia del emisor del bono de referencia. Para esta valoración se ha tomado en consideración la probabilidad de insolvencia (1,46%) que se deduce de la matriz de transición de calificaciones recogida en al figura 4.

¹³ Se ha tomado como tasa de interés libre de riesgo la de las Letras del Tesoro emitidas a un año.

Figura 4: Matriz de transición de calificaciones

	Aaa	Aa	A	Baa	Ba	B	Caa	D
Aaa	88,66%	10,29%	1,02%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%
Aa	1,08%	88,70%	9,55%	0,34%	0,15%	0,15%	0,00%	0,03%
A	0,06%	2,88%	90,21%	5,92%	0,74%	0,18%	0,01%	0,01%
Baa	0,05%	0,34%	7,07%	85,24%	6,05%	1,01%	0,08%	0,16%
Ba	0,03%	0,08%	0,56%	5,68%	83,57%	8,08%	0,54%	1,46%
B	0,01%	0,04%	0,17%	0,65%	6,59%	82,70%	2,76%	7,06%
Caa	0,00%	0,00%	0,66%	1,05%	3,05%	6,11%	62,97%	26,16%

Fuente: Creditmetrics

Una vez conocido el valor del CDS en el momento actual, para calcular su VaR es necesario definir una serie de parámetros, a saber:

- El período de tenencia. El período escogido es de 6 meses ya que es el que media entre el momento actual, y el día en el que se produce el siguiente pago de la prima y/o se tiene derecho a percibir la compensación correspondiente en caso de que se produzca la insolvencia del emisor del bono de referencia.
- El nivel de fiabilidad estadística: En el presente trabajo se ha utilizado el 99%.

Para la estimación del valor en riesgo, se utiliza el método de Montecarlo con remuestreo. La aplicación de este método ha seguido las siguientes fases:

1. En primer lugar, utilizando (8) y (9), se ha obtenido el valor que teóricamente tendría el CDS descrito al inicio del apartado el día 5/7/2005 (al final del período de tenencia considerado), en el instante inmediatamente anterior al pago de la prima correspondiente. Se ha estimado que ni el tipo de interés libre de riesgo ni la probabilidad de insolvencia varían en el período de tenencia. Este cálculo se ha repetido considerando las 9 distintas calificaciones que puede tener el bono en el mencionado momento (R=9). Los valores obtenidos se resumen en la figura 5.

Figura 5: Valor del CDS el 5/7/2005 en función de la calificación del bono de referencia

Calificación	Valor del CDS
Aaa	-85.351,96
Aa	-84.511,64
A	-85.071,72
Baa	-80.884,04
Ba	-45.811,12
B	82.927,57
Caa	337.476,79
D	535.000,00

El signo positivo indica valor a favor del pagador de la prima (comprador de la cobertura)

2. En segundo lugar, aleatoriamente se ha generado una muestra de 9 posibles valores que puede tener el CDS al final del período de tenencia. Esta muestra se ha generado realizando 9 extracciones con reposición del conjunto de valores posibles del CDS recogidos en la figura 5, imponiendo al algoritmo de extracción y reposición la condición siguiente: la probabilidad de que en una extracción aleatoria se obtenga un valor concreto debe ser la recogida en la figura 6.

Figura 6: Probabilidad de extracción de un valor concreto en el proceso de remuestreo

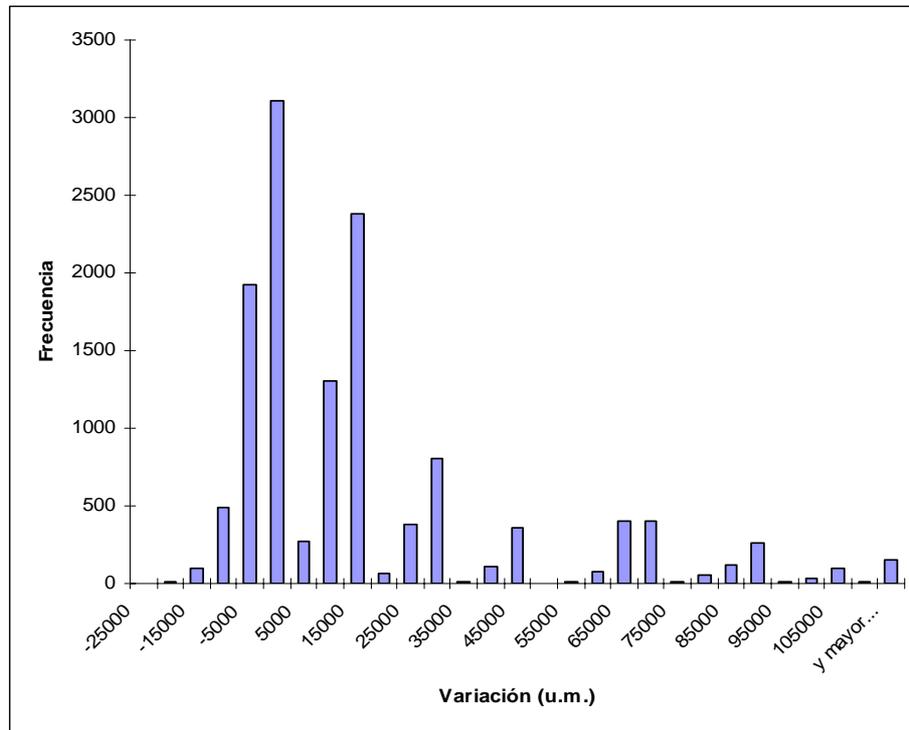
Calificación	Valor del CDS	Probabilidad
Aaa	-85.351,96	0,03%
Aa	-84.511,64	0,08%
A	-85.071,72	0,56%
Baa	-80.884,04	5,68%
Ba	-45.811,12	83,57%
B	82.927,57	8,08%
Caa	337.476,79	0,54%
D	535.000,00	1,46%

Tal y como se puede observar, las probabilidades recogidas en la figura 6 coinciden con las que aparecen en la matriz de transición de calificaciones de la figura 4, correspondientes a la fila de la calificación Ba. Es decir, que en el proceso de extracción con reposición se impuso la restricción de que la probabilidad de que salga el valor correspondiente a una determinada calificación coincida con el valor de la probabilidad de transición a dicha calificación desde la calificación actual del bono de referencia (Ba).

3. A continuación se ha calculado la media aritmética simple de los valores obtenidos en la muestra generada. Esta media se ha comparado con el valor en el momento actual del CDS y se ha obtenido la diferencia.

4. El proceso descrito en los puntos 1 a 3 anteriores se ha repetido 13.000 veces, generándose de este modo una distribución estadística de las posibles diferencias que pueden existir entre el valor del CDS en el momento actual y el valor que sería esperable para dicho activo financiero al final del período de tenencia. En la figura 7 se muestra el histograma correspondiente a esta distribución.

Figura 7: Distribución de las variaciones del CDS durante el período de tenencia



paramétrico, no es necesario asumir un comportamiento ajustado a una distribución estadística conocida; comportamiento que, caso de ser asumido, resultaría de difícil contraste. Adicionalmente, la propuesta de introducir técnicas de remuestreo solventa el problema que plantearía una estimación con pocas observaciones.

Finalmente debe destacarse que la aplicación realizada del método propuesto muestra que su utilización es sencilla y que la principal información que se requiere es la matriz de transición de calificaciones, accesible y ampliamente utilizada tanto en mercados como en la literatura cuando se abordan temas relacionados con riesgo de crédito.

BIBLIOGRAFÍA

- Avellaneda, M.; Zhu, J. (2001): Distance to default, *Risk*, (december), pp. 125-129.
- Basel Committee on Banking Supervisión (2004): *Internacional Convergence of Capital Measurement and Capital Standards*, A revised Framework. Basel. (june).
- Black, F.; Cox, J. C. (1976): Valuing Corporate Securities: Some Effects of Bond Indenture Provisions, *Journal of Finance*, V 31, N 2, pp.351-367.
- Brennan, M.; Schwartz, E. S. (1980): Analyzing convertible bonds, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, N 15, pp. 907-929.
- British Banker's Association (2002): *BBA Credit Derivatives Report 2001/2002*, www.bba.org.uk.
- Cabedo, J.D.; Moya, I. (2000): El Valor en Riesgo en el ámbito de la supervisión bancaria, *Comercio Exterior*, V 50, N 6, pp.510-518.
- Das, S. R.; Tufano, P. (1996): Pricing Credit Sensitive Debt When Interest Rates, Credit Ratings, and Credit Spreads Are Stochastic, *Journal of Financial Engineering*, V 5, N 2 (june), pp.161-198.
- Douady, R.; Jeanblanc, M. (2002): *A rating based model for credit derivatives*. Working paper.
- Duffie, D.; Singleton, K. J. (1999): Modeling Term Structures of Defaultable Bonds, *Review of Financial Studies*, V 12, N 4, pp.687-720.
- Efron, B.; Tibshirani, R.J. (1998): *An Introduction to the bootstrap*. Chapman & Hall. Boca Raton. Florida.
- Geske, R. (1977): The Valuation of Corporate Liabilities as Compound Options, *Journal Financial and Quantitative Analysis*, V 12, N 4 (november), pp.541-552.
- Gordy, M.; Hietfeld, E. (2001): *Of Moody's and Merton: a structural model of bond rating transitions* Working paper.
- Hattori, P. K. (1996): *The Chase Guide to Credit Derivatives in Europe*. London.
- Houweling, P.; Vorst, T. (2002): *An Empirical Comparison of Default Swap Pricing Models*, www.defaultrisk.com.
- Hull, J.C.; White, A. (2000): Valuing Credit Default Swaps I: no Counterparty Default Risk, *Journal of Derivatives*, V 8, N 1, pp.29-40.
- Hull, J.C.; White, A. (2001): Valuing Credit Default Swaps II: Modeling Default Correlations, *Journal of Derivatives*, V 8, N 3, pp.12-21.
- International Swaps and Derivatives Association (2004): *Credit Risk and Regulatory Capital*. ISDA, Washington.
- Jarrow, R.; Lando, D.; Turnbull, S. (1997): A Markov model for the term structure of credit risk spreads, *Review of Financial Studies*, V 10, N 2, pp.481-523.
- Jarrow, R.; Turnbull, S. (1995): Pricing derivatives on financial securities subject to credit risk, *Journal of Finance*, V 50, N 1, (march), pp.53-85.
- Jorion, P. (1999): *Valor en riesgo*. Editorial Limusa. México D.F.
- Kim, I. J.; Ramaswamy, K.; Sundaresan, S. (1993): Does default risk in coupons affect the valuation of corporate bonds?, *Financial Management*, V 22, N 3 (autumn), pp.117-131.
- Longstaff, F.; Schwartz, E. (1995a): A simple approach to valuing risky fixed and floating rate debt, *Journal of Finance*, (march).
- Longstaff, F.; Schwartz, E. (1995b): Valuing Credit Derivatives, *Journal of Fixed Income*, V 5, N 1, pp.6-12.
- Madan, D.; Unal, H. (1998): Pricing the Risks of Default, *Review of Derivatives Research*, V 2, N 2/3, pp.121-160.
- Merton, R. (1974): On the Pricing of Corporate Debt: the Risk Structure of Interest Rates, *Journal of Finance*, N 29, 449-470.
- Moody's Investors Service (2003): *Bank Credit Research. Monthly Ratings List*, May, www.moodys.com.
- Pérez, J. (2002): Los derivados de crédito, *Estabilidad Financiera*, N 3, pp.59-83.
- Shimko, D.; Tejima, N.; Van Deventer, D. (1993): The pricing of risky debt when interest rates are stochastic, *The Journal of Fixed Income*, (september), pp.58-65.
- Titman, S.; Totous, W. (1989): Valuing commercial mortgages: an empirical investigation of the contingent claims approach to pricing risky debt, *Journal of Finance*, N 44, pp.345-373.
- Zhou, C. (1996): *A jump-difusion approach to modeling credit risk and valuing defaultable securities*. Federal Reserve Board. Washintong-USA.