

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA FINANCIERA Y CONTABILIDAD I
(ECONOMÍA FINANCIERA Y ACTUARIAL)



TESIS DOCTORAL

Modelos de medición del riesgo de crédito

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR

José M^a Valle Carrascal

Directores

Antonio José Fernández Ruiz
Mercedes Elices López

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA FINANCIERA Y CONTABILIDAD I
(ECONOMÍA FINANCIERA Y ACTUARIAL)



TESIS DOCTORAL

Modelos de medición del riesgo de crédito

DOCTORANDO

José M^a Valle Carrascal

DIRECTORES

Dr. D. Antonio José Fernández Ruiz

Dra. D^a. Mercedes Elices López

Madrid, Octubre 2015

A mis padres,
Casimiro y M^a Teresa

AGRADECIMIENTOS

Quisiera mostrar mi agradecimiento, en primer lugar, a mis directores de tesis, Dr. Antonio José Fernández Ruiz y Dra. Mercedes Elices López, por guiarme en este proyecto y por el esfuerzo y entusiasmo en las reuniones que han sido necesarias después de las jornadas de trabajo. Sin ellos esta tesis no habría visto nunca la luz. Mi agradecimiento también a todos los profesores del departamento de Economía Financiera y Actuarial de la Universidad Complutense de Madrid y al secretario administrativo, José Luis Prieto.

A mi compañero del departamento de Estrategia de Mercados Financieros en Ahorro Corporación Financiera SV SA, David Ramsey, analista y experto en renta fija, por todos sus comentarios y por su generosa ayuda.

Especialmente a mis padres, Casimiro y M^a Teresa, que con tanto cariño me han apoyado, a mi familia, en particular a mis hermanos, Miguel Ángel y Marisa, a mis cuñados, Natalia y Julio, y a mis sobrinos, Javi, Marta, Celia y Julio, y a mis amigos, por el ánimo recibido, por la paciencia que han tenido y por los planes aplazados. A todos ellos, gracias.

Índice

Índice de figuras	9
Índice de tablas	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	18
A. Objetivo de la tesis	18
B. Estructura de la tesis	19
CAPÍTULO 1 IMPORTANCIA DEL RIESGO DE CRÉDITO	22
1.1. Introducción y definición	22
1.2. Trascendencia del riesgo de crédito	23
1.3. Elementos del riesgo de crédito	24
CAPÍTULO 2 MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO	28
2.1. Introducción	28
2.2. Enfoques tradicionales del cálculo del riesgo de crédito	29
2.2.1. Basilea I.....	29
2.2.2. Las 5 Cs.....	30
2.2.3. <i>Credit scoring</i>	32
2.3. Enfoques actuales: modelos estadístico–financieros de estimación de la probabilidad de impago.....	33
2.3.1. Modelos reducidos: probabilidad de impago a partir de las cotizaciones de los bonos	33
2.3.1.2. Probabilidad de impago asumiendo tasa de recuperación nula. Ejemplo.	38
2.3.1.3. Probabilidad de impago condicional	40
2.3.1.4. Una mejor aproximación a la realidad del riesgo de crédito: tasa de recuperación no nula. Ejemplo.....	41
2.3.1.5. Ajustando el modelo (I): probabilidad de impago a partir de bonos portadores de cupón	44
2.3.1.6. Ejemplo: aplicación del modelo reducido	46
2.3.1.7. Ajustando el modelo (II): el impago, susceptible de producirse en cualquier momento de la vida del préstamo.....	53
2.3.1.8. Cantidad demandada judicialmente y propiedad de valor aditivo	54
2.3.1.9. Asset Swaps.....	54
2.3.2. Modelos basados en los datos históricos.....	56
2.3.3. Modelos estructurales: probabilidad de impago a partir de los precios de las acciones. El modelo de Merton.	58
2.3.3.1. El significado económico de las propuestas de Merton	60
2.3.3.2. Analogía entre las propuestas de Merton y las opciones de compra y venta ..	60
2.3.3.3. La paridad put – call.....	61
2.3.3.4. El modelo de valoración de Black-Scholes.....	61
2.3.3.5. Modelo de Merton: aplicación de la teoría de opciones al valor de una empresa.....	62
2.3.3.6. Ejemplo: aplicación del modelo de Merton	64

2.3.3.7. ¿Cómo afectan el apalancamiento financiero y la volatilidad al valor de la deuda?.....	65
2.3.3.8. Análisis de sensibilidades.....	65
2.4. Análisis comparativo de los modelos de predicción de insolvencia empresarial	66
2.4.1. Ventajas y limitaciones de los modelos reducidos.....	66
2.4.2. Ventajas y limitaciones de los modelos basados en los datos históricos	80
2.4.3. Ventajas y limitaciones de los modelos estructurales	84
2.5. La pérdida supuesto el impago.....	86
2.6. Métodos contractuales para la reducción del riesgo de crédito.....	88
2.6.1. Efecto de la cláusula <i>Netting</i> en la estimación de la pérdida dado el impago.....	88
2.6.2. Reducción de la exposición al riesgo de crédito. <i>Collateralization</i> y <i>downgrade triggers</i>	89
2.7. Migración de ratings de crédito.....	91
2.8. Correlaciones del suceso de impago	95
2.9. Enfoque actuarial de la probabilidad de impago.....	98
CAPÍTULO 3 DERIVADOS DE CRÉDITO.....	101
3.1. Introducción	101
3.2. Conceptos y definiciones	102
3.2.1. Definición de derivado de crédito	102
3.2.2. Definición de entidad de referencia	103
3.2.3. Definición de obligación de referencia	104
3.2.4. Definición de evento de crédito	105
3.2.5. Definición de documentación.....	108
3.2.6. Definición de capital regulatorio.....	108
3.2.7. Definición de nocional	108
3.2.8. Definición de prima.....	109
3.3. Credit default swaps	109
3.3.1. Valoración	112
3.3.2. Probabilidad de impago a partir de los precios de los CDS spreads	116
3.3.3. El efecto de la tasa de recuperación estimada	117
3.3.4. Binary credit default swaps	117
3.3.5. Basket credit default swaps	117
3.3.6. Riesgo de impago del vendedor del CDS.....	118
3.4. Total return swaps	120
3.5. Credit spread options.....	122
3.6. Collateralized debt obligations.....	124
3.7. Valoración de derivados ajustada por el riesgo de impago.....	125
3.7.1. Contratos que se configuran como un activo	126
3.7.2. Contratos que pueden configurarse como un activo o como un pasivo	127
3.8. Bonos convertibles	128
CONCLUSIONES.....	137
BIBLIOGRAFÍA.....	145
ANEXOS	152
Anexo 1 Basilea II y III.....	153
Anexo 2 Probabilidad de impago a partir de los precios de los bonos.....	160
Anexo 3 Bono con cupón como suma de los bonos cupón cero que lo constituyen.....	162

Índice de figuras

1.1	Distribución de probabilidad de las pérdidas esperadas por riesgo de crédito.....	25
2.1	<i>Spread</i> del rendimiento de bonos corporativos sobre curva cupón cero del Tesoro.....	35
2.2	Valores que pueden tomar la deuda y los recursos propios de una compañía	60
2.3	Evolución de los diferenciales crediticios de bonos BBB a 10 años vs. tasa de impago media histórica	68
2.4	Análisis de regresión entre los diferenciales crediticios de bonos BBB a 10 años en el momento t y tasa media de impago en el momento t , con datos históricos del periodo 2002–2015	69
2.5	Evolución de los diferenciales crediticios de bonos BBB a 10 años vs. tasa media de impago histórica anticipada 10 meses	70
2.6	Análisis de regresión entre diferenciales crediticios BBB a 10 años en el momento t y tasa de impago en el momento $t + 10$ meses, con datos históricos del periodo 2002–2015	70
2.7	Indicador de liquidez: volumen negociado en el sector de bonos de grado de inversión en EE.UU. como porcentaje del volumen total de bonos en circulación en ese sector....	72
2.8	Sensibilidad de la probabilidad de impago riesgo–neutral ante variaciones de la prima de crédito para distintos vencimientos de un bono (con tasa de recuperación nula).....	74
2.9	Descomposición del diferencial de tipos de interés exigido a los bonos corporativos con vencimiento a 10 años con diferentes categorías de rating (II)	77
2.10	Elementos desconocidos en la Matriz de probabilidades de transición	94
3.1	Credit default swap.....	110
3.2	Total return swap.....	120
3.3	Collateralized debt obligation	124
3.4	Árbol binomial para la valoración del bono convertible.....	131

Índice de tablas

2.1 Rendimientos y valores estimados de las pérdidas por impago en deuda corporativa (tipos de interés continuamente compuestos).....	36
2.2 Probabilidades de impago para el ejemplo dado en la Tabla 2.1 asumiendo tasa de recuperación nula en caso de impago.....	39
2.3 Cuantías recuperadas sobre el valor de la deuda corporativa como porcentaje del valor nominal.....	42
2.4 Probabilidades acumuladas de impago (%) para el ejemplo dado en la Tabla 2.1 asumiendo distintas tasas de recuperación (R), según la categoría del bono.	44
2.5 Datos de dos bonos emitidos por una compañía	47
2.6 Cálculos para obtener la probabilidad de impago implícita en la rentabilidad del bono 1 asumiendo que los impagos pueden producirse en las fechas de pago de cupón o del principal.	48
2.7 Cálculos para obtener la probabilidad de impago implícita en la rentabilidad del bono 2 asumiendo que los impagos pueden producirse en las fechas de pago de cupón o del principal.	50
2.8 Tasa media acumulada de impago, 1983–2014 (%).	57
2.9 Descomposición del diferencial de tipos de interés exigido a los bonos corporativos con vencimiento a 10 años con diferentes categorías de rating.	76
2.10 Discrepancia entre las probabilidades de impago riesgo–neutro y real vs. exceso de rentabilidad sobre la rentabilidad necesaria para cubrir la pérdida esperada	78
2.11 Tasas medias de impago acumuladas por sector económico, 1970-2014 (%).	81
2.12 Tasa de impago anual por categoría de rating, 1984-2014 (%)	83
2.13 Porcentajes de probabilidad de la matriz de transición a un año.	91
2.14 Porcentajes de probabilidad acumulada de impago para las categorías crediticias.	92
2.15 Estimación de la matriz de probabilidades (%) de transición riesgo – neutral.	95
3.1 Cotizaciones credit default swap (puntos básicos).....	111
3.2 Ejemplo. Valoración de un credit default swap.	115

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

RESUMEN

El posible impago por parte de prestatarios y contrapartes eleva a un primer plano el riesgo de crédito para las instituciones financieras. Existen diferentes técnicas para estimar la probabilidad de insolvencia empresarial durante un determinado periodo de tiempo futuro: modelos basados en los precios de los bonos (denominados modelos reducidos), modelos basados en datos históricos, modelos basados en los precios de las acciones (denominados modelos estructurales) y modelos actuariales.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis crítico y comparativo de los modelos de estimación de la probabilidad de impago, identificando sus ventajas y limitaciones, de forma que nos permita determinar cuándo es preferible utilizar uno u otro modelo. Asimismo, analizamos las herramientas técnicas (derivados de crédito) y legales (mecanismos contractuales) existentes para eliminar o mitigar el riesgo de crédito.

Los modelos reducidos y los modelos basados en datos históricos se basan en la calidad crediticia de una compañía. Sin embargo, las calificaciones crediticias se revisan con cierta periodicidad que puede resultar escasa. Esto hace que se cuestione si los precios de las acciones pueden proporcionar información más actualizada para estimar probabilidades de impago, dando origen a los modelos estructurales.

Las probabilidades de impago implícitas en los precios de los bonos son probabilidades riesgo–neutro, dado que se asume un escenario sin riesgo, mientras que las probabilidades extraídas de datos históricos (frecuencias relativas) son reales. Las probabilidades de impago riesgo–neutral son significativamente más altas que las probabilidades reales. Esta discrepancia se explica por varias razones.

En primer lugar, el modelo reducido asume que el exceso de rentabilidad de los bonos corporativos sobre el tipo de libre de riesgo (*spread*) se debe íntegramente a la probabilidad de impago. Sin embargo, otros riesgos (liquidez, correlación entre impagos) provocan

ampliaciones de los *spreads*. Nuestras conclusiones ponen de manifiesto que el *spread* está correlacionado con las expectativas de la tasa de fallido para los próximos 10 ó 12 meses. Esta correlación se ha fortalecido a medida que los mercados de deuda corporativa se han hecho más eficientes, especialmente desde comienzos de los años 2.000. No obstante, una parte relevante del *spread* viene explicado por otros riesgos. Esto provoca una mayor probabilidad de impago que no responde al riesgo de crédito.

Por otra parte, existe una razón teórica importante que explica la discrepancia entre la probabilidad riesgo–neutral e histórica dado que, en el modelo reducido, la probabilidad de impago es muy sensible a las variaciones de los *spreads* cuando éstos son bajos: aumentos pequeños de los *spreads* (que pueden deberse a riesgos distintos del riesgo de crédito) se traducen en incrementos más que proporcionales de la probabilidad de impago. Sin embargo, cuando los *spreads* son altos, la probabilidad de impago tiende a hacerse inelástica ante ampliaciones de los mismos. Los modelos estructurales, también basados en probabilidades riesgo–neutro, producen probabilidades de impago también más altas que las observadas históricamente.

Por tanto, los modelos de probabilidades históricas son adecuados para estimar pérdidas potenciales y calcular el *credit VaR* (límite máximo de la pérdida por impago que, con un determinado porcentaje de probabilidad, no debería ser excedido durante un periodo de tiempo dado), mientras que los modelos de probabilidades riesgo–neutral son adecuados para valorar instrumentos sensibles al riesgo de crédito.

Otras conclusiones son: a) si sólo hubiese riesgo de crédito, esto es, si el exceso de rentabilidad esperado una vez tenido en cuenta el riesgo de crédito fuese nulo, la probabilidad riesgo–neutral sería la misma que la real y b) la mayor probabilidad de impago riesgo–neutro respecto a la probabilidad histórica se traduce en un exceso de la rentabilidad exigida por riesgo sistémico relativamente más pequeño a medida que mejora la calidad crediticia del emisor.

El enfoque actuarial (un bono está en fallido con probabilidad p y no lo está con probabilidad $1-p$) es útil para estimar la probabilidad de impago de una cartera de bonos, pero no es un modelo completo de riesgo de crédito, dado que no contempla el riesgo de rebaja de la calificación crediticia.

CREDIT RISK MEASUREMENT MODELS

ABSTRACT

The possibility of default of borrowers and counterparties puts credit risks at the forefront of financial institutions' concerns. There are various techniques for estimating the probability of corporate insolvencies during a set future timeframe: models based on bond prices (so-called simplified models), models based on historical data, models based on stock prices (so-called structural models) and actuarial models.

The objective of this research is to carry out a critical and comparative analysis of models for estimating the probability of default, identifying their advantages and shortcomings and allowing us to determine when it is preferable to use one or another of them. Thus, we analyse existing technical (credit derivatives) and legal (contractual mechanisms) tools for eliminating or mitigating credit risks.

Simplified models and those models based on historical data are underpinned by the credit quality of a company. Yet, credit ratings are revised at regular intervals which may turn out to be too infrequent. This leads us to ask whether or not stock prices may provide more up-to-date information for forecasting probabilities of default, giving rise to structural models.

The probabilities of default implicit in bond prices are risk-neutral since they assume a risk-free scenario, while probabilities extracted from historical data (relative frequencies) are real. Risk-neutral probabilities of default are significantly greater than real ones. There are several reasons which explain this discrepancy.

Firstly, the simplified model assumes that excess returns of corporate bonds versus the risk-free rate (spread) are totally due to the probabilities of default. However, other risks (liquidity, correlation among defaults) also trigger widening of spreads. Our conclusions reveal that spreads are correlated with expectations of bad debt rates for the next 10 to 12 months. This correlation has strengthened as corporate debt markets have become more efficient, particularly since the beginning of this century. Nevertheless, a relevant portion of

spreads can be explained by other risks. This leads to greater probabilities of default which are not associated with credit risks.

In addition, there is an important theoretical reason that explains the discrepancy between risk-neutral and historic probabilities since, in the simplified model, the probability of default is very sensitive to fluctuations in spreads when they are low: small increases in spreads (which may be due to risks other than credit risks) spur more than proportional increases in the probabilities of default. However, when spreads are high, probabilities of default tend to become inelastic when they (spreads) are widened. Structural models, also based on risk-neutral probabilities, lead to probabilities of default that are also greater than those observed historically.

Therefore, historic models of probability are adequate for estimating potential losses and calculating the Credit VaR (default loss ceiling that, with a set probability percentage, should not be exceeded during a certain period of time), while risk-neutral probability models are adequate for valuing instruments sensitive to credit risks.

Other conclusions are: a) if there were only credit risks – i.e. if the excess of expected returns after taking into account credit risks were nil – risk-neutral probabilities would be the same as real ones; and b) the greater risk-neutral probability of default vs. the historic probability of default underpins an excess of required returns for systemic risk that becomes relatively smaller as the issuer's credit quality improves.

The actuarial focus (a bond is in default with probability p and is not with probability $1-p$) is useful for estimating the probability of default of a bond portfolio, but is not a complete credit risk model since it does not contemplate the risk of suffering a downgrade of credit ratings.

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

INTRODUCCIÓN

A. Objetivo de la tesis

El posible impago por parte de prestatarios y contrapartes en las transacciones financieras, así como de los emisores de deuda corporativa (bonos y obligaciones) eleva a un primer plano el riesgo de crédito para los bancos y otras instituciones financieras. La crisis financiera que comenzó en 2008 ha derivado en una creciente preocupación por las técnicas y modelos estadístico-financieros de medición del riesgo de crédito, tanto en el ámbito académico como en el quehacer diario de los bancos y otras instituciones financieras. En consecuencia, la mayoría de las instituciones actualmente están destinando considerables recursos a la medición y gestión del riesgo crediticio. No en vano, la normativa regulatoria exige a los bancos una magnitud de recursos de capital adecuada a la exposición al riesgo de crédito que están asumiendo.

El objetivo de este trabajo estriba en hacer una aportación al conocimiento del riesgo de crédito mediante un análisis crítico y comparativo de los diferentes modelos de estimación de la probabilidad de impago, identificando las ventajas y limitaciones de cada uno de ellos, de forma que, en último término, nos permita determinar cuándo es preferible utilizar uno u otro modelo. Para ello, comenzamos haciendo un repaso de los enfoques tradicionales del cálculo del riesgo crediticio, para centrarnos, a continuación, en los enfoques actuales de la cuantificación del riesgo de crédito, analizando diferentes aproximaciones estadístico-financieras para estimar la **probabilidad de que una compañía incurra en impago**, así como las condiciones de equilibrio en riesgo neutral. A continuación analizamos cómo los bancos y otras instituciones financieras pueden estimar el **valor de la pérdida** en caso de incumplimiento. La probabilidad de impago junto con el valor de la pérdida supuesto el incumplimiento determina la **pérdida esperada** de la institución financiera:

$$\text{Pérdida esperada} = \text{Probabilidad de impago} * \text{Valor de la pérdida dado el impago}$$

También exponemos el enfoque actuarial para estimar la probabilidad de impago e identificamos sus principales ventajas y limitaciones como modelo de valoración del riesgo de crédito. Adicionalmente, analizamos las herramientas técnicas (derivados de crédito) y legales (mecanismos contractuales) existentes para eliminar o mitigar el riesgo de crédito.

B. Estructura de la tesis

Tras una introducción, este trabajo se divide en tres grandes capítulos, como sigue a continuación:

Resumen. Incluye una breve introducción, una síntesis de los objetivos y las conclusiones.

Introducción. En este apartado exponemos los objetivos y la estructura de la tesis.

Importancia del riesgo de crédito. Constituye el primer capítulo, en el que exponemos la definición, la trascendencia del riesgo de crédito y los elementos del riesgo de crédito.

Modelos de medición el riesgo de crédito. En este segundo capítulo explicamos los principales modelos de valoración del riesgo de crédito, tanto los enfoques tradicionales como los enfoques actuales, basados en modelos estadísticos de estimación de la probabilidad de impago. Este capítulo contempla los siguientes apartados:

- **Enfoques tradicionales:** Basilea I, las 5 Cs y *credit scoring*.
- **Enfoques actuales:** modelos estadístico–financieros de estimación de la probabilidad de impago.
 - Modelos reducidos: se calcula la probabilidad de impago a partir de las cotizaciones de los precios de los bonos. Ejemplo de aplicación.
 - Modelos basados en la evidencia empírica: se obtiene la probabilidad de impago a partir de datos históricos. Ejemplo de aplicación.
 - Modelos estructurales. El modelo de Merton. Se calcula la probabilidad de impago a partir de los precios de las acciones. Ejemplo de aplicación.

- **Análisis crítico–comparativo de los modelos de medición del riesgo de crédito.** En este apartado incluimos las principales conclusiones de los resultados comparados de aplicar los distintos modelos para estimar la probabilidad de impago. Identificamos las ventajas y limitaciones de cada modelo. ¿Posibles mejoras?
- **La pérdida supuesto el impago.** En este apartado analizamos cómo los bancos y otras instituciones financieras pueden estimar el valor de la pérdida en caso de incumplimiento.
- **Métodos contractuales para reducir el riesgo de crédito.** Exponemos: a) el efecto de la cláusula *Netting* en la estimación de la pérdida dado el impago y b) alternativas de reducción de la exposición al riesgo de crédito: *collateralization* y *downgrade triggers*.
- **Enfoque actuarial del riesgo de crédito.** Ventajas y limitaciones.

Derivados de crédito (*Credit Default Swaps, CDS*). Constituye el tercer capítulo de la tesis. En el apartado de conceptos y definiciones se remarca, por su importancia, el análisis descriptivo del concepto de evento de crédito. A continuación profundizamos en el análisis del uso de los derivados de crédito como herramienta técnica para reducir, diversificar y gestionar el riesgo de crédito. Hemos reservado un apartado a la integración del riesgo de crédito en la valoración de los bonos convertibles en acciones.

Conclusiones

Referencias bibliográficas

Anexos

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

CAPÍTULO 1 IMPORTANCIA DEL RIESGO DE CRÉDITO

RESUMEN

En este capítulo se expone el origen del riesgo de crédito, su definición, los factores que justifican la creciente importancia del riesgo de crédito (destacando, por su relevancia, la mayor volatilidad en los mercados financieros en los últimos años, tras la crisis financiera que comenzó en 2008) y los principales elementos del riesgo de crédito: riesgo de rebaja de la calificación crediticia del prestatario, riesgo de fallido, riesgo sobre los futuros pagos debidos, riesgo de tasa de recuperación y riesgo de colateral.

1.1. Introducción y definición

El riesgo de crédito constituye una de las formas más antiguas de riesgo conocida en las transacciones financieras. Si definimos el crédito como la esperanza de obtener la devolución de un préstamo en una fecha concreta, el riesgo de crédito reside en que esa esperanza no se materialice. Por tanto, el riesgo de crédito data de la primera vez que se negociara un préstamo.

Una definición más precisa del riesgo de crédito podría consistir en las pérdidas asociadas al evento de impago del prestatario o al evento del deterioro de su calidad crediticia¹. Por tanto, habría que diferenciar dos aspectos en este riesgo. La cantidad del riesgo, asociada a la suma total prestada, y la calidad del riesgo, asociada a la probabilidad de impago, la tasa de recuperación y las posibles garantías o colaterales del préstamo.

El análisis y la gestión del riesgo de crédito ha sido una de las tareas básicas de la industria bancaria desde su inicio en el Renacimiento. Los métodos de análisis se basaban generalmente en el conocimiento directo del prestatario y la gestión del riesgo se incluía dentro de la relación global con el cliente. Sin embargo, en los últimos años, la transformación de la industria bancaria, caracterizada por la desintermediación y la

¹ Bessis, 2002

globalización, ha afectado de modo notable a la percepción del riesgo de crédito y a los métodos de su gestión². Esto ha ocasionado que el enfoque tradicional haya dejado de dar resultados aceptables y que un conjunto de nuevas técnicas y métodos se estén desarrollando para tratar lo que constituye un gran reto para los mercados financieros. En los siguientes capítulos analizaremos los métodos tradicionales de valoración del riesgo de crédito y, a continuación, haremos un exhaustivo estudio de los más avanzados métodos actuales, basados en la teoría estadística y financiera y haremos un análisis crítico-comparativo de los diferentes modelos, identificando las ventajas y las limitaciones de cada uno de ellos.

1.2. Trascendencia del riesgo de crédito

El riesgo de crédito ocupa un lugar de atención creciente para las empresas e instituciones financieras y también para aquellas otras instituciones que sean usuarias de productos financieros OTC. Algunas de las razones que justifican la creciente importancia del riesgo de crédito son³:

1. Incremento estructural en el número de fallidos, debido al incremento en la competencia entre prestamistas.
2. El fenómeno de la desintermediación financiera, que hace que aparezcan un mayor número de potenciales prestatarios y una disminución de la calidad crediticia media de los mismos.
3. Mayor competencia entre prestamistas, que también ocasiona unos márgenes más estrechos.
4. La mayor volatilidad en los valores de las garantías o colaterales de las operaciones, asociada al aumento general de volatilidad en los mercados financieros en los últimos años, en particular durante la crisis financiera que comenzó en 2008.
5. El crecimiento espectacular en los derivados negociados OTC, que llevan implícito un incremento en el riesgo de contrapartida al no existir cámara de compensación organizada.

² Véase Kao, 2000

³ Saunders, 1999

Por todo ello, la correcta comprensión de los problemas asociados a la medida y gestión del riesgo de crédito es cada vez más importante tanto en los mercados de contado (bonos, divisas) como en los OTC (derivados).

Otro aspecto destacado para las instituciones financieras y sus reguladores, es la adecuación del capital requerido para cubrir el riesgo de crédito (dentro y fuera de balance) siguiendo las recomendaciones contenidas en la propuesta del Comité de Supervisión Bancaria de Basilea. Como es conocido, su objetivo es proponer la regulación de los niveles de requerimiento mínimos de capital de las entidades financieras de tal forma que sean consistentes con la creciente sofisticación de las operaciones bancarias y de los mercados financieros en los últimos años. El objetivo de esta propuesta es el de incentivar la calidad y mejora en los sistemas internos de control y gestión de las entidades y sugiere emplear medidas de mercado de riesgo de crédito para el cálculo de los requerimientos de capital

Por estos motivos, en los próximos capítulos abordaremos los siguientes aspectos cruciales del riesgo de crédito:

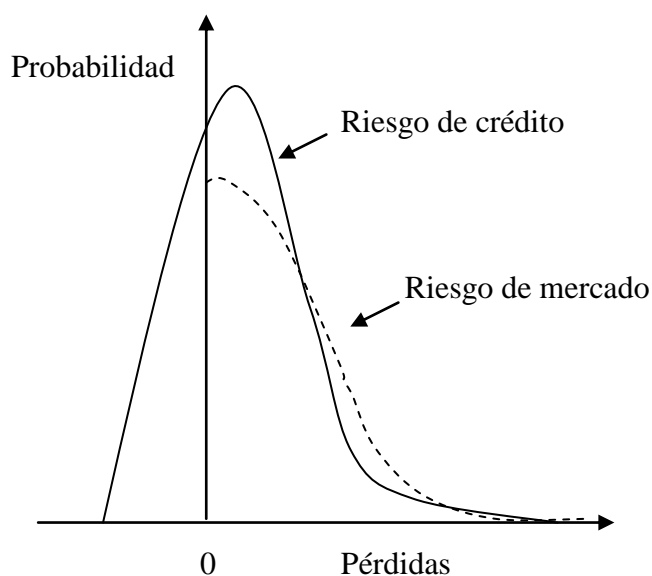
- a) Cómo valorar el riesgo de crédito cuantificando la probabilidad de impago de la contrapartida.
- b) Cómo estimar las posibles pérdidas por riesgo de crédito.
- c) Identificar las ventajas y las limitaciones de cada modelo de valoración del riesgo de crédito, de forma que, en último término, podamos determinar cuándo es preferible utilizar uno u otro modelo.
- d) Cómo llevar a cabo una política adecuada de gestión del riesgo de crédito.

1.3. Elementos del riesgo de crédito

Un aspecto muy importante del riesgo de crédito es la forma de la distribución de las pérdidas esperadas. En la figura 1.1 se comparan las pérdidas esperadas de una cartera sujeta a riesgo de mercado y otra sujeta a riesgo de crédito. Así como las pérdidas esperadas por riesgo de mercado decrecen suavemente y son aproximadamente simétricas con las posibles ganancias, las pérdidas esperadas por riesgo de crédito son fuertemente asimétricas. La razón es que las posibles ganancias están limitadas por el doble motivo de que el deudor sólo pagará los cupones acordados y el nominal al vencimiento –y nunca más de esa cantidad- y

que si se produce una mejora en la calificación crediticia, ésta tiene un límite. Por tanto, las carteras con riesgo de crédito presentan una alta probabilidad de bajas pérdidas, así como una baja probabilidad de altas pérdidas. La moda de la distribución de pérdidas por riesgo de mercado está cercana a cero, mientras que la de pérdidas por riesgo de crédito es inferior a cero y, por tanto, la pérdida media esperada estará a la derecha de la moda, es decir, será mayor que ésta.

Figura 1.1 *Distribución de probabilidad de las pérdidas esperadas por riesgo de crédito.*



Conviene distinguir cuatro facetas diferentes del riesgo de incumplimiento. En primer lugar está el **riesgo de migración** o *downgrade*, que es el evento de una rebaja de la calificación crediticia del prestatario. Esto implica una rebaja del valor de los activos emitidos por el mismo y, por tanto, una pérdida de valor de carteras que contengan ese tipo de activos. Cabe matizar que aquí no se produce fallido en sentido estricto, pero sí hay una disminución del valor del contrato crediticio.

El siguiente riesgo es el **riesgo de fallido** o *default* propiamente dicho, que es una función de la probabilidad de fallido. Siguiendo la práctica habitual de las agencias de calificación crediticia entendemos que se produce un fallido cuando no se ha satisfecho un pago durante al menos tres meses después de la fecha debida.

Otro aspecto importante es el **riesgo de exposición** o *exposure*, entendido como la incertidumbre sobre los futuros pagos debidos. Este riesgo puede estar asociado o bien a la actuación del prestatario (por ejemplo, en la disposición de una línea de crédito) o bien puede estar ligado a la evolución de variables de mercado (por ejemplo, mediante bonos con cupón indiciado a los tipos de interés). En el caso de los derivados financieros, el riesgo de exposición está casi siempre ligado a la evolución del mercado.

Finalmente, está el **riesgo de tasa de recuperación** o *recovery rate*, asociado a la existencia o no de garantía o colateral en la operación. Si existiera garantía aparecería un nuevo riesgo asociado a la facilidad de conversión del colateral en efectivo: **riesgo de colateral**.

Teniendo en cuenta estos conceptos, podemos definir la pérdida media esperada por riesgo de crédito como:

$$PE = C * (1 - x) * q$$

Siendo *PE* la pérdida esperada, *C* una estimación de la magnitud de la exposición, *x* la tasa de recuperación esperada y *q* la probabilidad de impago estimada. Esta pérdida esperada es una medida estadística que refleja la tendencia promedio de esta variable.

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

CAPÍTULO 2 MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

RESUMEN

En este capítulo se hace un breve repaso de los enfoques tradicionales de valoración del riesgo de crédito y, a continuación, se expone la metodología de los modelos actuales, basados en técnicas estadístico-financieras para estimar la probabilidad de impago. Posteriormente se realiza un análisis crítico y comparativo de los modelos actuales de medición del riesgo de crédito. Para ello, estimamos la probabilidad de impago, para un mismo supuesto, utilizando las principales técnicas actuales de valoración (modelos reducidos, modelos basados en la evidencia empírica y modelos estructurales) y exponemos las conclusiones de los resultados comparados de aplicar los distintos modelos, lo que permite identificar las ventajas y limitaciones de cada modelo, así como determinar cuándo es preferible utilizar uno u otro modelo. También se analiza el valor de la pérdida en caso de fallido y los mecanismos contractuales para eliminar o mitigar el riesgo de crédito.

2.1. Introducción

El riesgo de impago por parte de prestatarios y contrapartes en las transacciones financieras, así como de los emisores de deuda corporativa (bonos y obligaciones) está derivando en una creciente preocupación por las técnicas y modelos estadístico-financieros de medición del riesgo de crédito, tanto en el ámbito académico como en los mercados financieros. En consecuencia, la mayoría de las instituciones están actualmente destinando considerables recursos a la medición y gestión del riesgo crediticio. De hecho, la normativa regulatoria exige a los bancos una magnitud de recursos de capital adecuada a la exposición al riesgo de crédito que están asumiendo.

En este capítulo comenzamos haciendo un somero repaso de los enfoques tradicionales del cálculo del riesgo crediticio, para centrarnos, a continuación, en los más avanzados enfoques actuales de la cuantificación del riesgo de crédito, analizando diferentes aproximaciones estadístico-financieras para estimar la **probabilidad de que una compañía incurra en**

impago, así como las condiciones de equilibrio en riesgo neutral. El objetivo es hacer una aportación al conocimiento del análisis del riesgo de crédito mediante un análisis crítico-comparativo de los diferentes modelos de estimación de la probabilidad de impago, identificando las ventajas y limitaciones de cada uno de ellos, de forma que, en último término, nos permita determinar cuándo es preferible utilizar uno u otro modelo. También se analiza cómo los bancos y otras instituciones financieras pueden estimar el **valor de la pérdida** en caso de incumplimiento. La probabilidad de impago junto con el valor de la pérdida supuesto el incumplimiento determina la **pérdida esperada** de la institución financiera. A continuación, analizamos las herramientas legales (mecanismos contractuales) existentes para eliminar o mitigar el riesgo de crédito.

2.2. Enfoques tradicionales del cálculo del riesgo de crédito

En los siguientes apartados exponemos algunos de los enfoques que hasta hace poco tiempo eran los más habituales para gestionar el riesgo de crédito, con objeto de poder compararlos con los más avanzados modelos estadístico-financieros que se expondrán a continuación.

2.2.1. Basilea I

En julio de 1988 se publicó el primer convenio de capital –*capital accord*– del Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, conocido como Basilea I, en el que se sentaban las bases para el cálculo del capital necesario para cubrir los riesgos agregados (mercado, crédito, operacional, legal, etc.) a los que se enfrentaba el sistema bancario. El convenio comenzó a implementarse de forma efectiva a finales de 1992.

El criterio básico es requerir a los bancos que dispongan de un capital igual o superior al 8% del valor nominal de los activos agrupados según su grado de riesgo. Los activos se clasifican en cuatro grupos (0%, 20%, 50% y 100%) según su nivel de riesgo. Los activos considerados más seguros (deuda pública de países del G10, etc.) no tienen requerimientos de capital. Operaciones con otros bancos de la OCDE tienen un factor del 20%, lo que implica una reserva de capital del 1,6% ($8\% \times 20\%$) del valor nominal del contrato. Los préstamos con garantía hipotecaria tienen un factor del 50%, lo que implica una reserva de capital del 4% ($8\% \times 50\%$). Sin embargo, la mayoría de las operaciones con el sector privado no bancario tiene un factor del 100%, lo que implica una reserva del 8% ($8\% \times 100\%$).

Es decir, supongamos que un banco de la OCDE tiene un bono de valor nominal de 100 millones de dólares emitido por otro banco de la OCDE. En este caso el capital requerido para cubrir el riesgo de crédito del bono será de 1,6 millones dólares.

Este enfoque tiene la ventaja de su simplicidad, pero presenta numerosas limitaciones. Por ejemplo, no se tiene en cuenta ni el tamaño del contrato, ni el plazo de vencimiento, ni la calificación crediticia de la contraparte, ni siquiera el posible efecto de reducción del riesgo por estructura de la cartera (diversificación). El acuerdo fue objeto de una enmienda en 1996 que se ocupó específicamente de los riesgos de negociación (*trading*) y permitió a algunos bancos la utilización de sus propios sistemas para medir sus riesgos de mercado. Dadas las limitaciones del acuerdo, en junio de 2004 fue sustituido por el llamado acuerdo Basilea II. En el anexo 1 exponemos las líneas principales de los acuerdos de Basilea II y III.

2.2.2. Las 5 Cs

Este enfoque es un ejemplo típico de los procedimientos tradicionales que han utilizado las entidades de crédito durante muchos años. Esos procedimientos están basados en la opinión subjetiva de los directivos más experimentados, que ponderan, de forma personal, dos tipos de información. La primera de ellas, relacionada con la calidad y posible liquidez del colateral o de las garantías que se han depositado. La segunda relacionada con una serie de elementos característicos del prestatario (por ejemplo, sus ratios financieros) relacionados con su habilidad para generar flujos de caja suficientes para hacer frente a las obligaciones del contrato de préstamo.

Ampliando la anterior exposición, podríamos hablar de las 5 Cs sobre las que se basaría el análisis del riesgo de crédito de un contrato⁴. Estas 5 Cs son: carácter, capital, capacidad, colateral y ciclo. Veamos cada una de ellas en más detalle.

- a) El **carácter** hace referencia a la reputación de la empresa en su sector, su antigüedad y la solidez percibida de sus operaciones.

⁴ Saunders, 1999

- b) El **capital** hace referencia a varios ratios financieros, tales como su grado de apalancamiento (ratio deuda/capital propio) o su capacidad de servicio de la deuda (BAII/Intereses). Alto apalancamiento y escasa capacidad de cobertura del pago de intereses suelen estar asociados con altas probabilidades de fallido.
- c) La **capacidad** de repago está relacionada con la volatilidad de los ingresos, ya que a mayor volatilidad, mayor probabilidad de que aparezcan problemas a la hora de satisfacer los pagos de la deuda.
- d) El **colateral** o garantía es también muy importante, ya que cuanto mayor sea y de mejor calidad y liquidez, menor riesgo de crédito se asume.
- e) Finalmente, el estado del **ciclo** o de las condiciones económicas resulta también relevante, ya que hay evidencia empírica que indica que existen diferencias importantes en las tasas esperadas de fallido a lo largo del ciclo económico, siendo las tasas de impago mayores en situaciones de recesión económica que en situaciones de expansión⁵. Estas diferencias son también importantes entre diversos sectores industriales, en el mismo punto del ciclo económico. En particular, Taylor (1998) presenta evidencia que sugiere que hay diferencias importantes entre sectores en sus tasas promedio de impago, la variabilidad temporal de las mismas y su covariabilidad entre sectores y con respecto a la economía en su conjunto.

Otro factor adicional relacionado con el estado del ciclo económico es el nivel de tipos de interés. Así, Longstaff y Schwartz en 1995 encuentran una relación negativa entre el diferencial entre los tipos de interés de bonos con riesgo y sin riesgo –*credit spreads*– o prima de crédito por un lado, y el nivel de los tipos de interés y el valor de los activos de la empresa, por otro lado.

Finalmente, es bien conocido que la pendiente de la curva de tipos de interés libre de riesgo es un indicador adelantado del ciclo económico⁶ y, por tanto, puede relacionarse con las probabilidades de fallido. Así, por ejemplo, un decrecimiento en la pendiente de la curva de tipos suele preceder a etapas de recesión económica. El razonamiento es el siguiente. Si los

⁵ Fama y French, 1989

⁶ Harvey, 1988 y 1997; Peña y Rodríguez, 2002

inversores esperan una recesión para el próximo año, cambiarán sus inversiones de bonos sin riesgo a corto plazo por bonos a mayor plazo. Cuantos más inversores soliciten bonos con vencimiento a largo plazo su precio aumentará y su rentabilidad disminuirá. Para los bonos a corto plazo habrá menor demanda, precios más bajos y rentabilidades más altas. El diferencial entre los tipos a largo y los tipos a corto disminuirá. Como resultado deberíamos esperar una curva de tipos de interés con pendiente negativa antes de las recesiones. Lo contrario sucederá, pendiente positiva, antes de las épocas de expansión económica.

2.2.3. *Credit scoring*

Este enfoque tiene su origen en el trabajo de Altman –1968–, que utiliza las técnicas de análisis multivariante (funciones lineales discriminantes). La idea básica es tratar de identificar los factores clave asociados a la probabilidad de incumplimiento basándonos en los ratios de los estados contables de la empresa. Por ejemplo, en el conocido modelo ZETA de Altman –1977– las variables y sus ratios asociados son:

X₁: Rentabilidad de los activos (BAII/Activos totales).

X₂: Estabilidad de las ganancias (Volatilidad del BAI).

X₃: Capacidad de servicio de la deuda (BAII/Pagos por intereses).

X₄: Solvencia acumulada (Beneficios retenidos/Activos totales).

X₅: Liquidez (Activo circulante/Pasivo circulante).

X₆: Capitalización (Valor de mercado/Activos totales).

X₇: Tamaño (Log (Activos totales)).

Siendo BAI: Beneficios antes de intereses e impuestos.

La combinación de estas variables da lugar a una cierta función discriminante donde cada factor tiene una ponderación obtenida por métodos estadísticos. Una posible formulación podría ser la siguiente:

$$Z = 2X_1 + 4X_2 + 3X_3 + 6X_4 + 5X_5 + 2X_6 + 3X_7$$

Así, si una empresa tuviera un valor de Z menor que un valor predeterminado (por ejemplo, 2) se considera que hay altas probabilidades de fallido, lo que puede llevar a la cancelación anticipada o renegociación del contrato. Ese valor predeterminado se obtiene del

estudio histórico realizado sobre empresas con dificultades de solvencia. Este modelo ha sido extendido a empresas que no cotizan en Bolsa y a la calificación de la deuda de mercados emergentes, entre otras aplicaciones.

Otras extensiones de este mismo enfoque han consistido en desarrollar formas no lineales de la función discriminante. Con una filosofía similar, también se han aplicado al problema de determinación de la probabilidad de impago algoritmos de redes neuronales⁷.

No obstante, todo este conjunto de técnicas comparte una misma filosofía. No se trata de explicar los motivos que están detrás del riesgo de crédito o probabilidad de quiebra sino de buscar, a través de “cajas negras” más o menos sofisticadas técnicamente, estructuras de relaciones entre variables que repliquen los resultados observados en muestras de datos para diversas empresas.

2.3. Enfoques actuales: modelos estadístico–financieros de estimación de la probabilidad de impago

A continuación exponemos los modelos actuales para estimar la probabilidad de fallido, que constituyen no únicamente avances académicos, sino también la posibilidad de valorar los contratos de crédito más correctamente, ya que contemplan características que surgen precisamente de la realidad de los mercados financieros.

2.3.1. Modelos reducidos: probabilidad de impago a partir de las cotizaciones de los bonos

Las agencias de ratings, tales como Moody's, Standard & Poors (S&P) y Fitch tienen el cometido de proporcionar ratings que califiquen la solvencia o calidad crediticia de la deuda corporativa. Utilizando el sistema de Moody's, el mejor rating se describe con la calificación Aaa. Los bonos con esta calificación crediticia apenas tienen probabilidad de impago. El siguiente rating por orden de mayor a menor solvencia financiera se describe con la calificación Aa. A continuación y atendiendo al mismo orden, vendrían las calificaciones A, Baa, Ba, B y Caa. Tan sólo los bonos con ratings de Baa o superior obtienen el denominado “grado de inversión”, calificación que avala cierta solvencia financiera frente a los bonos con rating de Ba o inferior, denominados de “grado especulativo” dada su menor solvencia

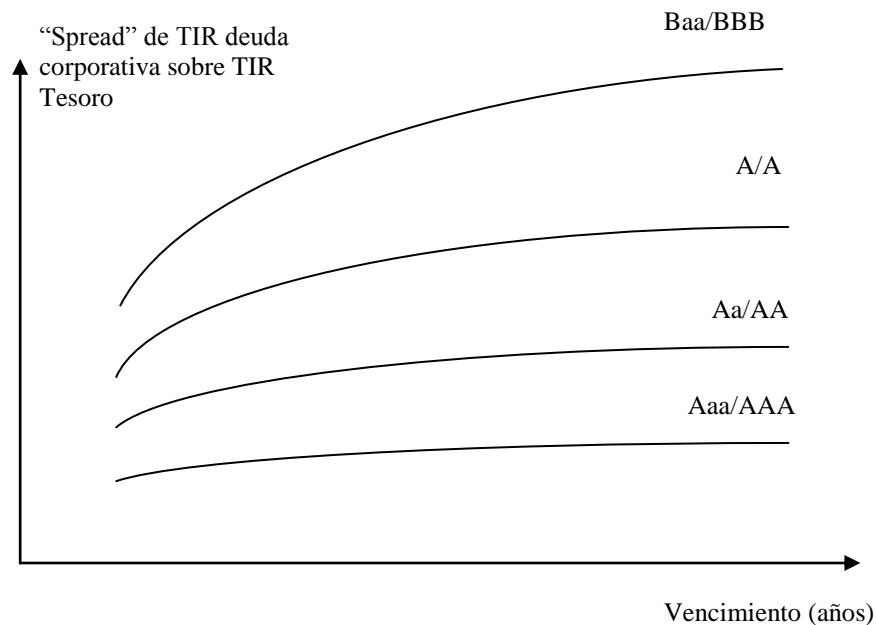
⁷ Véase Caouette, 1998.

financiera. Los ratings de S&P equivalentes a las graduaciones Aaa, Aa, A, Baa, Ba, B y Caa de Moody's, serían AAA, AA, A, BBB, BB, B y CCC respectivamente. Para crear medidas de rating más precisas, Moody's divide la categoría Aa en Aa1, Aa2 y Aa3; la categoría A en A1, A2 y A3; y así sucesivamente. De forma similar S&P divide su categoría AA en AA+, AA y AA-; la categoría A en A+, A y A-; y así sucesivamente. Tan sólo la categoría Aaa de Moody's y la categoría AAA de S&P no son divididas.

Los inversores en bonos han desarrollado procedimientos para contemplar el riesgo de crédito en los modelos de valoración de la deuda corporativa. La calibración matemática de dichos modelos para que se ajusten a la realidad del mercado financiero de renta fija corporativa continúa siendo, hoy día, objeto de estudio y constituye un reto para los académicos y profesionales del mundo financiero. Los inversores suelen emplear series históricas de precios de bonos activamente negociados en mercado para calcular una curva de rendimientos cupón cero para cada categoría de rating, de forma que dichas curvas puedan ser aplicadas para valorar otros bonos con precios menos representativos –dado su menor volumen de negociación–, o incluso sin precio de mercado. Así pues, una nueva emisión de bonos con rating A podría ser valorada utilizando la curva de rendimientos cupón cero calculada a partir de otras emisiones de bonos negociadas en mercado con la misma calificación crediticia (A).

La figura 1.1 muestra un patrón de comportamiento típico del diferencial o “spread” de los rendimientos de los bonos cupón cero de grado de inversión sobre la curva de rendimientos cupón cero del Tesoro, para distintos vencimientos y diferentes calificaciones crediticias. El diferencial incrementa a medida que disminuye el rating. Incrementa también a medida que aumenta el plazo a vencimiento. Cabría destacar que el diferencial tiende a incrementar de forma más rápida a mayor vencimiento cuando la calificación crediticia es menor. Por ejemplo, la diferencia entre el “spread” a cinco años y el “spread” a 1 año de un bono BBB es mayor que la de un bono AAA.

Figura 2.1 “Spread” del rendimiento de bonos corporativos sobre curva cupón cero del Tesoro.



El primer paso en la estimación de la probabilidad de impago a partir de los precios de los bonos es calcular el valor estimado de la pérdida por incumplimiento de deudas corporativas en diferentes vencimientos. Esto implica comparar el precio de un bono corporativo con el precio de un bono libre de riesgo que tenga idéntico vencimiento y pague el mismo cupón. La asunción general es que el valor actual del coste de la pérdida es equivalente al exceso del precio del bono libre de riesgo sobre el precio del bono corporativo. Esto significa que el exceso de la rentabilidad del bono corporativo (precios y rentabilidades están inversamente relacionados) es en su totalidad una compensación por las posibles pérdidas derivadas del impago.⁸

El precio del bono libre de riesgo es calculado a partir de la curva cupón cero libre de riesgo. Una elección natural para la curva cupón cero libre de riesgo es la curva del Tesoro. De hecho, muchos analistas comparan las rentabilidades de los bonos corporativos con las rentabilidades de los bonos del Tesoro, tal y como se indica en la figura 2.1. Sin embargo, existen factores que pueden provocar que los bonos del Tesoro tengan rentabilidades excepcionalmente bajas. Por ejemplo, en Estados Unidos los intereses procedentes de los

⁸ Otros factores tales como la liquidez también determinan el “spread” entre la rentabilidad de los bonos corporativos y los bonos libres de riesgo.

bonos Tesoro no tributan a nivel estatal, mientras que los intereses procedentes de la mayoría de los demás bonos (incluyendo los bonos corporativos) tributan tanto a nivel estatal como a nivel federal. Por otra parte, en ciertas fases del ciclo económico pueden existir fuerzas de mercado que hagan que los bonos del Tesoro tengan rendimientos artificialmente bajos, distando mucho de alinearse con los fundamentales económicos (exceso de liquidez, estimación de inflación subyacente contenida, elevada volatilidad en el mercado de renta variable o de renta fija corporativa, etc.).

Tabla 2.1. *Rendimientos y valores estimados de las pérdidas por impago en deuda corporativa (tipos de interés continuamente compuestos).*

Vencimiento (años)	Tipo cupón cero libre de riesgo (%)	Tipo cupón cero corporativo (%)	Pérdida estimada por impago (% del valor deuda soberana)
1	5,00	5,25	0,2497
2	5,00	5,50	0,9950
3	5,00	5,70	2,0781
4	5,00	5,85	3,3428
5	5,00	5,95	4,6390

Utilizaremos los datos de la tabla 2.1 para ilustrar cómo las tires corporativas pueden estar referenciadas a las pérdidas por incumplimiento. En la tabla asumimos, por simplicidad operativa, unos tipos de interés libre de riesgo cupón cero al 5% para todos los vencimientos. Asimismo, suponemos que los bonos corporativos cupón cero con vencimientos entre uno y cinco años ofrecen unas rentabilidades que oscilan entre el 5,25% para el vencimiento a un año y el 5,95% para el vencimiento a cinco años.

El valor de un bono libre de riesgo a un año con un principal de 100 unidades monetarias será:

$$100 * e^{-0.05} = 95,1229$$

El valor de un bono corporativo similar será:

$$100 * e^{-0.0525} = 94,8854$$

El valor actual de la pérdida por impago de la deuda corporativa será, por tanto:

$$95,1229 - 94,8854 = 0,2375$$

Esto significa que esperamos que esperamos que la deuda corporativa implique una pérdida por impago del 0,2497% del valor de la deuda soberana de idénticas características, o dicho de otra forma, del valor del bono corporativo si no conllevase riesgo de impago, dado que,

$$0,2375 / 95,1229 = 0,2497\%$$

El precio del bono, por tanto, lleva implícito el valor de la pérdida esperada por impago, o dicho de otra forma, los bonos cotizan probabilidades de impago.

Si consideramos ahora la deuda con vencimiento a dos años, el valor del bono libre de riesgo con un principal de 100 será:

$$100 * e^{-0.05 * 2} = 90,4837$$

El valor de un bono corporativo similar será:

$$100 * e^{-0.055 * 2} = 89,5834$$

El valor actual de la pérdida esperada por impago de la deuda corporativa, será, por tanto:

$$90,4837 - 89,5834 = 0,9003$$

Por tanto, esperamos que la deuda corporativa a dos años implique una pérdida por impago del 0.9950% del valor de la deuda soberana de idénticas características, habida cuenta que,

$$0,9003 / 90,4837 = 0,9950\%$$

Estos resultados y los correspondientes a los bonos de siguientes vencimientos se muestran en la columna final de la tabla 2.1.

2.3.1.2. Probabilidad de impago asumiendo tasa de recuperación nula.

Ejemplo.

A continuación exponemos la metodología para estimar la probabilidad de impago, asumiendo, como un caso particular, que la tasa de recuperación es nula.

Definiendo las siguientes variables:

$y(T)$: Tir del bono corporativo cupón cero a T años

$y'(T)$: Tir del bono libre de riesgo cupón cero a T años

$Q(T)$: Probabilidad de impago corporativo en el intervalo temporal $[0, T]$

El valor de un bono libre de riesgo cupón cero a T años con un principal de 100 será:

$$100 * e^{-y'(T)T}$$

El valor de un bono corporativo similar será:

$$100 * e^{-y(T)T}$$

La pérdida esperada por impago será, por tanto:

$$100 * (e^{-y'(T)T} - e^{-y(T)T})$$

Si asumimos que la tasa de recuperación fuera nula en caso de impago, el cálculo de $Q(T)$ es relativamente fácil: tendríamos una probabilidad $Q(T)$ de que el bono valga cero a vencimiento y su probabilidad complementaria $1-Q(T)$ de que el bono valga 100 a vencimiento. El valor actual del bono será, por tanto⁹:

$$\{Q(T)*0 + [1-Q(T)]*100\} * e^{-y'(T)T} = 100*[1-Q(T)] * e^{-y'(T)T}$$

⁹ Nótese que estamos descontando el resultado esperado del bono al tipo de interés libre de riesgo. Como veremos más adelante, esto significa que la probabilidad de impago, $Q(T)$, que estamos estimando es una probabilidad riesgo-neutral.

La rentabilidad del bono es $y(T)$, de forma que,

$$100 * e^{-y(T)T} = 100 * [1 - Q(T)] * e^{-y'(T)T}$$

Luego la probabilidad de impago será:

$$Q(T) = \frac{e^{-y'(T)T} - e^{-y(T)T}}{e^{-y'(T)T}}$$

O bien,

$$Q(T) = 1 - e^{-[y(T) - y'(T)]T} \quad [1]$$

Asumiendo tasa de recuperación nula, la tabla 2.2 muestra la probabilidad acumulada de impago así como la probabilidad de impago en cada año para el ejemplo dado en la tabla 2.1. La probabilidad acumulada de impago es la misma que el porcentaje de pérdida esperada por impago mostrado en la columna final de la tabla 2.1. La probabilidad de impago en cada año se obtiene por diferencia entre las probabilidad acumuladas consecutivas. Por ejemplo, la probabilidad de impago en el año cuarto será $3,3428 - 2,0781 = 1,2647\%$.

Tabla 2.2 Probabilidades de impago para el ejemplo dado en la Tabla 2.1 asumiendo tasa de recuperación nula en caso de impago.

Vencimiento (años)	Probabilidad acumulada de impago (%)	Probabilidad de impago en cada año (%)
1	0,2497	0,2497
2	0,9950	0,7453
3	2,0781	1,0831
4	3,3428	1,2647
5	4,6390	1,2962

Ejemplo. Supongamos que los diferenciales sobre los tipos de interés del Tesoro de los bonos corporativos BBB cupón cero a 5 y 10 años son 130 y 170 puntos básicos respectivamente, y que la tasa de recuperación es nula en caso de impago. A partir de la ecuación [1] obtenemos que las probabilidades de impago de ambos bonos serán:

$$Q(5) = 1 - e^{-0,013*5} = 0,0629$$

$$Q(10) = 1 - e^{-0,017*10} = 0,1563$$

De donde se deriva que la probabilidad de impago entre los años quinto y décimo será:

$$Q(10) - Q(5) = 0,1563 - 0,0629 = 0,0934$$

2.3.1.3. Probabilidad de impago condicional

En esta etapa del estudio resulta adecuado mencionar que hay dos formas de cuantificar las probabilidades de impago. La primera, en términos de las así denominadas *tasas de riesgo*. La segunda, en términos de la función de densidad de la probabilidad de impago.

Las *tasas de riesgo*, $h(t)$, en el momento t son definidas tal que $h(t)\delta t$ es la probabilidad de impago entre los momentos t y $t + \delta t$ **condicional** a la ausencia de impagos previos, es decir; $h(t)\delta t$ es la probabilidad de impago entre los momentos t y $t + \delta t$ condicional a la ausencia de impagos entre el momento cero y el momento t . Por otra parte, la densidad de la probabilidad de impago, $q(t)$, es definida tal que $q(t)\delta t$ es la probabilidad **incondicional** de impago entre los momentos t y $t + \delta t$ observada en el momento cero.

La mayor parte del análisis lo realizaremos en términos de densidad de la probabilidad de impago. De hecho, ya hemos comenzado a utilizar la densidad de probabilidad de impago: las probabilidades de impago expuestas para cada año en la tabla 2.2 son probabilidades incondicionales de impago observadas en el momento cero. Si consideramos el año quinto, la tabla 2.2 muestra una probabilidad de impago del 1,2962%. Ahora bien, la *tasa de riesgo* correspondiente viene definida por la probabilidad de impago en el año quinto condicional a la ausencia de impagos hasta el año cuarto. La probabilidad de ausencia de impagos hasta el año cuarto será la complementaria de impagos hasta dicho año: $1 - 0,033428 = 0,966572 = 96,6572\%$. Luego, la *tasa de riesgo* para el año quinto será, por tanto, $0,012962 / 0,966572 = 1,3410\%$.

2.3.1.4. Una mejor aproximación a la realidad del riesgo de crédito: tasa de recuperación no nula. Ejemplo.

El análisis presentado hasta aquí asume una tasa de recuperación nula sobre el valor de los bonos en caso de impago. Esta hipótesis resulta útil para comenzar a plantear una primera solución matemático-estadística a la valoración del riesgo de crédito. Sin embargo, en tanto en cuanto dicha asunción no se corresponde con la realidad financiera, debemos relajar tal restricción con el objeto de dotar al modelo de valoración de una mayor flexibilidad y adaptación a las características del mundo real.

Cuando una compañía se declara en quiebra, los tenedores de deuda de dicha compañía reclaman los activos propiedad de la empresa declarada en “bancarrota” para recuperar, en la medida de lo posible, la cuantía prestada. Los activos son vendidos por el liquidador para satisfacer las reclamaciones de los prestamistas en la medida de lo posible. Resulta importante matizar que ciertos bonos gozan de preferencia legal o garantías sobre otros para el derecho al cobro en caso de incumplimiento. La tabla 2.3 proporciona datos históricos provistos por una reconocida agencia de ratings sobre las cuantías recuperadas por diferentes categorías de deuda en Estados Unidos. Podemos observar que los tenedores de deuda “senior secured” (mayor preferencia legal) recuperaron un promedio de 52,8 céntimos por dólar del valor nominal en el periodo comprendido entre 1982 y 2014, mientras que los tenedores de deuda “junior subordinated” (menor preferencia legal) recuperaron un promedio de tan sólo 24,7 céntimos por dólar del valor nominal en el periodo mencionado¹⁰.

¹⁰ En estas estadísticas, Moodys’s Investor’s Service estima la cuantía recuperada como el valor de mercado del bono un mes después del impago.

Tabla 2.3 *Cuantías recuperadas sobre el valor de la deuda corporativa como porcentaje del valor nominal.*

Categoría de deuda	Promedio 1982–2014	Promedio 2014	Promedio 2013
	(%)	(%)	(%)
Senior secured	52,8	59,5	59,8
Senior unsecured	37,4	43,3	43,8
Senior subordinated	31,1	46,9	20,7
Subordinated	31,4	38,8	26,4
Junior subordinated	24,7	no datos	no datos

Fuente: Moodys's Investor's Service (marzo 2015).

Definimos la tasa de recuperación como la proporción recibida de la cantidad reclamada en caso de impago. Si aceptamos la hipótesis consistente en que la cantidad reclamada de la deuda es el valor libre de riesgo del bono (bono equivalente del Tesoro), los cálculos de la probabilidad de impago se ven simplificados. Para ello, usaremos la misma notación que hemos venido utilizando hasta ahora y denominaremos R a la tasa de recuperación esperada. En caso de impago el tenedor de la deuda recibirá, pues, una proporción R del valor libre de riesgo del bono (o de la cantidad reclamada según nuestra hipótesis). Por el contrario, si no hay impago, el tenedor de la deuda recibirá 100 u.m. (valor total de la deuda).

El valor actual libre de riesgo del bono es, como ya hemos visto anteriormente:

$$100 * e^{-y'(T)T}$$

La probabilidad de impago, al igual que antes, la definimos mediante $Q(T)$.

El valor actual del bono será, por tanto,

$$[1 - Q(T)] * 100 * e^{-y'(T)T} + Q(T) * 100R * e^{-y'(T)T}$$

Igualando dicha expresión al precio actual del bono tendremos que¹¹,

$$100 * e^{-y(T)T} = [1 - Q(T)] * 100 * e^{-y'(T)T} + Q(T) * 100R * e^{-y'(T)T}$$

Y despejando, obtenemos la expresión analítica que nos permite cuantificar la probabilidad de impago:

$$Q(T) = \frac{e^{-y'(T)T} - e^{-y(T)T}}{(1 - R) e^{-y'(T)T}}$$

Simplificando,

$$Q(T) = \frac{1 - e^{-[y(T)-y'(T)]T}}{1 - R} \quad [2]$$

Ejemplo. La siguiente tabla muestra las probabilidades acumuladas de impago que resultan de aplicar la ecuación [2] asumiendo distintas tasas de recuperación, según cuál sea la categoría del bono considerado, para los datos del ejemplo dado en la tabla 2.1. En la primera columna asumimos tasa de recuperación nula, en la segunda columna asumimos una tasa de recuperación del 24,7% (es la tasa media histórica recuperada por los tenedores de bonos “junior subordinated” en Estados Unidos, de menor preferencial legal), en la tercera columna asumimos una tasa de recuperación del 31,1% (tasa media histórica recuperada por los tenedores de bonos “senior subordinated”, de preferencia legal intermedia) y en la cuarta columna asumimos una tasa de recuperación del 52,8% (tasa media recuperada por los tenedores de bonos “senior secured”, de mayor preferencia legal).

A modo de ejemplo, en el caso del bono “senior subordinated”, la probabilidad de impago el segundo año será:

$$Q(2) = \frac{1 - e^{-[0,055-0,050]*2}}{1 - 0,311} = 1,4441\%$$

¹¹ En el anexo 2 exponemos otro planteamiento equivalente al expuesto en este apartado para deducir la probabilidad de impago, $Q(T)$, y que lo utilizaremos en el siguiente apartado de este capítulo, cuando exponamos cómo obtener la probabilidad de impago a partir de bonos con cupón en vez de bonos cupón cero.

Tabla 2.4 Probabilidades acumuladas de impago (%) para el ejemplo dado en la Tabla 2.1 asumiendo distintas tasas de recuperación (R), según la categoría del bono.

Vencimiento (años)	$R = 0$	$R = 24,7\%$ (<i>junior subordinated</i>)	$R = 31,1\%$ (<i>senior subordinated</i>)	$R = 52,8\%$ (<i>senior secured</i>)
1	0,2497	0,3316	0,3624	0,5290
2	0,9950	1,3214	1,4441	2,1081
3	2,0781	2,7598	3,0161	4,4028
4	3,3428	4,4394	4,8517	7,0823
5	4,6390	6,1606	6,7329	9,8283

2.3.1.5. Ajustando el modelo (I): probabilidad de impago a partir de bonos portadores de cupón

La ecuación [2] es, en la práctica, frecuentemente usada para obtener una estimación rápida de la probabilidad de impago. Dicho modelo se basa en la hipótesis consistente en que la cantidad reclamada en caso de impago sería el valor libre de riesgo del bono. Este supuesto resulta muy conveniente desde un punto de vista analítico, pero no se corresponde con las resoluciones de las leyes de suspensión de pagos vigentes en la mayoría de los países. Así pues, una asunción más realista sería que **la demanda judicial interpuesta en caso de impago equivaliese al valor nominal del bono más el cupón acumulado**. Por otra parte, la ecuación [2] también asume que los precios de los bonos corporativos cupón cero son, bien observables, o bien calculables. Sin embargo, las probabilidades de impago generalmente deben ser calculadas a partir de los precios de los bonos que devengan intereses, y no de los precios de los bonos cupón cero. En este contexto, trataremos de ajustar el modelo de valoración del riesgo de crédito para extraer **probabilidades de impago a partir de bonos portadores de cupón**, dados ciertos supuestos sobre la cantidad demandada judicialmente.

Supongamos que hemos seleccionado un conjunto de N bonos con cupón, tales que, o bien son emitidos por la entidad considerada a lo largo del análisis, o bien son emitidos por otra entidad que tenga aproximadamente la misma probabilidad de impago que la entidad considerada hasta ahora para todos los vencimientos. Aceptaremos que los impagos puedan producirse en cualquiera de las fechas de vencimiento de los bonos. Para ser precisos, los impagos pueden ocurrir inmediatamente antes de cada fecha de vencimiento de los bonos, si

bien más adelante generalizaremos el análisis para permitir que los impagos se produzcan en cualquier momento.

Convendremos en denominar que el vencimiento del bono i -ésimo es t_i , tal que $t_1 < t_2 < \dots < t_N$. Y definimos las siguientes variables:

- B_j : Precio del bono j -ésimo hoy
- G_j : Precio del bono j -ésimo hoy si no hubiera probabilidad de impago (por ejemplo, el precio de un bono libre de riesgo que ofreciera los mismos flujos de caja que el bono j -ésimo)
- $F_j(t)$: Precio *forward* del bono j -ésimo para un contrato a plazo con vencimiento en el momento t ($t < t_j$) asumiendo que el bono es libre de riesgo. (Nótese que $F_j(t)$ es el valor *forward* de G_j , no de B_j)
- $v(t)$: Valor actual de una unidad monetaria recibida en el momento t con certeza
- $C_j(t)$: Cantidad demandada por los tenedores del bono j -ésimo si hubiera impago en el momento t ($t < t_j$)
- $R_j(t)$: Tasa de recuperación para los tenedores del bono j -ésimo en caso de impago en el momento t ($t < t_j$)
- α_{ij} : Valor actual de la pérdida por impago del bono j -ésimo en el momento t_i
- p_i : Probabilidad de impago en el momento t_i

Para simplificar la exposición asumiremos que los tipos de interés son deterministas y que tanto las tasas de recuperación como las cantidades demandadas son conocidas con certeza. Ahora la cantidad judicialmente demandada en caso de suspensión de pagos puede ser tanto el valor libre de riesgo del bono como el valor nominal más el cupón acumulado. La tasa de recuperación se establece mediante su valor esperado en un escenario riesgo-neutral.

El precio en el momento t del valor libre de riesgo del bono j -ésimo es $F_j(t)$. Si se produjera el impago en el momento t , los tenedores del bono tendrían una tasa de recuperación $R_j(t)$ sobre la cantidad demandada $C_j(t)$. Esto significa que el **valor actual de la pérdida por suspensión de pagos en el momento t_i** será:

$$\alpha_{ij} = v(t_i) * [F_j(t_i) - R_j(t_i)C_j(t_i)]$$

Por otra parte, existe una probabilidad p_i de que la pérdida α_{ij} se produzca. El **valor actual total de las pérdidas** del bono j -ésimo vendrá, por tanto, dado por la siguiente relación:

$$G_j - B_j = \sum_{i=1}^j p_i \alpha_{ij} \quad [3]$$

Esta ecuación permite que las probabilidades p_i puedan ser determinadas inductivamente. La primera probabilidad, p_1 , será: $(G_1 - B_1)/\alpha_{11}$. Las demás **probabilidades de impago en cada vencimiento i** , por tanto, vendrán expresadas por la ecuación [4]:

$$G_j - B_j = \sum_{i=1}^j p_i \alpha_{ij} = \sum_{i=1}^{j-1} p_i \alpha_{ij} + p_j \alpha_{jj}$$

Despejando,

$$p_j = \frac{G_j - B_j - \sum_{i=1}^{j-1} p_i \alpha_{ij}}{\alpha_{jj}} \quad [4]$$

Como señalamos previamente, los N bonos empleados en el análisis han de haber sido emitidos, o bien por la entidad de referencia para el estudio, o bien por otra compañía cuyo riesgo de quiebra sea el mismo que el de la entidad objeto de estudio. Esto significa que la probabilidad p_i debería ser la misma para todos los bonos. La tasa de recuperación, en teoría, puede variar en función del bono y el momento del impago. A partir de ahora simplificaremos la exposición considerando que la tasa de recuperación esperada es la misma para todos los bonos emitidos por una misma compañía y es independiente del tiempo. Así pues, denotaremos esta tasa de recuperación esperada por R' . Esto implica que la ecuación enunciada previamente para α_{ij} (**valor actual de la pérdida por impago en el momento t_i**) será ahora:

$$\alpha_{ij} = v(t_i) * [F_j(t_i) - R' C_j(t_i)] \quad [5]$$

2.3.1.6. Ejemplo: aplicación del modelo reducido

Analizaremos una cartera de dos bonos emitidos por una misma entidad. El primer bono tiene un vencimiento de 3 años y el segundo tiene un vencimiento de 5 años y ambos bonos

pagan un cupón del 4% anual pagadero anualmente. El bono 1 se negocia con una rentabilidad del 4,5% y el bono 2 con una rentabilidad del 4,75%. Consideremos que la curva de tipos de interés libre de riesgo está plana en el 3,5%. Supongamos que el impago puede producirse en cada pago de cupón o del principal y que la tasa de recuperación es del 40%. La cantidad reclamada es el valor nominal del bono más el cupón corrido. Estimaremos las probabilidades de impago anuales Q_1 para los años 1º a 3º y Q_2 para los años 4º a 5º a partir de las cotizaciones de mercado de los bonos.

Como hemos señalado, los dos bonos han sido emitidos por una misma entidad (o bien por otra compañía cuyo riesgo de quiebra sea el mismo que el de la entidad objeto de estudio). Esto significa que las probabilidades Q_i deberían ser las mismas para los dos bonos.

Tabla 2.5 Datos de dos bonos emitidos por una compañía

Vencimiento del bono (años)	Cupón (%)	Rentabilidad del bono (%)
3,0	4,0	4,50
5,0	4,0	4,75

Para estimar las probabilidades de impago implícitas en las rentabilidades de mercado de los bonos utilizaremos, como hemos expuesto en el apartado anterior, la ecuación [3]:

$$G_j - B_j = \sum_{i=1}^j p_i \alpha_{ij}$$

Siendo:

$$\alpha_{ij} = v(t_i) * [F_j(t_i) - R' C_j(t_i)]$$

En la siguiente tabla mostramos los resultados de los cálculos para obtener la probabilidad de impago anual Q_1 hasta el año tercero, que explicamos a continuación.

Tabla 2.6 Cálculos para obtener la probabilidad de impago implícita en la rentabilidad del bono 1 asumiendo que los impagos pueden producirse en las fechas de pago de cupón o del principal.

Periodos pago de cupón (años)	Flujos del bono	Probab de impago	Cantidad recupera- da	Valor libre de riesgo en t_i	Pérdida dado el impago	Factor de descuen- to	Valor actual pérdida esperada
			$R'C(t_i)$	$F(t_i)$	$F(t_i) - R'C(t_i)$	$v(t_i)$	$p_i \alpha_i$
1	4	Q_1	41,6	104,83	63,23	0,9656	61,06 Q_1
2	4	Q_1	41,6	104,42	62,82	0,9324	58,58 Q_1
3	104	Q_1	41,6	104,00	62,40	0,9003	56,18 Q_1
Total							175,81 Q_1

En primer lugar calcularemos el valor estimado de la pérdida por fallido implícito en los precios de mercado, que es equivalente al exceso del precio del bono libre de riesgo sobre el precio del bono corporativo, siempre que ambos bonos sean equivalentes, esto es, con idéntico vencimiento y cupón. En la fórmula, viene definido por: $G - B$.

El valor actual del precio del bono 1 será el valor actualizado de sus flujos futuros. Teniendo en cuenta que paga un cupón de 4 cada año y que su rentabilidad es del 4,5%, será:

$$B = 4 * e^{-0,045*1} + 4 * e^{-0,045*2} + 104 * e^{-0,045*3} = 98,35$$

Análogamente, el valor actual libre de riesgo del bono 1 se obtiene descontando los flujos de caja con un tipo de interés del 3,5% según nuestro supuesto, esto es:

$$G = 4 * e^{-0,035*1} + 4 * e^{-0,035*2} + 104 * e^{-0,035*3} = 101,23$$

Por tanto, el valor total de la pérdida por fallido debería ser igual a:

$$B - G = 101,23 - 98,35 = 2,88$$

A continuación calculamos los demás parámetros de la ecuación [3]:

El valor libre de riesgo del bono en cada periodo, $F(t_i)$, vendrá dado por la suma de los flujos futuros del bono actualizados con el tipo libre de riesgo hasta cada periodo t_i :

$$F(t_1) = 4 + 4 * e^{-0,035*1} + 104 * e^{-0,035*2} = 104,83$$

$$F(t_2) = 4 + 104 * e^{-0,035*1} = 104,42$$

$$F(t_3) = 104$$

La cantidad recuperada es la tasa de recuperación sobre la cantidad reclamada (valor nominal más cupón corrido), de forma que es la misma en todos los periodos¹²:

$$R'C(t_i) = 40\%(100 + 4) = 41,6$$

El valor actual de la pérdida dado el impago en cada periodo será el valor libre de riesgo del bono menos la cantidad recuperada, actualizado a t_0 con los factores de descuento, esto es, $\alpha_i = v(t_i) * [F(t_i) - R'C(t_i)]$:

$$\alpha_1 = v(t_1) * [F(t_1) - R'C(t_1)] = e^{-0,035*1} * [104,83 - 41,6] = 61,06$$

$$\alpha_2 = v(t_2) * [F(t_2) - R'C(t_2)] = e^{-0,035*2} * [104,42 - 41,6] = 58,58$$

$$\alpha_3 = v(t_3) * [F(t_3) - R'C(t_3)] = e^{-0,035*3} * [104,00 - 41,6] = 56,18$$

Finalmente, el valor actual de la pérdida esperada para cada periodo será el resultado de multiplicar la probabilidad de impago por el valor de la pérdida dado el impago, $p_i * \alpha_i$:

$$p_1 * \alpha_1 = Q_1 * 61,06$$

$$p_2 * \alpha_2 = Q_1 * 58,58$$

$$p_3 * \alpha_3 = Q_1 * 56,18$$

¹² Si la cantidad reclamada hubiese sido el valor libre de riesgo del bono, entonces la cantidad recuperada (tasa de recuperación * valor libre de riesgo del bono) habría variado para cada periodo:

$$R'C(t_1) = 40\% 104,83 = 41,93$$

$$R'C(t_2) = 40\% 104,42 = 41,77$$

$$R'C(t_3) = 40\% 104,00 = 41,60$$

De forma que el valor actual total de la pérdida esperada será:

$$\sum_{i=1}^3 p_i * \alpha_i = Q_1 61,06 + Q_1 58,58 + Q_1 56,18 = Q_1 175,81$$

Por tanto, el valor de la probabilidad de impago cada año, Q_1 , definido por el precio de mercado del bono viene dado por:

$$G - B = \sum_{i=1}^3 p_i * \alpha_i \Rightarrow 2,88 = Q_1 175,81$$

La probabilidad de impago anual desde el año 1º hasta el 3º es $Q_1 = 1,64\%$.

Para obtener la probabilidad de impago anual Q_2 desde el año 4º hasta el 5º realizamos el mismo procedimiento para el bono 2.

Tabla 2.7 Cálculos para obtener la probabilidad de impago implícita en la rentabilidad del bono 2 asumiendo que los impagos pueden producirse en las fechas de pago de cupón o del principal.

Periodos pago de cupón (años)	Flujos del bono	Probab de impago	Cantidad recupera- da	Valor libre de riesgo en t_i	Pérdida dado el impago	Factor de descuen- to	Valor actual pérdida esperada
			$R'C(t_i)$	$F(t_i)$	$F(t_i) - R'C(t_i)$	$v(t_i)$	$p_i \alpha_i$
1	4	Q_1	41,6	105,61	64,01	0,9656	61,81 Q_1
2	4	Q_1	41,6	105,23	63,63	0,9324	59,32 Q_1
3	4	Q_1	41,6	104,83	63,23	0,9003	56,93 Q_1
4	4	Q_2	41,6	104,42	62,82	0,8694	54,62 Q_2
5	104	Q_2	41,6	104,00	62,40	0,8395	52,38 Q_2
Total					178,06 Q_1 + 107,00 Q_2		

Siguiendo el procedimiento expuesto para el bono 1, en primer lugar calculamos el valor estimado de la pérdida por fallido implícito en los precios de mercado, que viene definido por: $G - B$.

El valor actual del precio del bono 2 será:

$$B = 4 * e^{-0,0475*1} + 4 * e^{-0,0475*2} + 4 * e^{-0,0475*3} + 4 * e^{-0,0475*4} + 104 * e^{-0,0475*5} = 96,24$$

El valor actual libre de riesgo del bono 2 es:

$$G = 4 * e^{-0,035*1} + 4 * e^{-0,035*2} + 4 * e^{-0,035*3} + 4 * e^{-0,035*4} + 104 * e^{-0,035*5} = 101,97$$

Por tanto, el valor total de la pérdida por fallido debería ser igual a:

$$B - G = 101,97 - 96,24 = 5,73$$

A continuación calculamos los demás parámetros de la ecuación [3]:

El valor libre de riesgo del bono en cada periodo, $F(t_i)$, vendrá dado por la suma de los flujos futuros del bono actualizados con el tipo libre de riesgo hasta cada periodo t_i :

$$F(t_1) = 4 + 4 * e^{-0,035*1} + 4 * e^{-0,035*2} + 4 * e^{-0,035*3} + 104 * e^{-0,035*4} = 105,61$$

$$F(t_2) = 4 + 4 * e^{-0,035*1} + 4 * e^{-0,035*2} + 104 * e^{-0,035*3} = 105,23$$

$$F(t_3) = 4 + 4 * e^{-0,035*1} + 104 * e^{-0,035*2} = 104,83$$

$$F(t_4) = 4 + 104 * e^{-0,035*1} = 104,42$$

$$F(t_5) = 104$$

La cantidad recuperada es la misma para todos los periodos e igual que en el caso del bono 1¹³:

¹³ Si la cantidad reclamada hubiese sido el valor libre de riesgo del bono, las cantidades recuperadas (tasa de recuperación * valor libre de riesgo del bono) serían distintas para cada periodo:

$R^*C(t_1) = 40\% \cdot 105,61 = 42,24$

$R^*C(t_2) = 40\% \cdot 105,23 = 42,09$

$$R'C(t_i) = 40\%(100 + 4) = 41,6$$

El valor actual de la pérdida dado el impago en cada periodo será el valor libre de riesgo del bono menos la cantidad recuperada, actualizado a t_0 con los factores de descuento, esto es, $\alpha_i = v(t_i) * [F(t_i) - R'C(t_i)]$:

$$\alpha_1 = v(t_1) * [F(t_1) - R'C(t_1)] = e^{-0,035*1} * [105,61 - 41,6] = 61,81$$

$$\alpha_2 = v(t_2) * [F(t_2) - R'C(t_2)] = e^{-0,035*2} * [105,23 - 41,6] = 59,32$$

$$\alpha_3 = v(t_3) * [F(t_3) - R'C(t_3)] = e^{-0,035*3} * [104,83 - 41,6] = 56,93$$

$$\alpha_4 = v(t_4) * [F(t_4) - R'C(t_4)] = e^{-0,035*4} * [104,42 - 41,6] = 54,62$$

$$\alpha_5 = v(t_5) * [F(t_5) - R'C(t_5)] = e^{-0,035*5} * [104,00 - 41,6] = 52,38$$

Finalmente, el valor actual de la pérdida esperada para cada periodo será el resultado de multiplicar la probabilidad de impago por el valor de la pérdida dado el impago, esto es, $p_i * \alpha_i$. Remarcamos que la probabilidad de impago de los tres primeros años es el valor obtenido a partir del bono 1 ($Q_1 = 1,60\%$), dado que, como el bono 1 y el bono 2 han sido emitidos por una misma compañía, sus probabilidades de impago Q_i deberían ser las mismas.

$$p_1 * \alpha_1 = Q_1 * 61,81$$

$$p_2 * \alpha_2 = Q_1 * 59,32$$

$$p_3 * \alpha_3 = Q_1 * 56,93$$

$$p_4 * \alpha_4 = Q_2 * 54,62$$

$$p_5 * \alpha_5 = Q_2 * 52,38$$

De forma que el valor actual total de la pérdida esperada será:

$$R'C(t_3) = 40\% 104,83 = 41,93$$

$$R'C(t_4) = 40\% 104,42 = 41,77$$

$$R'C(t_5) = 40\% 104,00 = 41,60$$

$$\sum_{i=1}^3 p_i * \alpha_i = Q_1 61,81 + Q_1 59,32 + Q_1 56,93 + Q_2 54,62 + Q_2 52,38 = Q_1 178,06 + Q_2 107,00$$

Por tanto, el valor de la probabilidad de impago cada año, Q_2 , definido por el precio de mercado de los bonos viene dado por:

$$G - B = \sum_{i=1}^5 p_i * \alpha_i \Rightarrow 5,73 = Q_1 178,06 + Q_2 107,00$$

La probabilidad de impago anual desde el año 4º hasta el 5º es $Q_2 = 2,63\%$. Los precios de los bonos descuentan, por tanto, una probabilidad de impago de 1,64% para los tres primeros años y de 2,63% para los dos siguientes años.

2.3.1.7. Ajustando el modelo (II): el impago, susceptible de producirse en cualquier momento de la vida del préstamo

El análisis efectuado para obtener la ecuación [4] implica que el impago pueda producirse solamente en las fechas de vencimiento de los bonos. Ahora bien, este mismo análisis puede extenderse para contemplar que la suspensión de pagos pueda producirse en cualquier momento. Como ya hicimos previamente, definimos $q(t)$ como la función de densidad de la probabilidad de impago. Esto significa que $q(t)\delta t$ es la probabilidad de impago entre el momento t y el momento $t + \delta t$ observada en el momento cero.

Una aproximación es asumir que $q(t)$ es continua e igual a $q(i)$ para $t_{i-1} < t < t_i$. El **valor actual de la pérdida esperada en t** será entonces:

$$\beta_{ij} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} v(t)[F_j(t) - R'C_j(t)]dt \quad [6]$$

Y realizando nuevamente el análisis efectuado para derivar la ecuación [4] tenemos que la **densidad de probabilidad de impago** resulta:

$$q_j = \frac{G_j - B_j - \sum_{i=1}^{j-1} q_i \beta_{ij}}{\beta_{ij}} \quad [7]$$

Los parámetros β_{ij} pueden ser estimados utilizando procedimientos estándar (tales como la regla de *Simpson*) para calcular integrales definidas.

2.3.1.8. Cantidad demandada judicialmente y propiedad de valor aditivo

Cuando aceptamos la hipótesis consistente en que la cantidad demandada es el valor libre de riesgo del bono, $C_j(t) = F_j(t)$, se puede demostrar (ver anexo 3) que el valor del bono B_j , portador de cupón, es la suma de los valores de los bonos cupón cero que lo constituyen. A esta propiedad se la denomina convencionalmente como “valor aditivo”. Esto implica que teóricamente es correcto calcular curvas cupón cero para diferentes categorías de ratings a partir de bonos activamente negociados y utilizarlas posteriormente para valorar bonos con menor volumen de negociación.

Sin embargo, cuando asumimos una hipótesis más realista: la cantidad demandada $C_j(t)$ es igual al valor nominal del bono j más el interés acumulado en el momento t , no se cumple (como mostramos en el anexo 3) la propiedad de valor aditivo (excepto en el caso particular de tasa de recuperación nula). Esto implica que, en teoría, no existe una curva de rentabilidades cupón cero que pueda ser empleada para valorar bonos corporativos de forma exacta para unas condiciones dadas sobre la probabilidad de impago y la tasa de recuperación esperada.

2.3.1.9. Asset Swaps

En la práctica, los *traders* usan con frecuencia las cotizaciones *asset swap* como medio para extraer probabilidades de impago de los precios de los bonos, asumiendo la curva Libor como la curva libre de riesgo.

Un *swap* de tipo de interés (también conocido comúnmente en su terminología anglosajona: *interest rate swap –IRS-*) puede emplearse para intercambiar un pago fijo por un pago flotante. Supongamos que un inversor posee un bono corporativo a cinco años con

cupón fijo, cuya valoración actual es a la par y paga un cupón del 6% anual. Y supongamos una curva cupón cero Libor *flat* al 4,5% anual (compuesto semestralmente). En un swap de tipo de interés a cinco años simple o “*plain vanilla*” intercambiaríamos un tipo fijo del 4,5% por el tipo variable Libor. De forma equivalente, un tipo fijo del 6% sería intercambiado por Libor más 150 puntos básicos en dicho swap. Esto significa que el inversor en cuestión podría utilizar un swap de tipo de interés a cinco años para intercambiar el cupón del bono por Libor más 150 puntos básicos. No obstante, el inversor seguiría aún asumiendo el riesgo de crédito inherente al bono. El *asset swap*, por tanto, estaría referido al mero intercambio de los flujos del bono por los flujos variables resultantes de aplicar un diferencial de 150 puntos básicos sobre Libor.

La transacción del *swap* pone de manifiesto que el inversor ve compensado su riesgo de crédito recibiendo 150 puntos básicos extras anuales durante cinco años. El valor de 150 puntos básicos anuales (pagados semestralmente) utilizando la curva Libor como factor de descuento es 6,65 u.m.¹⁴ por cada 100 u.m. de valor nominal. Esto implica que, si el bono corporativo hubiese sido libre de riesgo, su valor se habría incrementado en 6,65 u.m. por cada 100 u.m. de valor nominal. Así pues, en la terminología de este análisis, $B_j = 100$ y $G_j = 106,65$ para el bono estudiado y las ecuaciones [4] y [7] pueden, por tanto, ser utilizadas para estimar probabilidades de impago.

Completaremos el estudio considerando ahora que el bono estuviese valorado al 95% de su valor nominal y pagase un cupón del 5% anual. La curva Libor se mantiene al 4,5% *flat* anual. El *asset swap* normalmente se estructuraría de forma que el tenedor del bono pagara 5 u.m. por cada 100 u.m. de valor nominal al inicio e intercambiara los cupones por el tipo Libor más un diferencial (también convencionalmente conocido en su versión anglosajona, “*spread*”). Como quiera que un tipo fijo del 4,5% se intercambia por el tipo Libor en un *swap* estándar a cinco años, un cupón del 5% será pues intercambiado por Libor más 50 puntos básicos. Por otra parte, un pago de 5 u.m. en el momento inicial equivale a 1,12 u.m.¹⁵ anuales durante cinco años, pagadas semestralmente. Luego el inversor requerirá, por tanto, una

¹⁴ Debemos calcular el valor actual de la renta semestral constante (0,75 u.m, -1,5/2-) durante cinco años:
 Valor actual = $0,75 * 1,045^{-0,5} + 0,75 * 1,045^{-1} + 0,75 * 1,045^{-1,5} + 0,75 * 1,045^{-2} + \dots + 0,75 * 1,045^{-5} =$
 $0,75 * (1,045^{-0,5} + 1,045^{-1} + 1,045^{-1,5} + 1,045^{-2} + \dots + 1,045^{-5}) = 6,65$

¹⁵ Debemos calcular el pago semestral constante (X) a cinco años de la renta cuyo valor actual es 5 u.m.:
 $5 = X * 1,045^{-0,5} + X * 1,045^{-1} + X * 1,045^{-1,5} + X * 1,045^{-2} + \dots + X * 1,045^{-5}$
 $5 = X * (1,045^{-0,5} + 1,045^{-1} + 1,045^{-1,5} + 1,045^{-2} + \dots + 1,045^{-5})$
 $X = 0,5632$. Pago anual = 1,12 (2*0,5632)

compensación adicional de 112 puntos básicos por el pago hecho hasta el vencimiento. En suma, el pago flotante total debería ser entonces Libor más 162 puntos básicos (50 + 112). De esta manera, el *asset swap* conlleva el intercambio de la rentabilidad del bono por un diferencial de 162 puntos básicos sobre Libor. Y habida cuenta que el valor de 162 puntos básicos anuales (pagaderos semestralmente) durante cinco años es 7,22 u.m.¹⁶ por cada 100 u.m. de valor nominal, tendremos que, en nuestro ejemplo, $B_j = 95,00$ y $G_j = 95,00 + 7,22 = 102,22$. El conocimiento de ambos parámetros nos permite utilizar los modelos vistos, [4] y [7], para estimar probabilidades de impago.

Cuando los diferenciales *asset swap* son conocidos para un cierto número de bonos con distintos vencimientos podemos utilizar las ecuaciones [4] y [7] para estimar probabilidades de impago. El diferencial *asset swap* dependerá del rating o calificación crediticia del bono y de su vencimiento. En teoría, también debiera depender moderadamente del cupón del bono, si bien, en la práctica, dado que el mercado de bonos no goza de mucha liquidez, con frecuencia se emplean los mismos diferenciales crediticios para todos los cupones. En conclusión, un diferencial *asset swap* cotizado es susceptible de ser aplicado para resolver las ecuaciones [4] y [7], que ofrecen una posible solución a la estimación de la probabilidad de impago.

2.3.2. Modelos basados en los datos históricos

Nos plantearemos ahora cómo la probabilidad de impago puede ser estimada alternativamente a partir de datos históricos. La tabla 2.8 contiene la información típicamente difundida por las agencias de rating. La tabla muestra la experiencia de impagos a lo largo del tiempo de empresas que comenzaron a emitir deuda con una determinada calificación crediticia. Estas tasas de impago suelen estar basadas en datos de los últimos veinte años. Así pues, según se desprende de la tabla, un bono emitido con una calificación crediticia inicial de BBB tiene un 0,18% de probabilidad acumulada de impago al término del primer año, un 0,52% de probabilidad acumulada de impago al término del segundo año, y así sucesivamente. La probabilidad de impago durante un año en particular también puede ser calculada a partir de los datos históricos. Por ejemplo, la probabilidad de impago durante el

¹⁶ Debemos calcular el valor actual de la renta semestral constante (0,8139 u.m, -1,6279/2-) durante cinco años:
 Valor actual = $0,81 \cdot 1,045^{-0,5} + 0,81 \cdot 1,045^{-1} + 0,81 \cdot 1,045^{-1,5} + 0,81 \cdot 1,045^{-2} + \dots + 0,81 \cdot 1,045^{-5} =$
 $0,81 \cdot (1,045^{-0,5} + 1,045^{-1} + 1,045^{-1,5} + 1,045^{-2} + \dots + 1,045^{-5}) = 7,22$

segundo año de un bono cuya solvencia financiera tenga la calificación BBB será: $0,52\% - 0,18\% = 0,34\%$.

Para los bonos de grado de inversión la probabilidad de impago en un año tiende a ser función creciente del tiempo. Sin embargo, para los bonos tasados con una baja calificación crediticia suele cumplirse lo contrario. Estas afirmaciones pueden demostrarse fácilmente comparando los datos históricos. En la tabla 2.8, las probabilidades de impago en cada año (no acumuladas) de un bono AA, observadas en el momento cero, durante los años 1º, 2º, 3º, 4º y 5º son 0,02%, 0,05%, 0,08%, 0,13% y 0,16% respectivamente –tendencia creciente en función del tiempo–. Por otra parte, las probabilidades correspondientes a un bono CCC son 12,35%, 10,49%, 8,59%, 6,99% y 5,95%¹⁷ –tendencia decreciente en función del tiempo–. En conclusión, cuando se trata de bonos con una buena calificación crediticia, generalmente debería pasar un periodo de tiempo significativo para que los recursos del emisor se vieran reducidos hasta el punto de provocar la suspensión de pagos. En el caso de bonos con una débil solvencia financiera, los dos primeros años y, especialmente el primero, pueden ser críticos. Ahora bien, si el emisor supera dicho periodo, se espera que la probabilidad de impago sea menor cada año.

Tabla 2.8 Tasa media acumulada de impago, 1983–2014 (%).

Rating	Plazo (años)							
	1	2	3	4	5	7	10	15
AAA	0,00	0,01	0,01	0,04	0,08	0,17	0,18	0,18
AA	0,02	0,07	0,15	0,28	0,44	0,68	0,98	1,84
A	0,06	0,22	0,49	0,77	1,10	1,84	2,99	4,81
BBB	0,18	0,52	0,91	1,37	1,85	2,80	4,24	7,40
BB	1,09	3,15	5,26	8,24	10,46	14,32	19,27	27,31
B	3,69	8,90	14,23	18,94	23,28	31,12	39,34	48,29
CCC	12,35	22,84	31,43	38,42	44,37	52,49	63,12	73,88

Fuente: Moodys's, marzo 2015

¹⁷ Las probabilidades condicionales durante los cinco primeros años, tal como las definimos en el apartado 2.3.1.3, son 12,35%, 11,97%, 11,13%, 10,19% y 9,66% respectivamente.

2.3.3. Modelos estructurales: probabilidad de impago a partir de los precios de las acciones. El modelo de Merton.

Las aproximaciones que hemos examinado hasta ahora para estimar la probabilidad de impago de una compañía se basan, en último término, en la calidad crediticia de dicha entidad. Sin embargo, las calificaciones crediticias se revisan con cierta periodicidad, que puede resultar relativamente escasa para el propósito de actualizar las probabilidades de impago. Este hecho ha conducido a que algunos analistas se cuestionen si los precios de las acciones pueden proporcionar información más actualizada para estimar probabilidades de impago.

En 1974, Merton propuso un modelo para valorar bonos corporativos, basado en la teoría de opciones¹⁸. El modelo proporciona el marco conceptual gracias al cual podemos llegar a cuantificar la interrelación entre los mercados de renta variable y renta fija. La gran dificultad para la aplicación práctica de esa metodología es, como casi siempre en temas de valoración, la información. En este estudio, el autor trata de establecer un marco teórico para poder estimar los posibles beneficios o pérdidas para los tenedores de bonos corporativos ante un cambio en la probabilidad de impago, excluyendo las variaciones de valor debidas a cambios en los tipos de interés sin riesgo.

A continuación expondremos las líneas generales de la teoría matemático-financiera en la que podemos fundamentar las afirmaciones sobre la valoración de bonos corporativos según el modelo de Merton: a mayor apalancamiento financiero, mayor diferencial y a mayor volatilidad del precio de la acción, mayor diferencial.

El punto de partida reside en la igualdad contable Activo = Pasivo, o bien,

$$\text{Valor empresa (EV)} = \text{Capitalización (C)} + \text{Valor de la deuda (D)}$$

Sabemos que el **valor de la empresa** (EV del inglés *enterprise value*) o valor de los activos productivos es el valor actual de los flujos generados por dichos activos productivos, es decir; el **valor actual de los flujos de caja libre operativos**. Este valor también sabemos que es inobservable en el mercado. La capitalización bursátil (C) es un dato observable en el

¹⁸ R. Merton, "On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates", *Journal of Finance*, 29 (1974), 449-70.

mercado y el valor de la deuda (D) es la cifra que queremos llegar a determinar con este modelo. La idea que subyace en el modelo es que los mercados de renta variable son más eficientes, desarrollados y líquidos que los de renta fija corporativa. Comencemos la exposición del mismo, aplicándolo a una empresa que sólo tiene recursos propios y un bono cupón cero de vencimiento t .

En el momento de tiempo 0 estableceremos:

$$EV_0 = C_0 + D_0$$

Esta ecuación no tiene solución dado que tenemos dos incógnitas: EV_0 y D_0 . Tan sólo conocemos el valor de C_0 .

En el momento de tiempo t , en el que asumimos vence la deuda, tendremos:

$$EV_t = C_t + D_t$$

C_t tomará un valor que será el **máximo** entre:

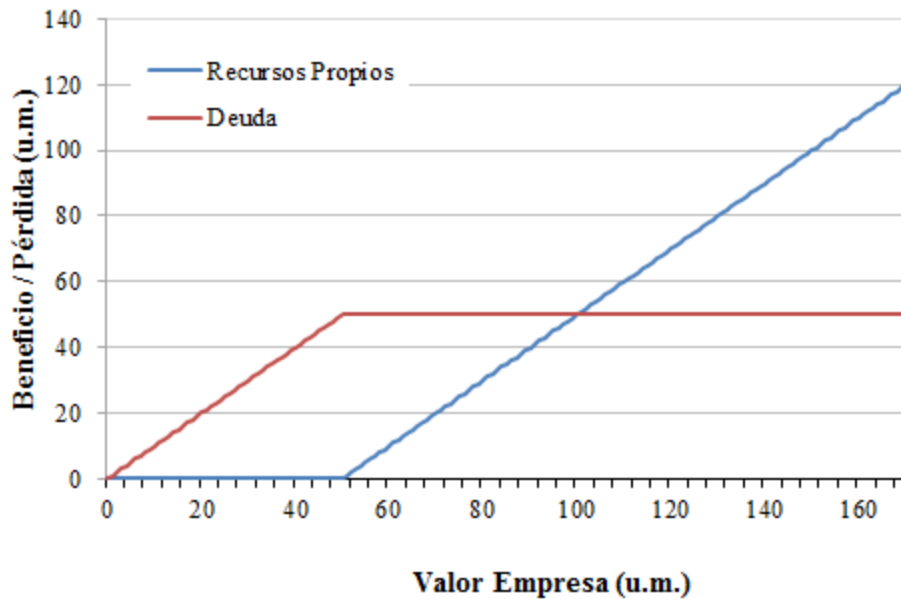
$$\begin{array}{ll} \mathbf{0} & \text{si } EV_t < \text{Valor nominal de la deuda (VND)} \\ \mathbf{EV_t - VND} & \text{si } EV_t > \text{VND} \end{array}$$

D_t tomará un valor que será el **mínimo** entre:

$$\begin{array}{ll} \mathbf{EV_t} & \text{si } EV_t < \text{Valor nominal de la deuda (VND)} \\ \mathbf{VND} & \text{si } EV_t > \text{VND} \end{array}$$

Veamos en el gráfico inferior los posibles valores que pueden tomar la deuda y los recursos propios de una compañía atendiendo a la evolución de su valor empresa y asumiendo que el valor nominal de la deuda es 50 u.m.

Figura 2.2 Valores que pueden tomar la deuda y los recursos propios en el momento t



2.3.3.1. El significado económico de las propuestas de Merton

Los **bonistas** recibirán en el momento del vencimiento de su deuda un máximo de la cantidad pactada, el valor nominal de la deuda. Pero, si el valor de la empresa es inferior a dicha cantidad, recibirán “lo que haya”. **Su máxima pérdida está limitada al dinero prestado. Su potencial de cobro está también limitado al VND.**

Los **accionistas** recibirán los flujos excedentarios una vez pagada la deuda. Por tanto, si el valor de la empresa es inferior al valor de la deuda no recibirán nada. Por el contrario, si el valor de la empresa es superior recibirán el excedente. **Su máxima pérdida está limitada a su inversión. Pero en este caso, el beneficio potencial es ilimitado.**

2.3.3.2. Analogía entre las propuestas de Merton y las opciones de compra y venta

Al analizar el gráfico anterior observamos que,

- Los **recursos propios** tienen un perfil idéntico al de una opción **call comprada**.
- La **deuda** tiene una forma general equivalente a la de una opción **put vendida**, aunque hemos de matizar que el valor total de la posición nunca tiene un valor inferior a cero.

Antes de continuar con nuestro desarrollo teórico, vamos a enunciar brevemente las principales formulaciones matemáticas de la teoría de opciones que posteriormente utilizaremos para llegar a la valoración de la deuda corporativa:

- La paridad put – call (*put – call parity*).
- El modelo de valoración de opciones de Black-Scholes.

2.3.3.3. La paridad put – call

La paridad put – call establece que comprar el activo subyacente (S_0) equivale a comprar una opción call sobre un activo subyacente (S) a un precio de ejercicio (K), vender una opción put sobre el mismo subyacente y al mismo precio de ejercicio y realizar una inversión al tipo libre de riesgo con valor final igual al precio de ejercicio de ambas opciones. Matemáticamente, formulamos esta equivalencia de la siguiente manera:

$$S_0 - \text{call}(S,K) = \frac{K}{e^{rt}} - \text{put}(S,K)$$

2.3.3.4. El modelo de valoración de Black-Scholes

El modelo de Black-Scholes ofrece una solución matemática para la valoración de opciones. La asunción más relevante del modelo es que el precio de la acción es una variable aleatoria cuya tasa de rendimiento instantánea sigue un proceso de media y desviación típica constantes que da lugar a una distribución log-normal.

El valor de una call y de una put viene definido por las siguientes fórmulas (en una acción que no pague dividendos):

$$\text{Call}(S,K) = S_0 * N(d_1) - \frac{K}{e^{rt}} * N(d_2)$$

$$\text{Put}(S,K) = \frac{K}{e^{rt}} * N(-d_2) - S_0 * N(-d_1)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K/e^{-rt}}\right) + 0.5 * \sigma^2 * t}{\sigma * \sqrt{t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma * \sqrt{t}$$

Siendo:

- S:** Activo subyacente
- S_0 :** Precio actual del activo subyacente
- K:** Precio de ejercicio
- r:** Tipo de interés libre de riesgo
- t:** Tiempo hasta el vencimiento
- σ :** Volatilidad del activo subyacente
- N:** Función de distribución normal

2.3.3.5. Modelo de Merton: aplicación de la teoría de opciones al valor de una empresa

Como hemos anticipado, el gráfico expuesto anteriormente muestra que la **capitalización bursátil** responde al *pay-off* de una **opción de compra (call) sobre el valor de la empresa con un precio de ejercicio igual al valor nominal de la deuda** y vencimiento en t . Entonces:

$$C_0 = \text{call}(\text{EV}, \text{VND})$$

Donde:

EV (valor empresa) = S (activo subyacente)

VND (valor nominal de la deuda = K (precio de ejercicio)

Sustituyendo estos conceptos en la fórmula de la paridad put-call podremos deducir el valor de D_0 . Así pues:

$$D_0 = EV_0 - C_0$$

$$D_0 = EV_0 - \text{call}(EV, \text{VND}) = \frac{\text{VND}}{e^{rt}} - \text{put}(EV, \text{VND})$$

El **valor de la deuda** responde al pay-off de una doble posición: **una posición larga en un bono libre de riesgo** con valor final el valor nominal de la deuda y **una posición corta en una put sobre el valor empresa** y con precio de ejercicio el valor nominal de la deuda.

La solución cuantitativa de la ecuación del valor de la deuda la obtenemos a través del modelo de Black-Scholes (sustituyendo nuevamente los conceptos):

$$C_0 = EV_0 * N(d_1) - \frac{\text{VND}}{e^{rt}} * N(d_2) \quad [8]$$

$$D_0 = \frac{\text{VND}}{e^{rt}} - \left[\frac{\text{VND}}{e^{rt}} * N(-d_2) - EV_0 * N(-d_1) \right]$$

$$D_0 = EV_0 * N(-d_1) + \frac{\text{VND}}{e^{rt}} * (1 - N(-d_2))$$

Siendo:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{EV_0}{\text{VND}/e^{-rt}}\right) + 0.5 * \sigma_{EV}^2 * t}{\sigma_{EV} * \sqrt{t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma_{EV} * \sqrt{t}$$

La **probabilidad de impago riesgo-neutral** viene definida por el parámetro $N(-d_2)$, siendo, lógicamente, $1 - N(-d_2)$ la probabilidad de cumplimiento de la obligación contraída. Para calcular dicha variable, se requiere conocer EV_0 y σ_{EV} . Ninguno de estos valores son directamente observables en el mercado. Sin embargo, si la empresa es negociada en el

mercado de valores, podremos observar EV_0 . Esto significa que la ecuación [8] proporciona una condición que debe ser satisfecha por EV_0 y σ_{EV} . Por otra parte, también podemos estimar σ_C a partir del Lema de Itô:

$$\sigma_c * C_0 = \sigma_{EV} * EV_0 * \frac{\partial C}{\partial EV}$$

O bien,

$$\sigma_c * C_0 = \sigma_{EV} * EV_0 * N(d_1) \quad [9]$$

Esta estimación nos proporciona otra ecuación que debe ser satisfecha por EV_0 y σ_{EV} . Así pues, las expresiones [8] y [9] conforman un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas que puede ser resuelto para EV_0 y σ_{EV} ,¹⁹ cuyos valores nos permitirán obtener la probabilidad de impago $N(-d_2)$.

2.3.3.6. Ejemplo: aplicación del modelo de Merton

Sea la capitalización bursátil de una empresa 3 millones de u.m. La volatilidad de sus acciones se sitúa en niveles del 80%. El valor de la deuda asciende a 10 millones de u.m. con vencimiento a 1 año y el tipo de interés libre de riesgo es del 5% anual.

En este caso, $E_0 = 3$, $\sigma_{EV} = 0,80$, $r = 0,05$, $t = 1$ y $VND = 10$. Resolviendo las ecuaciones [8] y [9] obtenemos $EV_0 = 12,40$ y $\sigma_{EV} = 0,2123$. El parámetro d_2 toma el valor 1.1408, de forma que la probabilidad de impago resulta ser $N(-d_2) = 0,127$, o bien 12,7%. El valor de mercado de la deuda (D_0) viene dado por la diferencia $EV_0 - C_0 = 9,40$, mientras que el valor actual de la deuda contraída es $10e^{-0,05*1} = 9,51$. Del valor de mercado y el valor actual derivamos que la pérdida esperada sobre el pago comprometido es, por tanto, $(9,51 - 9,40)/9,51 \approx 1,2\%$ de su valor libre de riesgo. Por último, comparando la pérdida esperada con la probabilidad de impago podemos deducir la tasa de recuperación esperada en caso de incumplimiento: $(12,7 - 1,2)/12,7 \approx 91\%$. También podemos obtener el diferencial de tipos de interés. La rentabilidad de este bono es $-\ln(D_0/VND) = -\ln(9,4/10) = 6,18\%$ y el diferencial frente al tipo libre de riesgo: $6,18\% - 5,0\% = 1,18\%$ ó 118 p.b.

¹⁹ Para resolver ecuaciones no lineales de la forma $F(x, y) = 0$ y $G(x, y) = 0$, podemos utilizar la rutina *Solver* en Excel y encontrar así los valores de x e y que minimizan $[F(x, y)]^2 + [G(x, y)]^2$.

2.3.3.7. ¿Cómo afectan el apalancamiento financiero y la volatilidad al valor de la deuda?

La teoría de Merton sobre la valoración de bonos corporativos da forma a la interrelación entre los mercados financieros de renta fija y renta variable: el valor de la deuda baja, y por tanto su diferencial de rentabilidad sobre el tipo de interés libre de riesgo es mayor, cuando se incrementa el apalancamiento y aumenta la volatilidad. Comprobaremos ahora cómo estas conclusiones se derivan analizando las relaciones existentes entre las variables que determinan el valor de las primas de las opciones de compra y venta:

- **Precio del activo subyacente: relación positiva con la call y negativa con la put.** Traducido al modelo analítico, el mayor precio del activo subyacente es un mayor valor de la empresa que, a un mismo nivel de deuda, implica un menor apalancamiento. Un menor valor de la put implica un mayor valor de la deuda ($D_0 = VNDe^{-rt} - \text{put}(EV, VND)$). Podemos concluir, por tanto, que a menor apalancamiento, mayor valor de la deuda.
- **Precio de ejercicio: relación negativa con la call y positiva con la put.** Un mayor precio de ejercicio implica un mayor valor nominal de la deuda y, consecuentemente, un mayor apalancamiento. Un mayor valor de la put vendida implica un menor valor de la deuda.
- **Volatilidad implícita: relación positiva con call y put.** Un mayor valor de la put vendida implica un menor valor de la deuda y, por tanto, a mayor volatilidad, menor valor de la deuda (la volatilidad incrementa el valor de las opciones, ya sean call o put, por aumentar los valores que puede tomar el subyacente a vencimiento). En este punto hemos de matizar que en el mercado sólo son observables las volatilidades histórica e implícita de la capitalización (call del modelo). La volatilidad del activo subyacente (valor empresa) la tenemos que calcular como se ha expuesto anteriormente.

2.3.3.8. Análisis de sensibilidades

Aunque el objetivo de este trabajo pretende cubrir el análisis del riesgo de crédito mediante la valoración cuantitativa de la probabilidad de impago, enunciaremos a título complementario las principales conclusiones que se obtienen al analizar la sensibilidad del

valor de la deuda ante variaciones del apalancamiento de la empresa y de la volatilidad de la capitalización, remarcando así otras conclusiones referentes al valor deuda y valor empresa y sus sensibilidades.

- El **valor de la deuda** es más sensible a variaciones de la volatilidad del precio de la acción que a variaciones en el apalancamiento.
- El impacto de la **volatilidad** en el valor de la deuda es exponencial.
- El impacto del **apalancamiento** en el valor de la deuda es tanto mayor cuanto mayor sea la volatilidad.

Si ponemos estas conclusiones en relación con algunas afirmaciones comúnmente aceptadas en los mercados financieros, veremos la concordancia que existe. Por ejemplo: “las empresas eléctricas aceptan altos niveles de endeudamiento”. En esta asunción lo que estamos admitiendo es que los niveles de ingresos de las eléctricas son muy predecibles y estables (y por tanto, tienen una baja volatilidad entendida ésta como incertidumbre) lo cual en el modelo de Merton implicaría unos diferenciales de rentabilidad sobre el tipo de interés libre de riesgo relativamente bajos.

2.4. Análisis comparativo de los modelos de predicción de insolvencia empresarial

Una vez concluido el estudio de los modelos estadísticos de estimación de la probabilidad de impago, expondremos un análisis comparativo de los mismos con el objetivo de determinar las ventajas y limitaciones de cada uno de ellos y, por tanto, cuándo resulta más adecuado el empleo de cada metodología analizada. Para ello contrastaremos, mediante aplicaciones prácticas, los resultados de los modelos reducidos y de los modelos estructurales con los resultados obtenidos a partir de los datos históricos. Haremos también especial hincapié en las principales limitaciones de los modelos basados en la evidencia empírica y sus consecuencias sobre las probabilidades de impago obtenidas a partir de los datos históricos.

2.4.1. Ventajas y limitaciones de los modelos reducidos

Las probabilidades de impago estimadas a partir de los precios de los bonos son significativamente mayores que las probabilidades obtenidas a partir de datos históricos, mostradas en la tabla 2.8. A modo de ejemplo, un bono corporativo cupón cero con

rating BBB y vencimiento a diez años cotiza actualmente con un diferencial de tipo de interés aproximado de 180 puntos básicos sobre el tipo del bono Tesoro al mismo plazo²⁰. Asumiendo una tasa de recuperación nula, la ecuación [2] basada en los precios de los bonos da una estimación de la probabilidad de impago acumulada a diez años de:

$$1 - e^{-0,018*10} = 17,47\%$$

Sin embargo, la probabilidad histórica de impago acumulada para un bono con rating BBB a diez años es del 4,24%, como se expone en la tabla 2.8.

La hipótesis de tasa de recuperación nula es conservadora, dado que, en la práctica, la tasa de recuperación no es nula. A medida que incrementemos la tasa de recuperación, aumentará la probabilidad de impago calculada a partir de los precios de los bonos. Por ejemplo, si la tasa de recuperación fuese del 30%, la probabilidad de impago acumulada a diez años implícita en los precios de los bonos sería del 23,53%:

$$\frac{1 - e^{-0,018*10}}{1 - 0,30} = 23,53\%$$

Las razones que explican la discrepancia entre las probabilidades de impago calculadas a partir de los precios de los bonos y las tasas de impago observadas históricamente son varias, como exponemos a continuación.

Factores que determinan el diferencial de tipos de interés

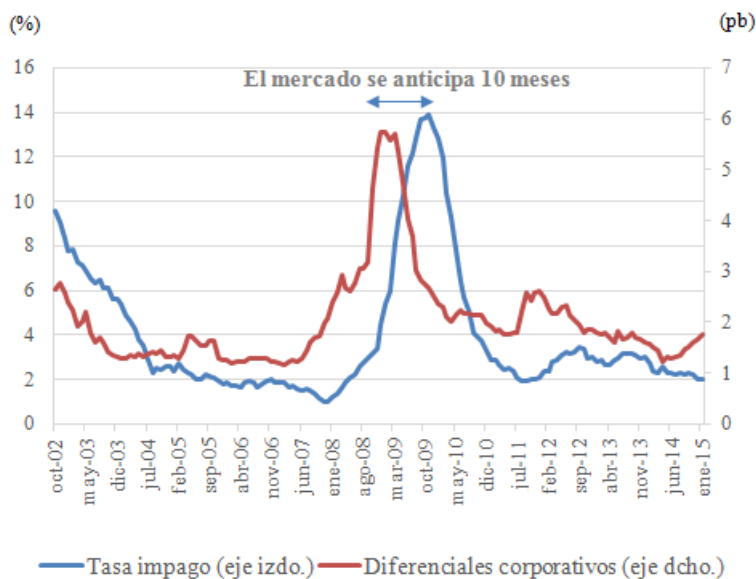
Por una parte, el diferencial de tipos de interés de los bonos corporativos sobre el tipo libre de riesgo (o prima por riesgo de crédito) no solo responde al riesgo de crédito, sino también a otros factores, fundamentalmente al riesgo de liquidez y, en menor medida, al riesgo sistémico. El aumento de los diferenciales corporativos debido a otros riesgos distintos al riesgo de crédito se traduce en unas probabilidades de impago mayores de lo que teóricamente correspondería. Del análisis que hemos realizado sobre la relación entre los diferenciales crediticios y el riesgo de crédito obtenemos las siguientes conclusiones:

²⁰ De acuerdo con el índice teórico “CSIBBB Index” publicado por Bloomberg, que muestra el diferencial de rentabilidad entre los bonos corporativos de EEUU con rating BBB y vencimiento a diez años y el bono Tesoro al mismo plazo.

- a) Los diferenciales corporativos cotizados en los mercados financieros no están correlacionados con la tasa de impago actual, sino con las expectativas para la tasa de impago, aproximadamente de los próximos 12 meses.
- b) La correlación entre los diferenciales corporativos y las expectativas de la tasa de impago se ha intensificado muy significativamente en los últimos diez años y,
- c) A pesar de la alta correlación que existe actualmente entre diferenciales corporativos y las expectativas de la tasa de impago, el riesgo de liquidez también explica una parte importante de los diferenciales corporativos, provocando que las probabilidades de impago basadas en los diferenciales corporativos cotizados en los mercados financieros sean más altas que las probabilidades observadas históricamente.

Igual que sucede en otros mercados financieros, se observa que los precios del mercado de deuda corporativa no dependen de las tasas de impago actuales, sino que recogen las expectativas para las tasas de impago de los próximos 10 ó 12 meses.

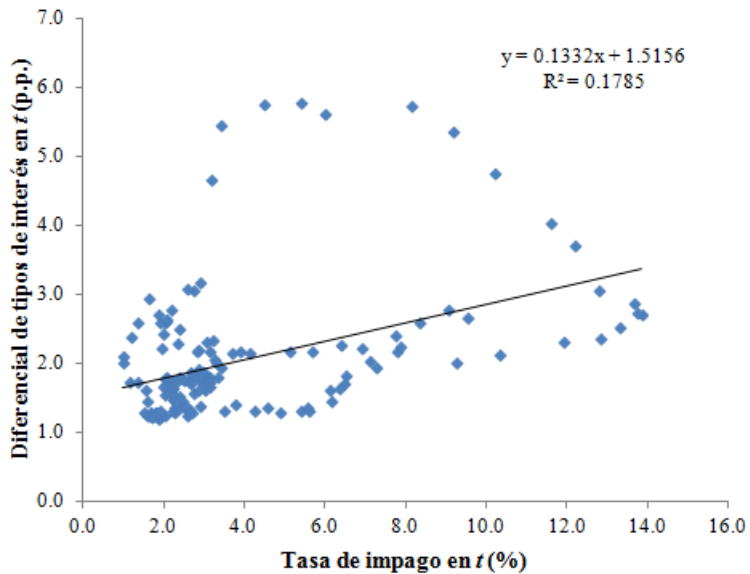
Figura 2.3 Evolución de los diferenciales crediticios de bonos BBB a 10 años vs. tasa de impago media histórica²¹.



²¹ Tasa de impago proporcionado por Moodys para los bonos corporativos de grado especulativo

En consecuencia, el análisis de regresión entre los diferenciales de crédito en el momento t y la tasa media de impago en el mismo periodo t ofrece resultados estadísticamente poco significativos, como mostramos en el gráfico siguiente.

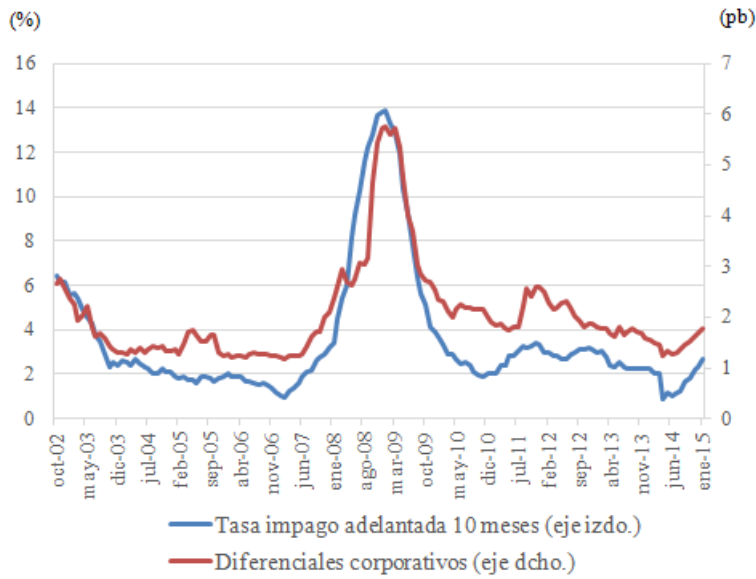
Figura 2.4 *Análisis de regresión entre los diferenciales crediticios de bonos BBB a 10 años en el momento t y tasa media de impago en el momento t , con datos históricos del periodo 2002–2015²².*



Sin embargo, si anticipamos diez meses las tasas de impago resulta inmediato que estos datos son clave para determinar la evolución de los diferenciales crediticios, como se aprecia en la siguiente figura.

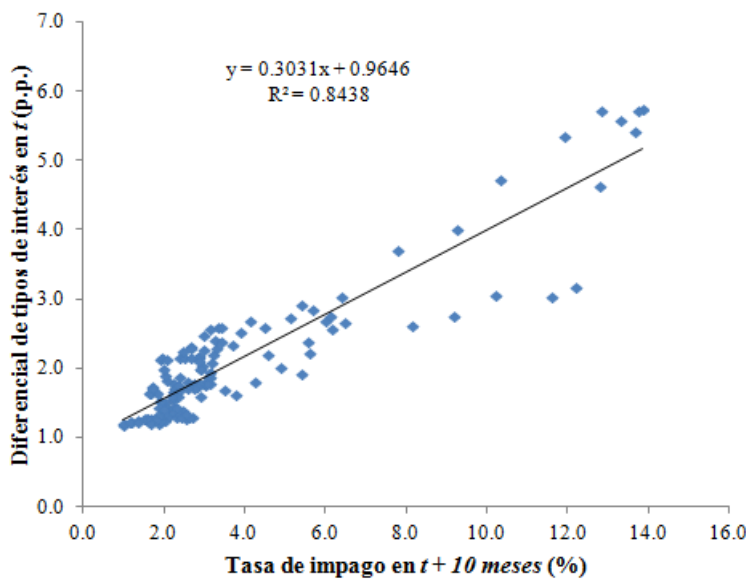
²² Para realizar el análisis de regresión hemos considerado los datos proporcionados por Moody's sobre tasas de impago históricas y los diferenciales de tipos de interés del índice *CSI BBB Index* elaborado por Bloomberg.

Figura 2.5 Evolución de los diferenciales crediticios de bonos BBB a 10 años vs. tasa media de impago histórica anticipada 10 meses.



El análisis de regresión sugiere que, en la última década, la tasa media de impago en el periodo $t + 10$ meses explica algo más de un 80% del nivel de los diferenciales crediticios en el momento t . Esto es, las previsiones de la tasa media de impago para los próximos meses determinan el nivel actual de los diferenciales crediticios que cotizan en los mercados financieros.

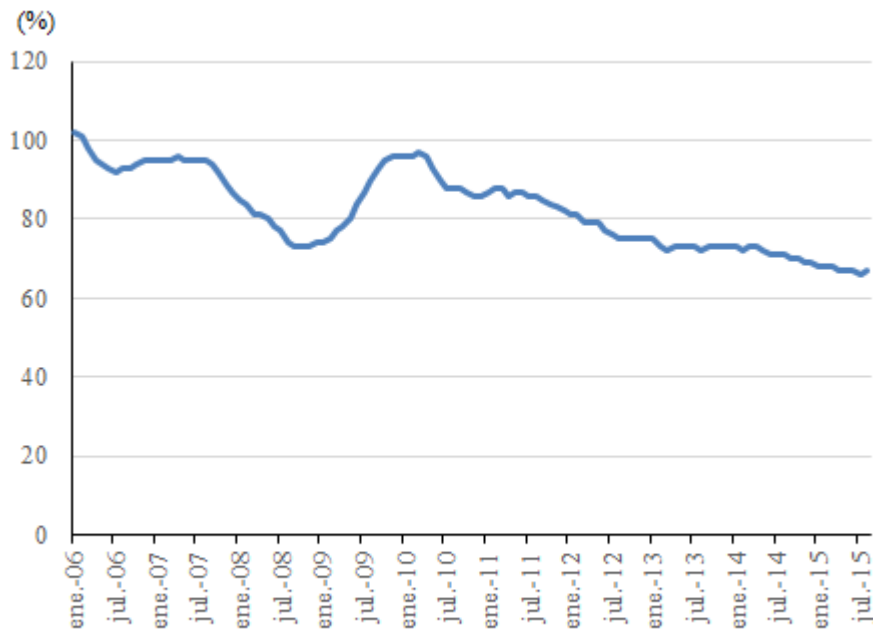
Figura 2.6 Análisis de regresión entre diferenciales crediticios BBB a 10 años en el momento t y tasa de impago en el momento $t + 10$ meses, con datos históricos del periodo 2002–2015.



Otra conclusión que obtenemos del análisis realizado es que la capacidad de las expectativas de la tasa media de impago para explicar el nivel de los diferenciales corporativos se ha intensificado muy significativamente en los últimos diez años. Así, si tomamos datos históricos desde 1.970, con un mercado de bonos corporativos poco desarrollado y poco líquido, no se observa ninguna relación clara entre los diferenciales de tipos de interés y las tasas de impago que se producían entre 10 y 12 meses después (el coeficiente de determinación $-R^2$ es prácticamente nulo). Sin embargo, a partir de 1985 las expectativas para la tasa media de impago explican en torno a un 20% de los diferenciales de tipos de interés y a partir de 1995 la capacidad explicativa aumenta hasta el entorno del 30%. Desde la década iniciada en el año 2.000, la tasa de impago prevista para los próximos 10–12 meses ha explicado cerca de un 80% de los diferenciales de tipos de interés. Una probable explicación es el rápido crecimiento desde entonces de los mercados financieros mundiales de bonos corporativos y una reducción del riesgo de liquidez (el mercado estadounidense ha aumentado desde 4,0 billones de dólares en 2.002 hasta 8,1 billones en junio de 2015 y el europeo se ha incrementado desde 0,5 billones en 2.002 hasta 1,7 a cierre de 2014). Históricamente, el riesgo de liquidez se ha traducido en un aumento adicional de los diferenciales de tipos de interés exigidos por los inversores, influyendo en la relación entre riesgo de crédito y diferenciales de tipos de interés. En la medida en que el riesgo de liquidez disminuya, la relación entre riesgo de crédito y diferenciales de tipos de interés es más clara. No obstante, cabe hacer dos matizaciones relevantes:

- a) Desde el año 2.010, la liquidez de los mercados de deuda corporativa se ha reducido nuevamente de forma significativa debido a los cambios regulatorios del sector bancario. Los requisitos de capital y de solvencia por el riesgo asumido presagian que el riesgo de liquidez seguirá pesando en los diferenciales crediticios. Hemos utilizado como indicador del grado de liquidez el volumen negociado en el sector de grado de inversión de Estados Unidos (bonos con rating superior o igual a BBB) como porcentaje del volumen total de bonos en circulación en ese sector. La figura 2.7 muestra que este ratio ha descendido desde 2.010.
- b) El riesgo de liquidez sigue explicando una parte importante de los diferenciales de crédito, lo que provoca que las probabilidades de impago basadas en los precios de los bonos sean más altas que las tasas de fallido observadas históricamente.

Figura 2.7 *Indicador de liquidez: volumen negociado en el sector de bonos de grado de inversión en EE.UU. como porcentaje del volumen total de bonos en circulación en ese sector*



Fuente: TRACE, MarketAxess, septiembre 2015

Otros factores que podrían explicar el exceso de rentabilidad que exigen los inversores a los bonos corporativos sobre el tipo libre de riesgo y, por tanto, provocar que la probabilidad de impago implícita en los precios de los bonos sea más alta que la probabilidad histórica podrían ser los siguientes:

- a) Los inversores en bonos podrían estar contemplando en sus precios la posibilidad de escenarios de depresión económica peores aún que los observados durante el periodo de tiempo cubierto por los datos históricos.
- b) La variabilidad de la tasa de recuperación tras el impago. La tasa de recuperación media como porcentaje del valor nominal justo después del impago es un valor esperado. Por tanto, los inversores podrían demandar una rentabilidad adicional sobre el tipo libre de riesgo debido a la posibilidad de que la tasa de recuperación sea inferior a la tasa media. Además, la tasa de recuperación media solo es significativa para una cartera numerosa de bonos que incurran en impago. Sin embargo, un inversor puede no estar bien diversificado y, por tanto, estar expuesto a una pérdida en caso de impago superior a la media. Por tanto, estos inversores probablemente exigirán primas

de rentabilidad adicional sobre el tipo de libre de riesgo más altas de lo que posiblemente sea necesario.

- c) Determinados inversores institucionales, como fondos de pensiones, por normas internas, no pueden tener en sus carteras bonos calificados de grado especulativo o tienen límites a la cantidad que pueden invertir en estos bonos, lo que puede distorsionar el equilibrio entre oferta y demanda. Estas restricciones reducen la demanda e incrementa las rentabilidades de los bonos corporativos.
- d) Riesgo sistémico no diversificable. Los impagos de bonos no se producen independientemente, sino que hay periodos de bajas tasas de impago y otros periodos de altas tasas de impago. Este riesgo no diversificable también se remunera en los tipos de interés de la deuda corporativa.
- e) La diversificación de una cartera de bonos es muy costosa, en tanto que requiere un número muy elevado de bonos. Esto es porque el rendimiento de un bono, al contrario del rendimiento de una acción, es limitado, de forma que compensar el impago de un bono requiere tener en cartera muchos otros bonos que cumplan sus compromisos de pago. Por tanto diversificar una cartera de bonos es mucho más costoso que diversificar una cartera de acciones, lo que puede llevar a los inversores a demandar una rentabilidad adicional.

Sensibilidad de la probabilidad de impago riesgo-neutral a variaciones del diferencial de tipos de interés

Por otra parte, hay una razón teórica importante que explica que las probabilidades de impago implícitas en los precios de los bonos sean significativamente más altas que las tasas de impago observadas históricamente. Esto se debe a que las probabilidades de impago obtenidas a partir de los precios de los bonos son **probabilidades neutrales al riesgo**, dado que se calculan descontando los posibles flujos del bono corporativo con el tipo libre de riesgo, porque asumiendo ausencia de riesgo, la rentabilidad de un bono corporativo sería igual a la de un bono libre de riesgo (por ejemplo, un bono Tesoro equivalente).

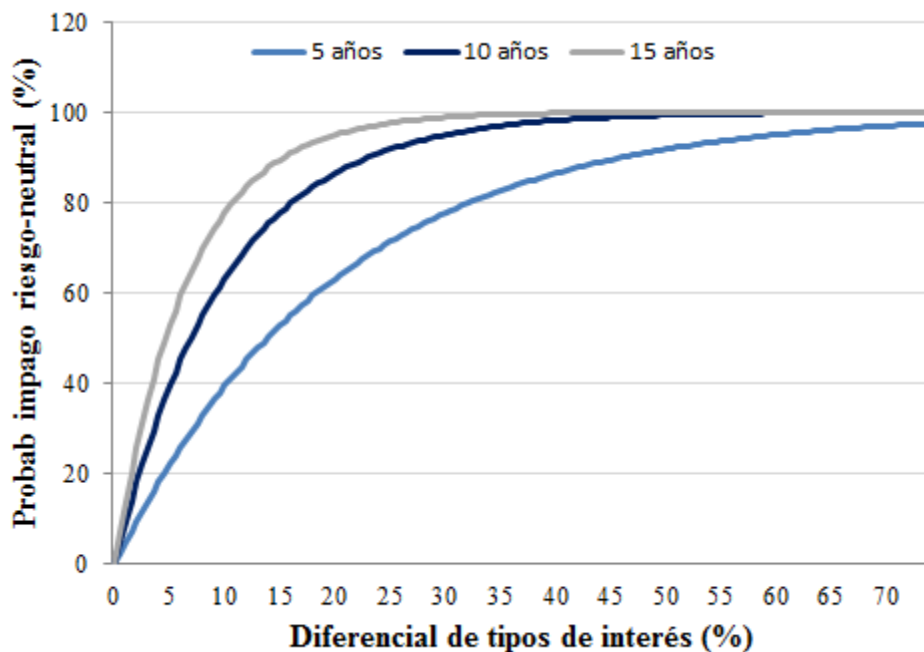
$$100 * e^{-y(T)T} = \{Q(T) * 100R + [1 - Q(T)] * 100\} * e^{-y'(T)T}$$

Esto supone que la probabilidad de impago así calculada (neutral al riesgo) y el diferencial de tipos de interés de los bonos corporativos sobre el tipo libre de riesgo, $y(T) - y'(T)$, se relacionan de la siguiente forma, tal como expusimos en la ecuación [2]:

$$Q(T) = \frac{1 - e^{-[y(T) - y'(T)] * T}}{1 - R}$$

Representando gráficamente esta ecuación, para un nivel fijo dado del plazo a vencimiento y de la tasa de recuperación, se observa una relación positiva no lineal: la probabilidad de impago riesgo-neutral aumenta más que proporcionalmente ante incrementos del diferencial de tipos de interés para niveles bajos de éste y es asintóticamente decreciente. Además, a mayor plazo a vencimiento del bono y mayor tasa de recuperación, el aumento de la probabilidad de impago ante incrementos del diferencial de tipos se intensifica.

Figura 2.8 Sensibilidad de la probabilidad de impago riesgo-neutral ante variaciones de la prima de crédito para distintos vencimientos de un bono (con tasa de recuperación nula)



El modelo es muy sensible a las variaciones de los diferenciales de tipos de interés cuando éstos son bajos. Esto implica que aumentos pequeños del diferencial de tipos de interés, con frecuencia debidos a otros factores distintos del riesgo de crédito, se traducen en grandes

aumentos de la probabilidad de impago riesgo–neutral. Así, lo que parece ser una gran discrepancia entre probabilidades de impago responde a ajustes relativamente pequeños de la rentabilidad adicional requerida a los bonos corporativos por otros riesgos asumidos, como el riesgo de iliquidez o el riesgo sistémico.

Además, en la práctica, los diferenciales crediticios observados en los mercados financieros se concentran fundamentalmente en el rango de mayor sensibilidad del modelo ante variaciones de éstos. A modo de referencia, como hemos indicado al comienzo de este apartado, el diferencial de un bono corporativo con calificación crediticia BBB y vencimiento a diez años es de 180pb sobre el tipo del bono Tesoro al mismo plazo.

La evolución asintóticamente decreciente de la probabilidad de impago riesgo–neutral para niveles muy altos del diferencial de tipos de interés sugiere que, a partir de una determinada amplitud del diferencial de tipos, el mercado cotiza el evento de impago con una probabilidad cercana al 100%. A partir de ese nivel, esto es, una vez que el mercado descuenta el evento de fallido, la probabilidad de impago es prácticamente inelástica ante nuevas ampliaciones de los diferenciales de los tipos de interés.

Descomposición del diferencial de tipos de interés: riesgo de crédito vs. otros riesgos

En la tabla siguiente calculamos qué parte de la rentabilidad extra exigida a los bonos corporativos corresponde al riesgo de crédito y qué parte se puede atribuir a otros factores, principalmente, al riesgo de liquidez.

Tabla 2.9 Descomposición del diferencial de tipos de interés exigido a los bonos corporativos con vencimiento a 10 años y para diferentes categorías de rating.

Rating	Prob impago acmda. (histórica) %	Prob impago acmda. (bonos) %	Prob impago anual (histórica) %	Prob impago annual (bonos) %	Diferencial de tipos sobre Tesoro p.b.	Diferencial por pérdida esperada p.b.	Exceso de diferencial esperado p.b.
AA	0,98	12,10	0,10	1,21	89	7	82
A	3,00	15,90	0,30	1,59	118	21	97
BBB	4,24	23,53	0,42	2,35	180	30	150
BB	19,27	41,68	1,93	4,17	345	135	210

Si consideramos el bono con rating BBB, tenemos que la probabilidad de impago histórica acumulada a diez años, proporcionada por Moody's, es de 4,24%, mientras que la probabilidad de impago riesgo-neutral estimada a partir de los precios de los bonos es de 23,53%. Estas probabilidades acumuladas a diez años equivalen a unas probabilidades anuales de 0,42% y 2,35%, respectivamente.

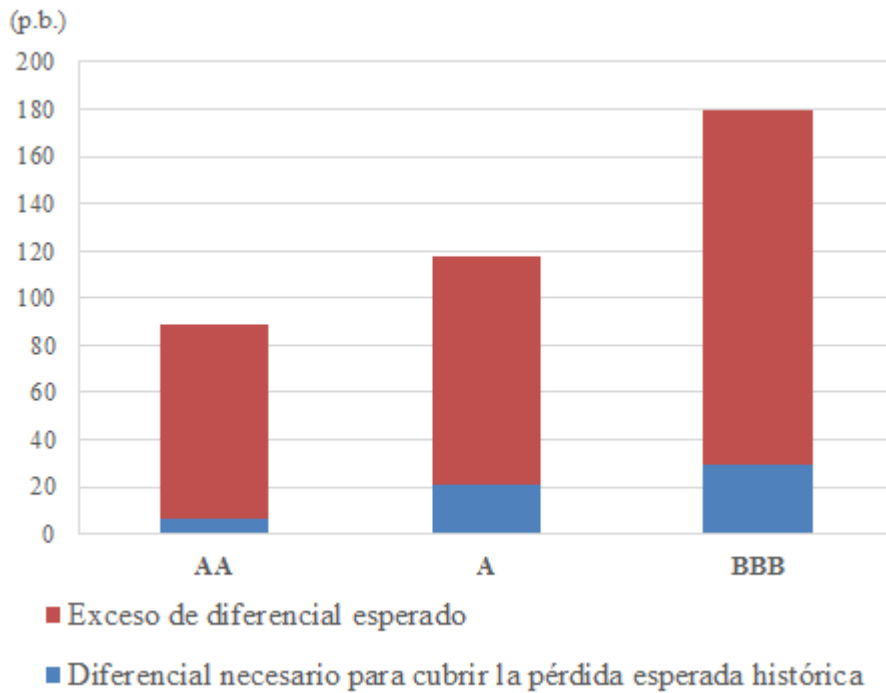
El diferencial que paga este bono sobre el tipo libre de riesgo es de 180 puntos básicos. Asumiendo una tasa de recuperación del 30%, son necesarios 30 p.b. para cubrir la pérdida esperada, mientras que los restantes 150 p.b. corresponden a un exceso de la rentabilidad requerida (después de haber tenido en cuenta la pérdida esperada) debido a otros factores, como el riesgo de liquidez.

La parte del diferencial de tipos atribuible al riesgo de crédito (30 p.b.) equivale al valor de la pérdida esperada, que es igual a la probabilidad de impago anual (basada en los datos históricos) multiplicada por el valor de la pérdida supuesto el impago (1 – tasa de recuperación):

$$\text{Pérdida esperada} = \text{probabilidad de impago} * \text{pérdida supuesto el impago}$$

$$\text{Pérdida Esperada} = 0,42\% * (1 - 30\%) = 30 \text{ p.b.}$$

Figura 2.9 Descomposición del diferencial de tipos de interés exigido a los bonos corporativos con vencimiento a 10 años con diferentes categorías de rating (II)



Si sólo hubiese riesgo de crédito, esto es, si el exceso de diferencial esperado una vez tenido en cuenta el riesgo de crédito fuese nulo, entonces la probabilidad de impago riesgo-neutral, $q(t)$, sería la misma que la probabilidad real:

$$q(10) = \frac{1 - e^{-0,003 \cdot 10}}{1 - 0,30} = 4,2\% \text{ acumulada a diez años ó } 0,42\% \text{ anual}$$

Esta probabilidad riesgo-neutral coincide con la probabilidad real dada en la tabla 2.9. Destacamos las siguientes conclusiones de este análisis:

- a) El análisis de la descomposición de los diferenciales crediticios puede ser una buena aproximación de la parte de la rentabilidad de los bonos que se debe al riesgo de crédito, pero no es exacto. Esto se debe a que la parte del diferencial crediticio que este análisis atribuye al riesgo de crédito está basado en pérdida esperada histórica, es decir, calculada con la probabilidad de impago histórica. Sin embargo, el riesgo de crédito implícito en los precios de los bonos se basa claramente en las expectativas de la tasa de impago para un periodo futuro entre 10 y 12 meses, que no necesariamente

se corresponden con la tasa de fallido observada en el momento presente, especialmente en los momentos de cambio de ciclo económico. Esta precisión no invalida otras conclusiones interesantes que se desprenden del análisis de la descomposición de los diferenciales crediticios y que exponemos a continuación.

- b) El exceso de rentabilidad exigido aumenta a medida que disminuye la calidad crediticia de los bonos.
- c) La magnitud del ratio “probabilidad de impago riesgo–neutro/probabilidad real” se traduce aproximadamente en una magnitud equivalente para el ratio “exceso de diferencial esperado/diferencial por pérdida esperada histórica”. Tomando como referencia el bono BBB, la probabilidad riesgo–neutro es 5 veces mayor que la probabilidad real, lo que significa que el mercado está exigiendo un exceso de diferencial de 5 veces el diferencial necesario para cubrir la pérdida esperada histórica.

Tabla 2.10 *Discrepancia entre las probabilidades de impago riesgo–neutro y real vs. exceso de rentabilidad sobre la rentabilidad necesaria para cubrir la pérdida esperada*

Rating	Prob impago anual (histórica) %	Prob impago anual (bonos) %	Ratio	Diferencial por pérdida esperada p.b.	Exceso de diferencial esperado p.b.	Ratio
AA	0,10	1,21	12,3	7	82	11,8
A	0,30	1,59	5,3	21	97	4,6
BBB	0,42	2,35	5,5	30	150	5,1
BB	1,93	4,17	2,2	135	210	1,6

- d) Los mayores ratios de discrepancia entre las probabilidades de fallido estimadas a partir de los precios de los bonos y las probabilidades reales se observan en los bonos con mejor calificación crediticia. Sin embargo, resulta interesante que esta mayor probabilidad de impago que cotiza el mercado de bonos respecto a la probabilidad histórica se traduce en un exceso de la rentabilidad exigida por riesgo sistémico, en términos absolutos, relativamente pequeño o, al menos, menor que los excesos de rentabilidad exigidos a los bonos con peor calificación crediticia, incluso aunque

tengan menores ratios de discrepancia entre la probabilidad de impago cotizada por el mercado y la probabilidad real. En la figura 2.10 se observa que en el caso de los bonos con rating AA la probabilidad de impago implícita en las cotizaciones del mercado es 12,3 veces mayor que la probabilidad observada históricamente. Esto se traduce en un exceso de la rentabilidad exigida por el mercado sobre la rentabilidad necesaria para cubrir la pérdida esperada de 82 p.b. Sin embargo, este exceso de rentabilidad es menor que los excesos de rentabilidad exigidos a los bonos con peor calificación crediticia incluso cuando tienen menores ratios de discrepancia entre la probabilidad de impago riesgo–neutral y la probabilidad real (por ejemplo, a los bonos con rating BB el mercado les exige 210 p.b. de exceso de rentabilidad, aunque tengan un ratio de discrepancia menor: 2,2). Esto es coherente con la conclusión del apartado a), que indicaba que el exceso de rentabilidad aumenta a medida que disminuye la calificación crediticia de los bonos.

Tras estas conclusiones, parece lógico plantearnos si debiéramos utilizar probabilidades de impago riesgo–neutral que se derivan del modelo reducido o probabilidades basadas en la evidencia empírica. La respuesta depende del propósito del análisis. Así pues, las probabilidades del modelo reducido resultan adecuadas para valorar instrumentos, como derivados de crédito o estimar el impacto del riesgo de impago en la valoración de activos, ya que son probabilidades riesgo–neutro. Sin embargo, si el objetivo es calcular futuras pérdidas potenciales por suspensión de pagos, debiéramos utilizar las probabilidades de impago *reales*, obtenidas de datos históricos.

Las probabilidades riesgo–neutro cotizadas en los precios de los bonos son sustancialmente más elevadas que las probabilidades históricas, pero están correlacionadas con la tasa de impago futura. Por tanto, también es relevante considerar su tendencia cuando el objetivo de nuestro análisis es calcular las futuras pérdidas potenciales por suspensión de pagos. El comportamiento de los diferenciales crediticios durante la crisis financiera que comenzó en 2008 es ilustrativo de lo útil que resulta *escuchar a los mercados financieros*. En enero de 2009 los diferenciales de crédito corporativo alcanzaron máximos, anticipándose a los máximos de la tasa de fallido que se produjeron diez meses después. La probabilidad de impago implícita en los precios de los bonos a diez años con rating BBB alcanzó niveles del 60%. Lógicamente, la tasa de fallido real nunca alcanzó ese nivel, dado que las probabilidades riesgo–neutro, tanto por razones teóricas como otros factores de riesgo, son mucho más

elevadas que las probabilidades históricas. Sin embargo, el mercado anticipó, con casi un año de antelación, una brusca tendencia alcista que llevó a la tasa de fallido desde el 1% a finales de 2007 hasta el 14% a finales de 2009. ¿Debemos considerar la tendencia de las probabilidades riesgo–neutro cuando estimamos futuras pérdidas potenciales por suspensión de pagos?

Otras limitaciones del modelo reducido

Aparte de la significativa discrepancia que existe entre las probabilidades de impago estimadas a partir de los precios de los bonos y las probabilidades de impago reales, otra limitación es el supuesto del modelo de que las tasas de recuperación no tienen riesgo sistémico, de forma que son las mismas en un escenario neutral al riesgo y en un escenario real (con riesgo). Bajo esta hipótesis, la tasa de recuperación puede estimarse de forma exógena mediante los datos observados históricamente y corregir la probabilidad de impago según la ecuación [2]:

$$Q(T) = \frac{1 - e^{-[y(T)-y'(T)]T}}{1 - R}$$

Sin embargo, hay evidencia empírica de que existe una relación positiva, estadísticamente significativa, entre las tasas de recuperación y el ciclo económico. Por tanto, el uso en el modelo de la tasa de recuperación media histórica proporcionada por las agencias de rating (sin tener en cuenta la fase del ciclo económico) puede alterar las probabilidades de impago.

2.4.2. Ventajas y limitaciones de los modelos basados en los datos históricos

El enfoque de medición del riesgo de crédito basado en datos históricos parte de dos hipótesis relevantes: 1) que todos los bonos incluidos en una misma categoría de rating tienen la misma probabilidad de impago y 2) que la tasa de fallido real es igual a la tasa media de impago observada históricamente. Las principales consecuencias de estas hipótesis son las siguientes:

- a) Los cambios de rating y de probabilidades de fallido son fenómenos conjuntos e inseparables. Sin embargo, no necesariamente es así.

b) Dentro de una misma categoría de rating hay bonos con diferentes tasas de impago, en particular, dependiendo de la industria a la que pertenezca la empresa emisora del bono, por lo que las tasas medias de impago para cada rating pueden no ser representativas. En la siguiente tabla exponemos las tasas medias de impago por sector económico. Se observa que las empresas de los sectores de medios de comunicación y publicidad y de ventas minoristas (más vinculados al ciclo económico) presentan tasas de fallido superiores a la media, mientras que las empresas del sector de utilities (de carácter defensivo) presentan tasas de fallido inferiores a la media.

Tabla 2.11 *Tasas medias de impago acumuladas por sector económico, 1970-2014 (%)*

Sector económico	Plazo a vencimiento (años)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Banca	0,6	1,3	2,0	2,6	3,2	3,7	4,3	4,8	5,2	5,7
Bienes de capital	2,2	4,5	6,8	8,8	10,6	12,2	13,6	15,0	16,2	17,3
Bienes de consumo	2,5	5,1	7,6	9,7	11,5	13,0	14,4	15,5	16,6	17,6
Energía	1,6	3,2	4,5	5,7	6,6	7,5	8,2	8,7	9,2	9,7
Financiero no bancario	0,8	1,6	2,4	3,2	3,8	4,5	5,1	5,7	6,4	7,1
Medios & publicidad	3,9	8,0	11,9	15,2	18,3	20,9	23,0	24,7	26,2	27,6
Ventas minoristas	2,8	5,8	8,6	11,0	13,2	15,0	16,5	17,9	19,3	20,6
Emisores relac con gobierno	0,3	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tecnología	1,9	3,9	5,6	7,0	8,0	8,8	9,5	10,0	10,4	10,7
Transporte	2,4	4,5	6,3	7,9	9,2	10,4	11,4	12,4	13,3	14,3
Utilities	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Promedio	1,7	3,5	5,2	6,6	7,8	8,9	9,8	10,6	11,4	12,1

Fuente: Moodys's Investor's Service (marzo 2015).

c) Existen variaciones significativas en la tasa de fallido en los distintos años utilizados para calcular el valor medio (normalmente 20 años), en particular, dependiendo de la fase del ciclo económico, lo que se traduce en altas desviaciones típicas asociadas a las tasas medias históricas de impago. La tabla siguiente muestra las tasas de fallido anuales por categoría de rating durante los últimos treinta años. Se observa una alta dispersión en las tasas de impago, siendo sustancialmente más altas en los años de crisis económica como, en 2009, 2001, a comienzos de la década de los 90 y en 1986. Así, la tasa media de impago de los bonos con rating B es de 4,8% en el periodo

analizado (1984–2014), pero con un mínimo de 0% en 2007 (pico de ciclo económico) y un máximo de 16% en 1990 (año de crisis económica).

Tabla 2.12 Tasa de impago anual por categoría de rating, 1984-2014 (%)

Año	Aaa	Aa	A	Baa	Ba	B	Caa- C	Grado invers	Grado espec	Todos rating
1984	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	6,8	100,0	0,1	3,4	0,9
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	7,6	0,0	0,0	3,5	1,0
1986	0,0	0,0	0,0	1,0	2,1	11,6	22,2	0,2	5,7	1,9
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	6,5	20,0	0,0	4,4	1,6
1988	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	6,2	27,3	0,0	3,6	1,4
1989	0,0	0,6	0,0	0,6	3,1	8,6	25,0	0,3	5,8	2,4
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	16,0	61,1	0,0	10,3	3,8
1991	0,0	0,0	0,0	0,3	5,0	12,2	45,0	0,1	9,5	3,1
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	9,2	29,5	0,0	5,2	1,5
1993	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	4,7	27,6	0,0	3,2	0,9
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	4,1	5,4	0,0	2,1	0,7
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	4,4	9,2	0,0	3,1	1,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	14,3	0,0	1,7	0,6
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	2,1	15,0	0,0	2,1	0,8
1998	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	4,0	10,3	0,0	3,3	1,3
1999	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	5,1	18,5	0,0	5,7	2,4
2000	0,0	0,0	0,0	0,4	0,8	6,3	19,7	0,2	6,7	2,9
2001	0,0	0,0	0,2	0,2	1,5	10,0	32,0	0,2	10,8	4,4
2002	0,0	0,0	0,2	1,1	1,5	4,7	29,5	0,5	8,4	3,3
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	2,2	23,4	0,0	5,6	2,1
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,9	12,8	0,0	2,6	0,9
2005	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,1	6,8	0,1	1,8	0,7
2006	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,2	6,3	0,0	1,9	0,7
2007	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	1,0	0,4
2008	0,0	0,7	0,5	0,5	1,2	2,1	15,1	0,5	4,5	2,3
2009	0,0	0,0	0,2	0,9	2,3	7,5	34,8	0,4	13,3	6,0
2010	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	11,9	0,1	3,3	1,4
2011	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	8,7	0,0	2,1	0,9
2012	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	11,9	0,0	3,0	1,4
2013	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	1,1	9,6	0,0	3,0	1,4
2014	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	7,0	0,1	2,0	1,0
Media	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	4,8	21,5	0,1	4,6	1,8
Mediana	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	4,4	15,1	0,0	3,4	1,4
Desv Est	0,0	0,2	0,1	0,3	1,2	4,1	19,5	0,2	3,0	1,3
Mín	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,4
Max	0,0	0,7	0,5	1,1	5,0	16,0	100,0	0,5	13,3	6,0

Fuente: Moodys's Investor's Service (marzo 2015).

d) Las probabilidades de cambio de rating (migración) son, en general, muy bajas, mientras que las probabilidades de permanecer en la misma categoría de rating son muy altas (más adelante, en la tabla 2.13 exponemos la matriz de probabilidades de transición). Esto sugiere que las agencias de calificación crediticia ajustan los ratings con retraso, por lo que algunos bonos podrían estar clasificados en una categoría de rating que no les corresponde, distorsionando la probabilidad de fallido media de dicha categoría de rating.

Estos inconvenientes tienen consecuencias relevantes, principalmente que la calidad crediticia de un bono puede cambiar sustancialmente sin que el bono cambie de rating y que puede haber errores significativos en las tasas medias de impago.

2.4.3. Ventajas y limitaciones de los modelos estructurales

Como en la mayoría de los modelos conceptuales ocurre, el problema fundamental en su aplicación práctica es la información. La empresa teórica sobre la que hemos desarrollado la exposición analítica es de una gran simplicidad pero, los grandes emisores tienen estructuras financieras complejas, lo que complica significativamente el modelo.

La principal ventaja de estos modelos estructurales es que utilizan la **información de los mercados de renta variable** que son, normalmente, más eficientes que los de bonos corporativos debido a su mayor liquidez. Sin embargo, en épocas de gran sobrevaloración o infravaloración pueden llevar a resultados equívocos que, realmente, no tengan en cuenta los fundamentales de la compañía. Al intentar valorar los bonos corporativos, se ha de procurar que ambos mercados descuenten un mismo escenario, es decir; que apalancamiento (precios - capitalización), volatilidad y diferencial se muevan en la dirección correcta.

La segunda ventaja que tienen estos modelos es la **posibilidad de incorporar nuestras propias estimaciones** de la evolución del apalancamiento, vía precio objetivo y deuda futura, para intentar predecir cuál debería ser el diferencial que en el futuro podría tener un bono corporativo. Aquí, es muy importante la labor del analista y la exactitud de sus estimaciones.

Los mayores inconvenientes que tienen estos modelos estructurales son, como ya hemos mencionado, la **obtención de una información creíble** y la **complejidad** que pueden tener. Los datos de volatilidad del valor empresa han de ser inferidos de la volatilidad del precio de

la acción. Y, además, el dato que debiera ser utilizado es el de la volatilidad esperada que puede ser bien distinta de la volatilidad histórica. La complejidad viene determinada por la propia estructura financiera de la empresa que puede contar con distintos tipos de deuda y a diferentes vencimientos. Recordemos que para cada tipo de deuda, dependiendo de las garantías que tenga, existen en la práctica distintos niveles de pérdida esperada por las distintas tasas de recuperación. Esto implica que el modelo “simple” de Merton debiera complicarse respecto a la ecuación [8] para ser adaptado a las diferentes estructuras financieras de las empresas; si bien, teóricamente, aun así es posible utilizar una aproximación a la valoración de opciones para estimar EV_0 y σ_{EV} . Si la empresa tiene una estructura de deuda más compleja que un simple bono cupón cero, se podría utilizar como aproximación un bono cuya duración sea la media ponderada de las duraciones de todos los bonos.

Este modelo es también **difícil de aplicar a las entidades financieras**. Si en las empresas industriales existe una cierta dificultad para determinar los niveles de deuda financiera en un momento determinado debido a instrumentos fuera de balance, esta tarea es básicamente imposible en una institución financiera donde las decisiones operativas y financieras corren entremezcladas por la propia naturaleza del negocio. Por ejemplo, un depósito de clientes, ¿es deuda o no?

Por otra parte, igual que ocurría con los modelos basados en los precios de los bonos, la probabilidad de impago calculada a través de los precios de las acciones es más alta que la probabilidad histórica. Ambas probabilidades son riesgo–neutro (descontamos los flujos futuros del bono con el tipo libre de riesgo). En el apartado 2.3.3.6 expusimos un ejemplo de aplicación del modelo de Merton, en el que teníamos un bono con vencimiento a 1 año, con una probabilidad de impago del 12,7%, una tasa de recuperación del 91% y un diferencial de 118 p.b. sobre el tipo libre de riesgo. Si utilizamos estos datos obtenidos con el modelo estructural de Merton para calcular la probabilidad de impago con el modelo reducido basado en los precios de los bonos obtenemos una probabilidad de impago muy similar: $(1 - e^{-0,0118*1}) / (1 - 0,91) = 13,1\%$.

No obstante, las probabilidades de impago derivadas del modelo estructural de Merton, combinadas con otras variables financieras, pueden ser útiles para estimar las probabilidades de impago reales. Por ejemplo, la compañía con sede en California KMV, emplea una

transformación de las probabilidades del modelo de Merton para obtener estimaciones de la probabilidad de impago.²³ De forma análoga, la agencia de ratings de reconocido prestigio internacional Moody's Risk Management Services utiliza las probabilidades del modelo de Merton junto con otras variables financieras para obtener sus estimaciones de la probabilidad de impago.

La principal utilidad de aplicar este modelo viene dada, más que por los niveles de diferencial concretos que se obtienen, por la comparación de la evolución de las tendencias de las variables introducidas.

2.5. La pérdida supuesto el impago

Hasta ahora nos hemos centrado en la estimación de la probabilidad de que una compañía incumpla sus obligaciones de pago en diferentes momentos del tiempo hasta el vencimiento de sus deudas. Ahora nos centraremos en la estimación de la pérdida esperada en caso de impago. Esto es convencionalmente conocido como la ***pérdida dado el impago*** y es frecuentemente abreviado mediante las siglas **LGD** (de la terminología anglosajona *loss given default*). La ***probabilidad de impago*** (con frecuencia abreviada como **PD**, del inglés *probability of default*) multiplicada por la pérdida dado el impago es la ***pérdida esperada*** (convencionalmente denominada **EP**, del inglés *expected loss*). Sintetizando:

Pérdida esperada = Probabilidad de impago * Pérdida dado el impago

O bien,

$$EP = PD * LGD$$

La pérdida dado el impago (LGD) sobre un préstamo concedido por una institución financiera viene generalmente definida mediante la siguiente expresión:

$$V - R(L + A)$$

Donde *L* es el principal en circulación del préstamo (saldo vivo), *A* es el interés acumulado o cupón corrido, *R* es la tasa de recuperación esperada y *V* es el valor libre de riesgo del

²³ Para ser más precisos, KMV emplea dos transformaciones: una para estimar probabilidades de impago "mundo real" y otra para estimar probabilidades de impago riesgo-neutral.

préstamo. Así pues, la pérdida dado el impago sobre una posición larga en un bono se calcula de la misma forma, siendo L igual al valor nominal del bono.

Para instrumentos derivados, la LGD es más complicada. Esto es debido a que la cantidad judicialmente demandada en caso de impago es menos cierta que si se tratara de un préstamo o de un bono. Podemos distinguir tres tipos de derivados:

1. Aquéllos que constituyen un pasivo
2. Aquéllos que constituyen un activo
3. Aquéllos que pueden constituir bien un activo, o bien un pasivo

Los derivados incluidos en la primera categoría no tienen riesgo de crédito. Si la contraparte se declara en suspensión de pagos, no habrá pérdidas. Consideremos, por ejemplo, una compañía que ha emitido una opción. Esta posición en derivados es inicialmente un pasivo y permanecerá como pasivo durante toda la vida de la opción. Si la contraparte (por ejemplo, el comprador de la opción) se declara en bancarrota, la opción será uno de los activos de la contraparte. Es probable que la opción sea retenida, liquidada o vendida a una tercera parte. En cualquier caso no implica pérdidas (ni beneficios) para la entidad emisora.

Los derivados de la segunda categoría siempre tienen riesgo de crédito. Si la contraparte se declara en suspensión de pagos, muy probablemente asumiremos una pérdida. Consideremos, por ejemplo, una firma que ha comprado una opción. Esta posición es inicialmente un activo y permanecerá como activo a lo largo de la vida de la opción. Si la contraparte (por ejemplo, el emisor de la opción) se declara en suspensión de pagos, el tenedor de la opción ejecutará una demanda judicial y, puede, finalmente, recibir cierto porcentaje del valor de dicha opción.

Los derivados incluidos en la tercera categoría pueden o no tener riesgo de crédito. Los *Interest Rate Swap* (IRS) constituyen un ejemplo típico. Cuando una entidad suscribe un IRS, éste tiene un valor igual o muy próximo a cero. Ahora bien, a medida que transcurre el tiempo, los tipos de interés varían y el valor del swap puede resultar bien positivo, o bien negativo. Si la contraparte incumple cuando el valor del swap es positivo, una reclamación judicial será interpuesta contra los activos de la contraparte y muy probablemente se originará una pérdida. Por el contrario, si la contraparte quiebra cuando el valor del swap es negativo,

no habrá pérdidas. En este caso, el swap será retenido, liquidado o vendido a una tercera parte.

2.6. Métodos contractuales para la reducción del riesgo de crédito

En los siguientes apartados analizaremos las prácticas más extendidas a nivel contractual para reducir el riesgo de crédito –inclusión de las cláusulas *netting*, *collateralization* y *downgrade triggers*–, y sus efectos en la estimación de la pérdida dado el impago.

2.6.1. Efecto de la cláusula *Netting* en la estimación de la pérdida dado el impago

Una dificultad adicional en la estimación de la pérdida asumida en caso de impago de la contraparte es el efecto *netting*. Esta cláusula figura en la mayoría de los contratos suscritos por instituciones financieras e implica que, si la contraparte incumple alguno de los contratos firmados con la institución financiera, se compensarán todos los contratos abiertos con dicha institución financiera (la contraparte no pagará los contratos con resultado negativo y renunciará al cobro de los contratos con resultado positivo, efectuándose una única liquidación global).

La cláusula *netting* ha sido cuestionada con éxito en los tribunales de muchas jurisdicciones. Esta cláusula puede reducir sustancialmente el riesgo de crédito de las instituciones financieras. Consideremos, por ejemplo, una institución financiera que tiene tres contratos abiertos con una determinada contraparte. Los contratos están valorados en +10 millones, +30 millones y -25 millones de u.m. respectivamente para la institución financiera. Supongamos que la contraparte tiene dificultades financieras e incumple las obligaciones contraídas. Para la contraparte, los tres contratos tienen un valor de -10 millones, -30 millones y +25 millones de u.m. respectivamente. Sin cláusula *netting*, la contraparte se declararía en suspensión de pagos, incumpliendo así los dos primeros contratos, pero mantendría el derecho a cobrar el tercero de ellos, originando una pérdida para la entidad financiera de 40 millones de u.m. Sin embargo, con la cláusula *netting*, se compensarán los resultados de todos los contratos firmados provocando una pérdida para la institución financiera de 15 millones de u.m. Hemos de matizar que, si el tercer contrato hubiera tenido un valor de -45 millones de u.m. para la entidad financiera, la contraparte habría elegido no declararse en suspensión de pagos y no se habría originado ninguna pérdida para la institución financiera.

Supongamos una entidad financiera cuya cartera contiene N contratos de derivados con una determinada contraparte. Definiremos el valor libre de riesgo del contrato i -ésimo como V_i y la tasa de recuperación en caso de impago como R . La cantidad demandada en caso de incumplimiento es el valor libre de riesgo en el momento del impago. Así pues, sin cláusula *netting*, la pérdida de la institución financiera será:

$$(1 - R) \sum_{i=1}^N \max(V_i, 0) \quad ^{24}$$

Por el contrario, si incorporamos la cláusula *netting*, debemos ajustar el modelo para capturar este hecho, de forma que la pérdida vendrá definida por la siguiente expresión:

$$(1 - R) \max\left(\sum_{i=1}^N V_i, 0\right) \quad ^{25}$$

Sin cláusula *netting*, la pérdida de la entidad financiera es el resultado de una cartera de opciones call sobre los valores de los contratos firmados, donde cada opción tiene un precio de ejercicio de cero. Con cláusula *netting*, la pérdida es el resultado de una única opción sobre la cartera de los valores de los contratos pactados con precio de ejercicio de cero. El valor de una opción sobre una cartera nunca es mayor (antes bien, con frecuencia es considerablemente menor) que el valor de la correspondiente cartera de opciones.

2.6.2. Reducción de la exposición al riesgo de crédito. *Collateralization* y *downgrade triggers*

Además de la inclusión de la cláusula *netting*, existen otros dos modos alternativos por los que las instituciones financieras pueden reducir sus pérdidas potenciales en caso de impago.

El primero es la **garantía subsidiaria** o también comúnmente conocido por su terminología anglosajona: *collateralization*. Consideremos los contratos firmados entre dos compañías, A y B. Esta cláusula requeriría que la empresa A depositara una garantía a favor de la empresa B o de una tercera parte. El acuerdo de garantía estándar establece que la garantía depositada en una determinada fecha debe ser una cantidad mayor que el valor

²⁴ Nótese que la fórmula sólo contempla los contratos con resultado positivo para la entidad financiera.

²⁵ En el caso de cláusula *netting*, la fórmula compensa todos los contratos firmados con la institución financiera, tanto los positivos como los negativos.

positivo (si lo hubiera) que la compañía B tenga por sus contratos abiertos con la contraparte A. Supongamos que la firma B es la institución financiera considerada en el capítulo anterior, de forma que tiene tres contratos abiertos con la contraparte A valorados en 10 millones, 30 millones y -25 millones de u.m. respectivamente. Este escenario requeriría una garantía de, al menos, 15 millones de u.m. El acuerdo de garantía generalmente establece que la garantía sea ajustada periódicamente (por ejemplo, semanalmente) para reflejar con mayor precisión el valor de los contratos abiertos. La garantía cumple la misma función que el “pay-off” de un contrato de futuros y puede reducir significativamente el riesgo de crédito. Si la contraparte A no depositara la garantía adicional exigida por la evolución del valor de los contratos, la cláusula de garantía subsidiaria establece que la entidad B tiene derecho a liquidar todos los contratos abiertos. Esta cláusula también requiere que las dos partes acuerden un modelo de valoración de los contratos, así como el tipo de interés pagado sobre la garantía depositada. Normalmente el acuerdo de garantía subsidiaria es de dos direcciones o, dicho de otra manera, aplicable a las dos partes. Esto significa que la compañía A está obligada a depositar una garantía cuando el valor de los contratos abiertos es positivo para la empresa B y esta última debe depositar una garantía cuando el valor de los contratos abiertos es favorable a la firma A.

El segundo modo alternativo para reducir la pérdida potencial en caso de impago es mediante el empleo de la cláusula denominada *downgrade triggers* (minoración de la calidad crediticia). Este acuerdo establece que si el rating crediticio de la contraparte cae por debajo de un determinado nivel, por ejemplo A, entonces el contrato será liquidado empleando una fórmula predeterminada mediante el pago en efectivo a la parte contraria. Las cláusulas *downgrade triggers* implican una significativa reducción del riesgo crediticio, pero no lo eliminan completamente. Si se produjera un salto importante en la calificación crediticia de la contraparte, por ejemplo desde A hasta impago, en un corto periodo de tiempo, la institución financiera sufriría una pérdida crediticia.

Algunas veces las instituciones financieras encuentran formas de **diseñar contratos** que reduzcan el riesgo de crédito. Consideremos, por ejemplo, una entidad financiera que desea comprar una opción de una contraparte con una baja calificación crediticia. La entidad financiera podría insistir en un acuerdo coste – cero que implique que la prima de la opción sea pagada con retraso. Esto evita que la exposición al riesgo de la entidad se incremente debido a variaciones de la posición en la opción.

La **diversificación** constituye una importante estrategia para gestionar el riesgo de crédito. La mayoría de las grandes instituciones financieras se rigen por **normas internas** que limitan el grado de exposición sobre una determinada empresa, un sector o un país. Por tanto, los *traders* no están autorizados a realizar operaciones que impliquen sobrepasar los límites de riesgo crediticio establecidos. A este respecto, los derivados de crédito proporcionan un medio de gestionar activamente el riesgo crediticio y a veces son utilizados para superar las restricciones sobre la actividad de los *traders*.

2.7. Migración de ratings de crédito

Los bonos constituyen obligaciones cuya calidad crediticia varía de una categoría a otra a lo largo de sus vidas. Este fenómeno es conocido como **migración de los ratings de crédito**. Las agencias calificadoras proporcionan **matrices de transición de ratings**, construidas a partir de datos históricos. Éstas muestran la probabilidad de que un bono registre una variación en su calificación crediticia de una a otra categoría durante un determinado periodo de tiempo. Normalmente el periodo de tiempo estándar empleado es de un año. La tabla inferior muestra los datos de migración ofrecidos por Standard & Poors. La tabla muestra que un bono con una calificación inicial de BBB tiene una probabilidad del 89,24% de mantener su calificación de BBB al término de un año. Asimismo, tiene una probabilidad del 0,24% de impago durante el año, una probabilidad del 4,44% de caer a BB, y así sucesivamente.

Tabla 2.13 Porcentajes de probabilidad de la matriz de transición a un año.

Rating inicial	Rating al término de un año							
	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC	Default
AAA	93,66	5,83	0,40	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00
AA	0,66	91,72	6,94	0,49	0,06	0,09	0,02	0,01
A	0,07	2,25	91,76	5,18	0,49	0,20	0,01	0,04
BBB	0,03	0,26	4,83	89,24	4,44	0,81	0,16	0,24
BB	0,03	0,06	0,44	6,66	83,23	7,46	1,05	1,08
B	0,00	0,10	0,32	0,46	5,72	83,62	3,84	5,94
CCC	0,15	0,00	0,29	0,88	1,91	10,28	61,23	25,26
Default	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100

Fuente: Standard & Poor's

Las probabilidades de la tabla anterior están basadas en datos históricos y, por tanto, son probabilidades reales. Como veremos posteriormente, son muy útiles para realizar análisis de posibles escenarios diferentes y para calcular el “value at risk” o valor en riesgo. Ahora bien, para valorar derivados que dependan de los cambios en los ratings necesitamos una matriz de transición riesgo–neutral, cuya estimación entraña bastante dificultad en la práctica.²⁶ Una aproximación podría basarse en los precios de los bonos. Para simplificar la exposición, supongamos que existen tres categorías de ratings, A, B y C. Emplearemos D para representar el impago. La tabla inferior muestra datos hipotéticos sobre las probabilidades acumuladas riesgo–neutral de impago. Esta tabla podría obtenerse a partir de los precios de los bonos tal y como se describió en el apartado 2.3.1.

Tabla 2.14 *Porcentajes de probabilidad acumulada de impago para las categorías crediticias.*

Rating inicial	1º año	2º año	3º año	4º año	5º año
A	0,67	1,33	1,99	2,64	3,29
B	1,66	3,29	4,91	6,50	8,08
C	3,29	6,50	9,63	12,69	15,67
D	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Supongamos que M es una matriz 4×4 que contiene probabilidades de transición riesgo–neutral. Esto significa que M_{11} es la probabilidad de que una compañía con rating A mantenga dicha calificación; M_{23} es la probabilidad de que una empresa con rating B caiga hasta el nivel C; M_{34} representa la probabilidad de impago de una firma con rating C; y así sucesivamente. Definiremos d_i como el vector que representa la i -ésima columna de la matriz dada en la tabla anterior. Y dado que el vector ‘probabilidad acumulada de impago en el año i ’ es igual al producto del vector ‘probabilidad acumulada de impago en el año $i-1$ ’ por la matriz de probabilidades de transición a un año, tendremos que,

²⁶ Ciertamente, son relativamente pocos los derivados de crédito cuyo resultado dependa de variaciones en los ratings.

$$\begin{aligned}
d_2 &= Md_1 \\
d_3 &= Md_2 = M^2d_1 \\
d_4 &= Md_3 = M^3d_1 \\
d_5 &= Md_4 = M^4d_1 \\
d_i &= Md_{i-1} = M^{i-1}d_1
\end{aligned}$$

Así pues, si tomamos como ejemplo el vector d_2 , tendremos:

$$\begin{pmatrix} d_{21} \\ d_{22} \\ d_{23} \\ d_{24} \end{pmatrix} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{A} & \text{B} & \text{C} & \text{D} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \\ \text{C} \\ \text{D} \end{matrix} & \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & M_{44} \end{pmatrix} \end{matrix} \times \begin{pmatrix} d_{11} \\ d_{12} \\ d_{13} \\ d_{13} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{11}d_{11} + M_{12}d_{12} + M_{13}d_{13} + M_{14}d_{14} \\ M_{21}d_{11} + M_{22}d_{12} + M_{23}d_{13} + M_{24}d_{14} \\ M_{31}d_{11} + M_{32}d_{12} + M_{33}d_{13} + M_{34}d_{14} \\ M_{41}d_{11} + M_{42}d_{12} + M_{43}d_{13} + M_{44}d_{13} \end{pmatrix}$$

Si analizamos ahora el *primer elemento* del vector d_2 observamos que,

La probabilidad acumulada de impago de un bono A en el segundo año (d_{21}) =

$$\begin{aligned}
& \text{Probabilidad de transición A} \rightarrow \text{A} (M_{11}) * \text{Probabilidad acumulada de impago A}_{\text{año 1}} (d_{11}) \\
& + \text{Probabilidad de transición A} \rightarrow \text{B} (M_{12}) * \text{Probabilidad acumulada de impago B}_{\text{año 1}} (d_{12}) \\
& + \text{Probabilidad de transición A} \rightarrow \text{C} (M_{13}) * \text{Probabilidad acumulada de impago C}_{\text{año 1}} (d_{13}) \\
& + \text{Probabilidad de transición A} \rightarrow \text{D} (M_{14}) * \text{Probabilidad acumulada de impago D}_{\text{año 1}} (d_{14})
\end{aligned}$$

Una vez visto el significado implícito en la expresión $d_i = M^{i-1}d_1$, debemos matizar que la matriz $M_{4 \times 4}$ contiene nueve elementos desconocidos de los dieciséis que la componen. Dichos elementos vienen definidos por M_{ij} tal que $1 \leq i, j \leq 3$, tal y como se indica en la figura inferior, habida cuenta las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
M_{i4} &= 1 - M_{i1} - M_{i2} - M_{i3}^{27} \\
M_{4j} &= 1 \text{ si } j = 4^{28} \text{ y,} \\
M_{4j} &= 0 \text{ si } j \neq 4^{29}
\end{aligned}$$

²⁷ P(transición X → D) = 1 - P(transición X → A) - P(transición X → B) - P(transición X → C)

²⁸ P(transición D → D) = 1

²⁹ P(transición D → A, B o C) = 0

Figura 2.10 Elementos desconocidos en la Matriz de probabilidades de transición

	A	B	C	D
A	M_{11}	M_{12}	M_{13}	M_{14}
B	M_{21}	M_{22}	M_{23}	M_{24}
D	M_{41}	M_{42}	M_{43}	M_{44}
C	M_{31}	M_{32}	M_{33}	M_{34}

Por otra parte, la tabla 2.14 vista anteriormente define 15 relaciones que deben cumplirse. (las probabilidades de que los bonos con ratings A, B y C incumplan dentro de 1, 2, 3, 4 y 5 años respectivamente). Por tanto, elegiremos los nueve parámetros que minimicen las 15 sumas de los cuadrados de las diferencias entre los elementos de $M^{i-1}d_1$ y los correspondientes elementos de d_i ($1 \leq i \leq 5$) en la tabla 2.14.

$$\text{Mínimo } (M^{i-1}d - d_i)^2 \text{ tal que, } 1 \leq i \leq 5$$

Los resultados (matriz de probabilidades de transición riesgo-neutral) se muestran en la tabla inferior. Las probabilidades de transición obtenidas son coherentes y las probabilidades acumuladas de impago calculadas a partir de ellas son cercanas a las mostradas en la tabla 2.14. Sin embargo, no siempre las probabilidades acumuladas de impago se ajustan a los datos mostrados en la tabla 2.14 o cualquiera que fuese la tabla utilizada para el ejercicio. Por ello, algunos trabajos apuntan hacia métodos que asumen que la matriz de transición obtenida con datos reales varía siguiendo un determinado comportamiento cuando nos trasladamos del *mundo real* al *mundo riesgo-neutral*.³⁰

³⁰ A. Jarrow, D. Lando y S. M. Turnbull, “A Markov Model for the Term Structure of Credit Spreads”. *Review of Financial Studies*, 10 (1997), 481-523; M. Kijima, “A Markov Chain Model for Valuing Credit Derivatives”, *Journal of Derivatives*, 6, nº 1 (1998), 97-108.

Tabla 2.15 Estimación de la matriz de probabilidades de transición riesgo-neutral (%).

Rating inicial	Rating al término del año			
	A	B	C	D
A	98,4	0,9	0,0	0,7
B	0,5	97,1	0,7	1,7
C	0,0	0,0	96,7	3,3
Default	0,0	0,0	0,0	100,0

2.8. Correlaciones del suceso de impago

El término “correlación del suceso de impago” describe la tendencia de que dos compañías quiebren aproximadamente en el mismo momento. Existen numerosas razones por las que la correlación de impago existe. En este sentido, dos compañías pertenecientes al mismo sector industrial o a la misma región geográfica suelen verse afectadas de forma similar por problemas externos y, en consecuencia, suelen sufrir dificultades financieras a la vez. Por otra parte, las condiciones económicas normalmente provocan que la tasa media de impago sea mayor en unos años que en otros.

Medición de la correlación de impago

Dadas dos compañías determinadas A y B, una medida de la correlación del suceso de impago frecuentemente calculada por los agencias de rating es el coeficiente de correlación entre:

1. Una variable que vale *uno* si la compañía A quiebra entre los momentos 0 y T , y *cero* en caso contrario, y
2. Una variable que vale *uno* si la compañía B quiebra ente los momentos 0 y T , y *cero* en caso contrario.

Dicha medida viene reflejada por la siguiente expresión:

$$\beta_{AB}(T) = \frac{P_{AB}(T) - Q_A(T)Q_B(T)}{\sqrt{[Q_A(T) - Q_A(T)^2][Q_B(T) - Q_B(T)^2]}}$$

Siendo $P_{AB}(T)$ la probabilidad conjunta de que A y B quiebren entre el momento cero y el momento T , $Q_A(T)$ es la probabilidad acumulada de que la compañía A quiebre en T , y $Q_B(T)$ es la probabilidad acumulada de que la compañía B quiebre en T . Como, naturalmente, denota su expresión, $\beta_{AB}(T)$ depende de T , la amplitud del periodo de tiempo considerado. En este sentido, el coeficiente de correlación entre ambas variables normalmente aumenta a medida que aumenta T .

Otra medida de la correlación frecuentemente utilizada se obtiene a partir de la distribución de probabilidad del tiempo que ha de transcurrir hasta el evento de crédito. Definimos t_A y t_B como los periodos de tiempo hasta la suspensión de pagos de las compañías A y B. Las variables t_A y t_B no se distribuyen normalmente; sin embargo:

$$u_A(t_A) = N^{-1}[Q_A(t_A)]$$

y

$$u_B(t_B) = N^{-1}[Q_B(t_B)]$$

son funciones de t_A y t_B , que están normalmente distribuidas. Como es habitual, N representa la función de distribución normal acumulativa estándar. La definición de la medida de correlación viene dada por la siguiente expresión:

$$\rho_{AB} = \text{corr}[u_A(t_A), u_B(t_B)]$$

Estamos asumiendo que las variables $u_A(t_A)$ y $u_B(t_B)$ tienen una distribución normal bivalente. Esto significa que la distribución de probabilidad conjunta de los periodos de tiempo que han de transcurrir hasta el evento de crédito, puede describirse mediante la distribución de probabilidad acumulativa de t_A , $Q_A(t_A)$, la distribución de probabilidad acumulativa de t_B , $Q_B(t_B)$, y la correlación entre A y B, ρ_{AB} . Este supuesto es conocido como el modelo de *Gaussian copula*.

La aproximación de *Gaussian copula* puede extenderse al caso de varias empresas. En este escenario, considerando N compañías, t_i representa el tiempo que ha de transcurrir hasta el evento de crédito de la empresa i , y $Q_i(t_i)$ representa la distribución de probabilidad acumulativa de t_i , de tal forma que,

$$u_i(t_i) = N^{-1}[Q_i(t_i)]$$

Para $1 \leq i \leq N$. Así pues, estamos asumiendo que $u_i(t_i)$ es una variable normal multivariante.

La aproximación de *Gaussian copula* es una forma práctica de representar la estructura de correlación entre variables que no siguen una distribución normal. Esta aproximación permite que la estructura de la correlación de las variables sea estimada independientemente a partir de sus distribuciones marginales. Aunque las variables en sí mismas no siguen una distribución normal multivariante, esta aproximación implica que después de la transformación aplicada a cada variable, éstas tienen una distribución normal multivariante.

Ejemplo. Supongamos que deseamos simular cuándo se producirá la suspensión de pagos durante los próximos cinco años en n compañías. Para cada empresa, la probabilidad acumulativa de fallido durante los próximos 1, 2, 3, 4 y 5 años es del 1%, 3%, 6%, 10% y 15% respectivamente. Cuando empleamos la aproximación de *Gaussian copula*, obtenemos $u_i(t)$ para $1 \leq i \leq N$ a partir de una distribución normal multivariante y, a continuación, convertimos la variable $u_i(t)$ en t , como valor medio del periodo de tiempo en el que se producirá la suspensión de pagos. Cuando el resultado obtenido a partir de la distribución normal es menor que $N^{-1}(0,01) = -2,33$, la suspensión de pagos se producirá durante el primer año; cuando el resultado está comprendido entre $-2,33$ y $N^{-1}(0,03) = -1,88$, el fallido se producirá durante el segundo año; cuando el resultado está entre $-1,88$ y $N^{-1}(0,06) = -1,55$, el fallido se producirá durante el tercer año; si el resultado está entre $-1,55$ y $N^{-1}(0,10) = -1,28$, la quiebra se producirá durante el cuarto año; si el resultado está entre $-1,28$ y $N^{-1}(0,15) = -1,04$, la quiebra se producirá durante el quinto año. De forma complementaria, si el resultado es mayor que $-1,04$, no habrá evento de crédito.

2.9. Enfoque actuarial de la probabilidad de impago

Hasta ahora hemos centrado el análisis en el cálculo de la probabilidad de impago. Sin embargo, desde el prisma de la gestión de riesgos resulta interesante conocer la distribución de probabilidad completa de pérdidas por riesgo de crédito. En este caso, como el interés reside en estimar pérdidas potenciales por posibles fallidos, se utilizan datos históricos de frecuencias relativas observadas.

Este enfoque se basa en metodologías que está bien arraigadas en la industria de seguros. Un contrato está en fallido con una probabilidad p o no lo está con su probabilidad complementaria: $1-p$. Asumimos que una institución financiera tiene N contrapartidas y la probabilidad de impago de cada contrapartida en el momento T es p . El número esperado de fallidos en un periodo de tiempo (por ejemplo, un mes) para el total de la cartera será $\mu = Np$. Asumiendo que los eventos de fallido son independientes y que la probabilidad p es pequeña, la probabilidad de n fallidos sigue una distribución de Poisson (dado que la distribución binominal converge a una distribución de Poisson cuando N es grande y p es pequeño):

$$\frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!}$$

El número anual de fallidos, n , es una variable aleatoria con media μ y desviación típica $\sqrt{\mu}$. Por tanto, si asumimos, por ejemplo, $\mu = 3$, la probabilidad de que no haya ningún fallido el próximo periodo será:

$$p(0 \text{ fallidos}) = \frac{e^{-3} 3^0}{0!} = 0,05$$

Análogamente, la probabilidad de 3 fallidos será: $p(3 \text{ fallidos}) = \frac{e^{-3} 3^3}{3!} = 0,024$, y así sucesivamente.

La principal ventaja de ese enfoque es que los datos necesarios para implementarlo son las tasas medias históricas de fallido para cada cartera de bonos, que son relativamente sencillos

de obtener y no es necesario otro tipo de información, como por ejemplo los diferenciales crediticios de los bonos cotizados en los mercados financieros.

Por otra parte, una limitación importante es que este enfoque sólo considera el riesgo de fallido, pero no contempla el riesgo de migración o rebaja de la calificación crediticia de los bonos. Así pues, la limitación principal es que no es un modelo completo de riesgo de crédito, ya que este modelo solo calcula las pérdidas por fallido, pero no estima los posibles cambios en el valor de una cartera de activos por riesgo de crédito (rebaja de la calidad crediticia).

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

CAPÍTULO 3 DERIVADOS DE CRÉDITO

RESUMEN

En este capítulo, tras definir los conceptos y definiciones fundamentales (se remarca por su importancia, el análisis descriptivo del concepto de evento de crédito.), analizamos el funcionamiento de los derivados de crédito más utilizados, así como la metodología más adecuada para su correcta valoración. Para ello, nos basaremos en las ideas expuestas en el capítulo anterior sobre probabilidad de impago y tasa de recuperación.

3.1. Introducción

Los derivados de crédito son contratos cuya valoración depende de la solvencia de una o más entidades, públicas o privadas, y cuyo uso más comúnmente extendido es el de servir como instrumentos de cobertura y gestión del riesgo crediticio.

A pesar de su juventud (comenzaron su andadura en 1992), los mercados mundiales de derivados de crédito han experimentado un continuo crecimiento exponencial hasta la fecha actual, tanto en términos de volumen negociado y diversidad de productos, como de aparición de nuevos participantes en el mercado. Este crecimiento podría haber sido incluso mayor, sin la incertidumbre derivada de los problemas iniciales de indefinición legal de los eventos de crédito.

Por otra parte, la propuesta del Nuevo Acuerdo de Capital de Basilea (comúnmente conocido como Basilea II) tiene un protagonista claro: el riesgo de crédito y los mecanismos de gestión y control del mismo por parte de los bancos. En este sentido, el Comité de Suspensión Bancaria de Basilea, en el marco de la supervisión y regulación de la solvencia bancaria, propone menores requisitos de recursos propios exigidos a los bancos para hacer frente al riesgo crediticio, si dichos bancos utilizan derivados de crédito como **instrumentos de cobertura**. Esto ha llevado a un crecimiento aún mayor en el volumen de negociación de

derivados de crédito y a una demanda clara por parte de la industria bancaria de un mayor conocimiento de este mercado.

Comenzaremos estudiando en detalle los denominados *credit default swaps*³¹. Éstos son los derivados de crédito más comercializados y proporcionan un mercado en el cual se puede comprar y vender una cobertura frente al riesgo de impago o, en otras palabras, un seguro de riesgo de crédito. A continuación analizaremos otros tipos de derivados de crédito: *total return swaps*, *credit spread options* y *collateralized debt obligations*. Por último, hemos considerado interesante estudiar la valoración de bonos convertibles. Éstos generalmente no son considerados derivados de crédito; sin embargo, la posibilidad de impago por parte del emisor adquiere especial importancia en la valoración de deuda convertible.

3.2. Conceptos y definiciones

En esta sección exponemos los conceptos y definiciones fundamentales relacionados con los contratos de derivados de crédito. Se remarca por su importancia, el análisis descriptivo del concepto de evento de crédito.

3.2.1. Definición de derivado de crédito

Los derivados de crédito son contratos financieros que llevan aparejada una obligación de pago dependiente, bien del valor de un instrumento de deuda (préstamos o títulos de renta fija), bien de la solvencia financiera, del diferencial de crédito, o de la calificación crediticia de uno o más prestatarios determinados, cumplimentándose dicha obligación de pago, ya sea mediante una liquidación en metálico, ya a través de la entrega del activo o activos subyacentes.

El Banco de Inglaterra (1996) se ha expresado con mucha claridad al definir la expresión de “derivado de crédito” como un término genérico con el que se designan distintas clases de contrato de permuta financiera (comúnmente denominadas swaps) y de opciones ideadas para asumir o transferir, total o parcialmente, el riesgo de crédito derivado de préstamos u otros activos financieros a cambio del pago de intereses o de una prima, pudiendo operar dicha

³¹ Hemos optado por la acepción anglosajona debido a su total aceptación en el mercado y en la literatura académica.

transferencia de riesgo durante toda la vida de los activos en cuestión o durante un periodo más corto.

Cada una de las definiciones anteriores hacen hincapié en una de las dos características esenciales de todo derivado de crédito, que son, en primer lugar, configurarse como instrumentos financieros cuyo valor depende o “se deriva” de la calidad crediticia de un determinado prestatario y, en segundo término, cumplir la función de transferir el riesgo de crédito intrínseco a todo activo crediticio.

No faltan quienes apuntan que el rápido desarrollo de los derivados de crédito está llamado a provocar una revolución en los mercados financieros, no menos notable, que la causada a finales de la década pasada por la aparición de los propios derivados³².

3.2.2. Definición de entidad de referencia

La entidad de referencia es el elemento subjetivo cuya solvencia (o, mejor dicho, cuyo riesgo de insolvencia) preside y determina la celebración y el desarrollo de un derivado de crédito, identificándose, en principio, con la persona que haya emitido (más raramente garantizado) el empréstito (ya se trate de un préstamo, ya de una emisión de valores) del que deriva el riesgo que se pretende cubrir o gestionar por medio de aquel derivado de crédito. Puede ser, por tanto, entidad de referencia, cualquier compañía, ente público, estado soberano u organismo internacional que acuda al mercado crediticio o al de capitales en busca de financiación³³.

El papel que la entidad de referencia desempeña en un derivado de crédito es distinto según el momento contractual considerado. Así, podemos distinguir tres fases, la etapa precontractual, la ejecución del contrato y la extinción por cumplimiento:

- a) Aun cuando la entidad de referencia sea del todo extraña al contrato, puede considerarse, no obstante, que es, en cierto modo, la causa del mismo, habida cuenta de que su conclusión tiene lugar precisamente para transferir de una parte a otra el riesgo

³² Dias, S. (1996), “Structured Notes and Derivative Embedded Securities”, Briley, Londres, pág. 437

³³ A título ilustrativo señalaremos que a finales de 1997, la entidad de referencia del 35% de los derivados de crédito era un estado soberano frente al 54% de 1996. BBV (British Bankers Association) Credit Derivatives Report, 1997/1998, pág. 9.

derivado de la eventual insolvencia de aquélla. De ahí que la identidad de la entidad de referencia influya poderosamente en la configuración de diversos aspectos del contenido del contrato y, muy en particular, en la fijación de la prima pagadera al vendedor, que será tanto mayor, cuanto menor sea la calidad crediticia de aquélla.

- b) La entidad de referencia tiene, asimismo, un papel protagonista a lo largo de toda la vida del contrato, en la medida en que la obligación de pago a cargo del vendedor es únicamente exigible en el caso de que sobrevenga una determinada circunstancia o evento de crédito que ponga de manifiesto el deterioro de su solvencia.
- c) Sobrevenido un evento de crédito, existen derivados de crédito, como es el caso de los credit default swaps³⁴, en los que una contrapartida debe entregar a la otra un bono o préstamo emitido por la entidad de referencia. A estos bonos o préstamos se les llama obligaciones de referencia y son descritos con mayor precisión en la sección siguiente.

3.2.3. Definición de obligación de referencia

La obligación de referencia puede ser cualquier activo financiero del que se derive un riesgo de crédito, particularmente, préstamos, créditos y títulos de deuda pública o privada.

La obligación de referencia tiene dos acepciones diferenciadas:

- a) El activo crediticio respecto del cual deba apreciarse la existencia o inexistencia de un evento de crédito³⁵. En esta acepción, la noción de obligación de referencia aludiría al empréstito concreto, entre todos los contraídos por la entidad de referencia, cuyo impago da lugar a la cristalización del evento de crédito.
- b) El préstamo o título cuyo valor de mercado sirve para determinar el valor residual³⁶, o importe que refleja el valor del préstamo o título valor después del deterioro crediticio del mismo. Este valor, como veremos más adelante, será utilizado para los cálculos de las ganancias o pérdidas incurridas entre las contrapartidas de los derivados de crédito.

³⁴ Definidos más adelante, en el capítulo III.3.

³⁵ Definiremos más adelante la noción de evento de crédito con rigor. De momento basta con entender el concepto, que se puede establecer aproximadamente como la acción de deterioro de la calidad crediticia de un prestatario.

³⁶ Del término anglosajón *recovery value*.

3.2.4. Definición de evento de crédito

Podemos definir evento de crédito como aquel suceso o circunstancia (de carácter futuro e incierto) previsto en el propio contrato, cuya aparición determina el nacimiento de la obligación de pago a cargo del vendedor de protección (vendedor del derivado de crédito).

Dada la finalidad perseguida por este tipo de contratos, no es de extrañar que los eventos de crédito se delimiten de modo muy similar a las cláusulas de vencimiento anticipado de un préstamo o de una emisión de valores negociables, pudiendo comprender desde la falta de pago de la obligación de referencia hasta la quiebra de la entidad de referencia, la declaración de moratoria si se trata de un estado soberano, o la reestructuración de la deuda de aquélla.

Aunque el elenco de eventos de crédito varía de un contrato a otro, el incumplimiento de los términos y condiciones de la obligación de referencia suele incluirse en primer lugar, incluso ésta que, por lógica que sea, no deja de suscitar algunos problemas de orden práctico. Así, cuando las obligaciones de referencia son valores admitidos a negociación en un mercado secundario, determinar qué deba entenderse por un evento de crédito en relación con dichos valores y aun decidir sobre la concurrencia en un caso concreto de alguno de tales supuestos son tareas relativamente sencillas, habida cuenta de los sistemas de registro y publicidad de los folletos informativos establecidos en todos los mercados de valores. Por el contrario, tratándose de valores no cotizados, o de créditos bancarios, resulta mucho más difícil conocer el acaecimiento de un evento de crédito en relación con los mismos y, consiguientemente, de la ocurrencia de un evento de crédito respecto del correspondiente derivado de crédito. Como ejemplo de ello, podemos citar la incertidumbre reinante en el mercado, en el verano del año 2001, acerca de los rumores de impago por parte de Indonesia de determinados créditos comerciales recibidos del Bank of Tokyo-Mitsubishi, Dai-Ichi Kangyo y Credit Agricole³⁷.

Esta dificultad aumenta exponencialmente cuando la definición de la obligación de referencia, no se limita a uno o varios empréstitos singulares, sino que se extiende a la totalidad de las obligaciones financieras asumidas por una determinada entidad de referencia.

Ahora bien, si la exigibilidad de la cobertura y subsiguiente vencimiento del contrato hiciera depender únicamente de la aparición de un evento de crédito, podría suceder que, dado

³⁷ Internacional Financing Review, n. 1246, 15 de agosto de 2001.

el tenor habitual de éstos, el simple incumplimiento de una obligación puramente formal sin ningún impacto sobre la solvencia de la entidad de referencia (la infracción del deber de facilitar las cuentas anuales antes de una determinada fecha, por ejemplo o la falta de pago puntual achacable a una avería técnica del sistema de transferencia de fondos) dieran lugar sin más a la finalización del contrato, con obligación para el vendedor de abonar una cantidad ínfima o nula (toda vez que tales incumplimientos no deben en buena lógica repercutir negativamente en el valor de mercado de la obligación de referencia) y pérdida para el comprador de la cobertura de riesgo crediticio perseguida.

Una forma de solventar parcialmente este problema consiste en limitar los incumplimientos de pago que constituyen un evento de crédito exclusivamente a aquéllos que excedan, individual o conjuntamente, de un importe determinado.

Otra solución, de aplicación conjunta o alternativa según se quiera, estriba en recurrir al concepto jurídico indeterminado de sustancialidad; es decir, reducir la aplicación de los eventos de crédito, a aquellos casos en los que el susodicho evento de crédito hay producido una alteración sustancial sobre el valor de mercado de la obligación de referencia³⁸.

A continuación se detallan los seis tipos de eventos de crédito regulados por la *Internacional Swap and Dealer Association* (ISDA), que es el organismo regulador del marco jurídico de las actividades de negociación de productos derivados³⁹:

- a) **Bancarrota**⁴⁰. Quiebra del prestatario. El tenor de este evento de crédito es literalmente idéntico al recogido para el evento de crédito del mismo nombre en la cláusula 5(a)(vii) del 1992 ISDA Master Agreement⁴¹ y análogo al de las situaciones de insolvencia señaladas como causa de vencimiento anticipado en la cláusula 9.7. del contrato marco de operaciones financieras (CMOF) elaborado por la Asociación española de banca (AEB).

³⁸ En este caso, la práctica de mercado es considerar un impacto sustancial a una caída que oscile, al menos, entre el 10% y el 15% del valor de la obligación de referencia.

³⁹ Organismo de autorregulación del mercado, con gran capacidad de influencia en los participantes en el mismo. Sus decisiones son generalmente aceptadas como referencia por todos los agentes intervinientes.

⁴⁰ Del término anglosajón *bankruptcy*.

⁴¹ Un *Master Agreement* es un documento realizado por la ISDA que recoge de manera general el marco jurídico en el que se desenvuelven las actividades de negociación de productos derivados.

- b) **Evento de crédito en el caso de fusión**⁴². La redacción de este evento de crédito (trasunto del evento homónimo de la cláusula 5(b)(iii) del 1992 ISDA Master Agreement) abarca el deterioro sustancial de la solvencia de una entidad de referencia como consecuencia de una fusión o de una cesión de activos (de modo semejante a la cláusula de vencimiento anticipado denominada “Disminución de la solvencia económica” recogida en el contrato marco de operaciones financieras).
- c) **Reducción de la calificación crediticia**.⁴³ Este evento de crédito no guarda paralelismo con ninguno de los eventos de crédito del 1992 ISDA Master Agreement y hace referencia al hecho de que la calificación otorgada por determinadas agencias de rating a una obligación prefijada descienda por debajo de la calificación acordada al tiempo de la celebración del contrato, o que dicha obligación deje de ser calificada por tales agencias.
- d) **Fallo en el pago**⁴⁴. Este evento de crédito comprende el incumplimiento por parte de la entidad de referencia de las obligaciones de pago (en ocasiones, por encima de un mínimo predeterminado) asumidas en virtud de cualquier obligación.
- e) **Repudiation/Moratorium**⁴⁵. Basado en el último inciso del evento de crédito de la cláusula 5(a)(v) del 1992 ISDA Master Agreement. Este evento de crédito cubre el supuesto de que la entidad de referencia niegue o impugne, total o parcialmente, y en un extremo sustancial, la validez de la obligación.
- f) **Reestructuración**⁴⁶. Sin parangón en el 1992 ISDA master Agreement, este evento de crédito comprende la prórroga, aplazamiento, renegociación, reestructuración, suspensión, moratoria, o cualquier otra modificación de cualquier obligación de la entidad de referencia que tenga como consecuencia que las condiciones de dicha obligación, sean, en conjunto, sustancialmente menos favorables para sus tenedores desde una perspectiva económica, crediticia o de riesgo.

⁴² Del término anglosajón *credit event upon merger*.

⁴³ Del término anglosajón *downgrade*.

⁴⁴ Del término anglosajón *failure to pay*.

⁴⁵ Aunque podría traducirse como moratoria, mantenemos el término anglosajón por ser el término comúnmente aceptado tanto en los mercados como en la literatura académica.

⁴⁶ Del término anglosajón *restructuring*.

3.2.5. Definición de documentación

Con este término nos referimos a los documentos utilizados para reflejar por escrito las transacciones negociadas de derivados de crédito. Existen tres tipos fundamentales de documentación:

- a) Las confirmaciones. Son los documentos que describen una transacción de derivados de crédito antes de ser negociada. Se mandan a la contrapartida con carácter indicativo antes de cerrar la operación. No tienen carácter legal sino informativo.
- b) Las confirmaciones. Son los documentos que se mandan las contrapartidas una vez cerrada la transacción. Las confirmaciones tienen carácter legal; es decir, si existiera alguna discrepancia, prevalecerá lo escrito en una confirmación, por encima de cualquier otro medio de comunicación, incluida una posible grabación de la conversación.
- c) ISDA Master Agreements. Producidos por el organismo regulador ISDA. Abarcan de manera estandarizada todos los conceptos relacionados con el mundo de los derivados de crédito para evitar al máximo las discrepancias entre las contrapartidas de las transacciones.

La práctica habitual en el mercado al negociar un evento de crédito consiste en basarse en los “contratos estandarizados” de ISDA y, si procede, añadirles cláusulas específicas. De este modo se consigue una mayor claridad y rapidez en las negociaciones.

3.2.6. Definición de capital regulatorio

El capital regulatorio es el conjunto de recursos propios exigidos a los bancos para hacer frente a los diferentes riesgos, entre ellos el riesgo crediticio, en el marco de la supervisión y regulación de su solvencia. La organización que autorregula a los bancos internacionalmente recibe el nombre de Bank of International Settlements (BIS).

3.2.7. Definición de nocional

El nocional de una transacción de derivados de crédito se refiere al valor nominal del bono, es decir, la par o 100%, en contraposición al precio del bono. Este concepto cobra importancia

en derivados de crédito donde la obligación de referencia tiene un precio muy por encima o por debajo de la par. Independientemente del nivel del precio, se toma como estándar el valor nominal del bono o 100%.

3.2.8. Definición de prima

La prima de una transacción de derivados de crédito es el precio, medido en un diferencial de crédito o spread, pagadero de manera periódica, que una contrapartida paga a la otra para protegerse del deterioro crediticio de una entidad de referencia. Es un concepto análogo al de prima, o precio de la opción en el ámbito de las opciones de renta variable, con la salvedad de que, en el ámbito de la renta variable las opciones se suelen desembolsar en valor presente, y no de forma periódica, como se hace cuando se trata de derivados de crédito.

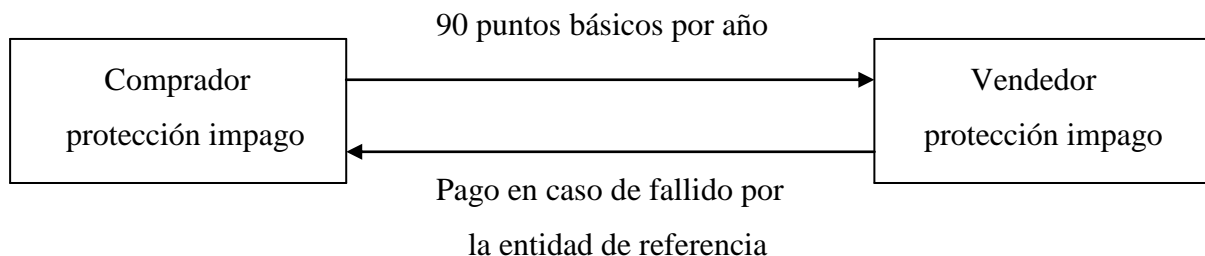
3.3. *Credit default swaps*

Un *credit default swap* (CDS) es un contrato que proporciona cobertura contra el riesgo de impago de una compañía en particular. En términos del contrato, la compañía es comúnmente conocida como **entidad de referencia** y el impago es denominado **evento de crédito**. El comprador del seguro adquiere el derecho a vender un bono particular emitido por la entidad de referencia por su valor nominal si se produce el evento de crédito. El bono es denominado **obligación de referencia** y el valor nominal del bono susceptible de ser vendido constituye el **principal notional** del swap.

El comprador del CDS hace pagos periódicos al vendedor hasta el vencimiento del contrato CDS o hasta que se produzca un evento de crédito. El evento de crédito generalmente requiere un pago final por parte del comprador. En este momento, el swap será liquidado bien mediante entrega física o bien en efectivo. Si los términos del contrato de intercambio o swap requieren la entrega física, el comprador del swap hará entrega del bono al vendedor a cambio de su valor nominal –a la par–. Por el contrario, si la liquidación fuese en efectivo –liquidación por diferencia–, el agente de cálculo determinará mediante los precios de oferta y demanda el precio medio de mercado, Z , de la obligación de referencia un cierto número de días especificado en el contrato después del evento de crédito. El efectivo liquidado (entregado al comprador) vendrá dado por la diferencia $(100 - Z)\%$ del principal notional.

Un ejemplo ayudará a ilustrar cómo se estructura un contrato típico. Supongamos que dos partes firman un credit default swap a cinco años el 1 de marzo del 2006. El principal notional es de 100 millones de euros y el comprador acuerda pagar 90 puntos básicos (0,9%)⁴⁷ anualmente por la protección contra impago de la entidad de referencia. Si la entidad de referencia no incumpliese, es decir, si no se produjera evento de crédito, el comprador no recibiría contraprestación y pagaría 900.000 euros (100 Mn€ * 0,9%) el 1 de marzo de cada año de vida del contrato, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011. Por el contrario, en caso de evento de crédito, una cuantiosa contraprestación sería probable. Supongamos que el comprador notificara al vendedor la existencia de un evento de crédito el 1 de septiembre de 2009 (mitad del cuarto año). Si el contrato especifica liquidación física, el comprador tiene derecho a vender 100 millones de euros de valor nominal de la obligación de referencia a la par -100 millones de euros-. Si el contrato establece liquidación por diferencia –en efectivo–, el agente de cálculo recabaría precios de los *brokers* para determinar el valor medio de mercado de la obligación de referencia un número predeterminado de días después del evento de crédito, de forma que, si el valor de la obligación de referencia fuese un 35% del valor nominal o par -35€ por 100€ de valor nominal-, la contraprestación en efectivo sería 65 millones de euros (100 Mn€ – 35 Mn€). En ambos casos, liquidación física o por diferencia, el comprador debe pagar al vendedor la cuota anual acumulada hasta la fecha del fallido, es decir, la cuota correspondiente al periodo comprendido entre el 1 de marzo de 2009 y el 1 de septiembre de 2009 (450.000 euros). A partir de dicha fecha no habría más flujos de pagos. La figura inferior ilustra este ejemplo.

Figura 3.1 *Credit default swap.*



La siguiente tabla muestra las cuotas aproximadas para derivados de crédito que podrían haber sido proporcionadas por un broker de mercado. La segunda columna de la tabla

⁴⁷ 100 pb equivalen a un interés del 1%, siendo por tanto 1 pb una fracción de centena de un punto porcentual.

contiene las calificaciones crediticias de Moody's y S&P para cada emisor. Las últimas cuatro columnas muestran los precios de demanda y oferta en puntos básicos para los credit default swap con vencimientos a 3, 5, 7 y 10 años, respectivamente.

Tabla 3.1 Cotizaciones credit default swap (puntos básicos).

Emisor	Rating	Vencimiento			
		3 años	5 años	7 años	10 años
Toyota Motor	Aa1/AAA	16/24	20/30	26/37	32/53
Merrill Lynch	Aa3/AA-	21/41	40/55	41/83	56/96
Ford Motor	A+/A	59/80	85/100	95/136	118/159
Tobacco Imperial	Baa1/BBB+	105/125	115/135	117/158	182/233
Nissan Motor	Ba1/BB+	115/145	125/155	200/230	244/274

En el caso de Toyota, el broker está dispuesto a comprar protección contra impago a 3 años por 16 puntos básicos anuales y vender protección a 3 años por 24 puntos básicos anuales. Asimismo, estaría dispuesto a comprar protección a 5 años por 20 puntos básicos anuales y vender protección a 5 años por 30 puntos básicos anuales; y así sucesivamente.

Los derivados de crédito permiten a las compañías gestionar su riesgo de crédito activamente. Veamos un ejemplo. Consideremos una entidad bancaria que tuviera varios cientos de millones de euros invertidos en deuda de Tobacco Imperial y quisiera cubrir, al menos parcialmente, su exposición al riesgo de crédito de dicha compañía. El banco podría comprar un CDS a cinco años, al broker de la tabla anterior, sobre 100 millones de euros de deuda de Tobacco Imperial por 135 puntos básicos o, lo que es lo mismo, por 1.35 millones de euros por año. De esta forma, el banco transferiría a dicho broker parte de su exposición al riesgo de crédito de Tobacco Imperial.

Los derivados de crédito también permiten que las compañías diversifiquen su riesgo de crédito. Así pues, el banco en cuestión, en vez de neutralizar su exposición al riesgo de crédito, podría considerar adecuado intercambiar parte de su exposición a Tobacco Imperial por cierta exposición a otra compañía de un sector totalmente diferente, por ejemplo, Nissan. En este caso, el banco podría vender un CDS a cinco años sobre 100 millones de euros de

deuda de Nissan por 1.25 millones de euros anuales al tiempo que compra un CDS del mismo vencimiento y principal sobre Tobacco Imperial. El coste neto de esta estrategia sería de 10 puntos básicos (coste compra – ingreso venta = 135pb – 125 pb) o 100.000 euros por año. Esta estrategia pone de manifiesto que **los credit default swaps pueden ser empleados tanto para diversificar el riesgo de crédito como para transferir riesgo de crédito a otra compañía.**

3.3.1. Valoración

En las siguientes líneas trataremos con más detalle la valoración de los credit default swaps. Para facilitar la exposición el principal nominal será de 1 euro. Asumiremos que los eventos de impago, los tipos de interés y las tasas de recuperación son mutuamente independientes y, consideraremos que la cantidad judicialmente demandada en caso de impago es el valor nominal más el interés acumulado. Comenzaremos la exposición estableciendo que el impago sólo puede ocurrir en los momentos t_1, t_2, \dots, t_n . Definimos las siguientes variables:

- T :** Vida del credit default swap en años
- p_i :** Probabilidad riesgo-neutral de impago en el momento t_i
- R :** Tasa de recuperación esperada sobre la obligación de referencia en un mundo riesgo-neutral (supuesta la independencia respecto del momento del impago)
- $u(t)$:** Valor actual de los pagos a la tasa de 1 euro por año en las fechas de pago establecidas entre el momento cero y el momento t
- $e(t)$:** Valor actual de un pago en el momento t igual a $t-t'$ euros, siendo t' la fecha de pago que precede al momento t (t y t' son medidas en años)
- $v(t)$:** Valor actual de 1 euro recibido en el momento t
- w :** Pagos anuales hechos por el comprador del credit default swap por euro de principal
- s :** Valor de w que implica que el credit default swap valga cero
- π :** Probabilidad riesgo-neutral de no evento de crédito durante la vida del swap
- $A(t)$:** Interés acumulado de la obligación de referencia en el momento t como porcentaje del valor nominal

El valor de π es uno menos la probabilidad de impago. Por tanto, puede calcularse a partir de p_i :

$$\pi = 1 - \sum_{i=1}^n p_i$$

Los pagos duran hasta que se produzca un evento de crédito o hasta el momento T –lo que ocurra primero-. Así pues, el **valor actual de los pagos** vendrá definido por la siguiente expresión:

$$w \sum_{i=1}^n [u(t_i) + e(t_i)]p_i + w\pi u(T)$$

Si se produjera un evento de crédito en el momento t_i , el valor esperado riesgo-neutral de la obligación de referencia como porcentaje de su valor nominal será $[1 + A(t_i)]R$. El *payoff* o contraprestación esperada riesgo-neutral del CDS es, por tanto⁴⁸:

$$1 - [1 + A(t_i)]R = 1 - R - A(t_i)R$$

El **valor actual del *payoff* esperado** del CDS resulta:

$$\sum_{i=1}^n [1 - R - A(t_i)R]p_i v(t_i)$$

Y el **valor del credit default swap** para el comprador viene dado por la diferencia entre el valor actual del *payoff* esperado y el valor actual de los pagos hechos por el comprador:

$$\sum_{i=1}^n [1 - R - A(t_i)R]p_i v(t_i) - w \sum_{i=1}^n [u(t_i) + e(t_i)]p_i + w\pi u(T)$$

Finalmente, el **spread del CDS**, s , será el valor de w que haga dicha expresión igual a cero (el precio de equilibrio garantiza que el valor actual de los pagos sea igual al valor actual de la contraprestación):

⁴⁸ Las agencias de rating asignan las tasas de recuperación como porcentaje del valor nominal en vez de establecerlas cómo porcentaje del valor nominal más el interés acumulado. Si consideráramos esta definición (menos precisa), el *payoff* esperado riesgo-neutral sería $1 - R$ en lugar de $1 - R - A(t_i)R$.

$$s = \frac{\sum_{i=1}^n [1 - R - A(t_i)R] p_i v(t_i)}{\sum_{i=1}^n [u(t_i) + e(t_i)] p_i + \pi u(T)} \quad [10]$$

La variable s hace referencia al *credit default swap spread* o *CDS spread*. Es decir, el pago por año, como porcentaje del principal nominal, para un credit default swap recién emitido. Por ejemplo, basándonos en la tabla 3.1, el valor medio de s para un CDS a siete años sobre la compañía Nissan es 215 puntos básicos $(200 + 230)/2$, o bien, 0.0215 € por euro de principal.

Ejemplo. Supongamos que el tipo de interés libre de riesgo es del 5% anual pagadero semestralmente y que, para un credit default swap a cinco años con pagos semestrales, los impagos pueden producirse al término de los años 1º, 2º, 3º, 4º y 5º. La obligación de referencia es un bono a cinco años que paga un cupón semestral del 10% anual. Consideramos las fechas de impago inmediatamente antes de las fechas de pago de cupón del bono. Las probabilidades de impago son las mostradas en la última columna de la tabla siguiente y la tasa de recuperación esperada es 0.3.

En este supuesto, los parámetros que intervienen en la valoración del CDS spread, s , tomarían los siguientes valores:

Tabla 3.2 Ejemplo de valoración de un CDS.

i	Pago anual	Valor actual de 1€ recibido en t	Valor actual pagos 1€/año (repartido en fechas de pago) entre 0 y t	Valor actual de un pago en t igual a $t-t'$ euros, siendo t' la fecha de pago precedente a t	Probabilidad de impago (Supuesto dado)
	0,05				
	0,025				
Años	Pagos (€)	$v(t_i)$	$u(t_i)$	$e(t_i)$	$p(t_i)$
1	0,5	0,9518	0,9637	0,0000	0,0224
2	0,5	0,9060	1,8810	0,0000	0,0247
3	0,5	0,8623	2,7541	0,0000	0,0269
4	0,5	0,8207	3,5851	0,0000	0,0291
5	0,5	0,7812	4,3760	0,0000	0,0312
$A(t_i) =$	0,05	Cupón corrido de la obligación de referencia en el momento t como porcentaje del valor nominal			
$\pi =$	0,8657	Probabilidad riesgo-neutral de no fallido durante la vida del swap			

La ecuación [10], que define el valor del CDS spread, s , resulta por tanto:

$$s = \frac{(1 - 0,3 - 0,5 \cdot 0,3) \cdot (0,022 \cdot 0,951 + 0,024 \cdot 0,906 + 0,026 \cdot 0,862 + 0,029 \cdot 0,820 + 0,031 \cdot 0,781)}{0,022 \cdot 0,963 + 0,024 \cdot 1,881 + 0,026 \cdot 2,754 + 0,029 \cdot 3,585 + 0,031 \cdot 4,376 + 0,865 \cdot 4,376}$$

$$s = \frac{0,0788}{4,1713} = 0,01891 = 1,891\%, \text{ o bien } 189,1 \text{ puntos básicos.}$$

Por tanto, los pagos semestrales del CDS resultan ser del $0,5 \cdot 1,891\% = 0,9455\%$ sobre el valor nominal de la obligación de referencia.

Una vez resuelto el ejemplo, podríamos ampliar el análisis para contemplar el evento de crédito en cualquier momento a lo largo de la vida del CDS. Si definimos mediante $q(t)$ la función de densidad de la probabilidad de impago riesgo-neutral en el momento t , tendremos que la ecuación [10] se transforma en la siguiente expresión:

$$s = \frac{\int_0^T [1 - R - A(t)R]q(t)v(t)dt}{\int_0^T q(t)[u(t) + e(t)]dt + \pi u(T)} \quad [11]$$

3.3.2. Probabilidad de impago a partir de los precios de los CDS spreads

El mercado de credit default swaps, hoy día, ofrece tal liquidez que muchos analistas recurren a él para despejar las probabilidades de impago implícitas en los precios negociados. Esta manera de proceder es análoga al empleo del mercado de opciones financieras para calcular las volatilidades implícitas a partir de los precios de las opciones.

Supongamos que los CDS spreads para los vencimientos t_1, t_2, \dots, t_n son s_1, s_2, \dots, s_n . Asumimos una función lineal para las probabilidades de impago y, definimos q_i como la densidad de la probabilidad de impago entre los momentos t_{i-1} y t_i . Empleamos la misma nomenclatura que en el apartado anterior, con la siguiente modificación: $A_i(t)$ es el interés acumulado del bono de referencia i -ésimo en el momento t . A partir de la ecuación [11] obtenemos:

$$s_i = \frac{\sum_{k=1}^i q_k \int_{t_{k-1}}^{t_k} [1 - R - A_i(t)R]v(t)dt}{\sum_{k=1}^i q_k \int_{t_{k-1}}^{t_k} [u(t) + e(t)]dt + u(t_i) \left[1 - \sum_{k=1}^i q_k (t_k - t_{k-1}) \right]}$$

La variable q_i puede despejarse en esta ecuación. Para ello, simplificamos definiendo los siguientes parámetros: $\delta_k = t_k - t_{k-1}$ y,

$$\alpha_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} (1 - R)v(t)dt$$

$$\beta_{k,i} = \int_{t_{k-1}}^{t_k} A_i(t)Rv(t)dt$$

$$\gamma_k = \int_{t_{k-1}}^{t_k} [u(t) + e(t)]dt$$

Despejando, la probabilidad de impago resulta:

$$q_i = \frac{siu(t_i) + \sum_{k=1}^{i-1} q_k [s_i \gamma_k - siu(t_i) \delta_k - \alpha_k + \beta_{k,i}]}{\alpha_i - \beta_{i,i} - s_i \gamma_i + siu(t_i) \delta_i} \quad [12]$$

3.3.3. El efecto de la tasa de recuperación estimada

La única variable necesaria para valorar un credit default swap que no puede observarse directamente en el mercado es la tasa de recuperación esperada. Afortunadamente, el precio de un credit default swap *plain vanilla* depende de la tasa de recuperación de forma residual. Este efecto limitado se debe a que la tasa de recuperación afecta a los precios de los credit default swap por dos vías diferentes. Por una parte, afecta a las probabilidades de impago riesgo-neutral y, por otra, a las estimaciones del *pay-off* o contraprestación que recibirá el comprador del CDS en caso de impago. Ambos efectos actúan en sentido contrario en la valoración de CDS, compensándose en buena medida entre sí⁴⁹.

3.3.4. Binary credit default swaps

Un binary credit default swap se estructura de forma similar a un credit default swap estándar, con la excepción de que el *pay-off* o contraprestación en caso de evento de crédito es una cantidad monetaria fija. En este caso, la tasa de recuperación esperada afecta a la probabilidad de impago, pero no afecta, obviamente, al *pay-off*. Por tanto, el spread de un binary credit default swap resulta bastante sensible a la tasa de recuperación. En general, los credit default swaps no estándar pueden ser bastante sensibles a la tasa estimada de recuperación. A modo de ejemplo y, en líneas generales, un binary credit default swap spread cuando la tasa esperada de recuperación es del 50%, es aproximadamente un 80% mayor que cuando la tasa esperada de recuperación es del 10%.

3.3.5. Basket credit default swaps

Un basket credit default swap se caracteriza por contemplar varias entidades de referencia. Este contrato proporciona una contraprestación cuando alguna de las entidades de referencia incumple sus obligaciones de pago. Es equivalente a una cartera de credit default swaps, uno sobre cada entidad de referencia. Dentro de esta familia de derivados de crédito, cabe destacar los **first-to-default basket credit default swap**, que ofrecen contraprestación sólo ante la

⁴⁹ Esto es válido tanto cuando las probabilidades de impago riesgo neutral son estimadas a partir de los precios de los bonos, como cuando son estimadas a partir de los credit default swap spreads.

primera entidad de referencia que impaga. Después del primer fallido, no se realizan más flujos de pagos por el swap, el cual pierde su vigencia.

Los first-to-default swaps pueden valorarse mediante el método de simulación de Monte Carlo. En cada iteración se simula cuándo se produce el impago, si alguna vez ocurriera, de cada entidad de referencia. El valor del contrato, comúnmente denominado swap spread, viene determinado por el valor actual medio de la contraprestación (si se produjera) dividido entre el valor actual medio de los pagos realizados hasta la fecha del primer impago o hasta la fecha final del contrato (lo que primero ocurra), a la tasa de 1 euro por año. La valoración de este tipo de contratos es sensible a la correlación de impago entre las distintas entidades de referencia. Cuanto mayor es la correlación de impago, menor resulta el valor del contrato. Por tanto, un supuesto conservador para el vendedor del swap es asumir que todas las correlaciones son nulas. Las correlaciones de impago no nulas pueden incorporarse al método de simulación de Monte Carlo mediante el modelo de *Gaussian copula*.

3.3.6. Riesgo de impago del vendedor del CDS

El análisis que hemos presentado hasta aquí no contempla el riesgo de quiebra y, en consecuencia, de impago del vendedor de un credit default swap. En las siguientes líneas analizamos cómo puede ser estimado el impacto del riesgo de impago del vendedor sobre los CDS spreads.

Para comprender la naturaleza del riesgo de impago del vendedor, consideraremos la posición del comprador del CDS inmediatamente después de la quiebra de la parte vendedora, asumiendo que la entidad de referencia no ha impagado previamente. Para mantener la protección contra impago, el comprador debe adquirir inmediatamente un nuevo CDS de un nuevo vendedor. La vida del nuevo CDS será $T - t_D$, siendo T el vencimiento del CDS original y t_D la fecha en la que se produce la quiebra. El comprador asumirá pérdidas si la cantidad pagada anualmente por la protección bajo las condiciones del nuevo contrato es mayor que la cantidad pagada con el contrato antiguo. Esta diferencia al alza en las cuotas anuales se producirá si la solvencia financiera de la entidad de referencia se ha reducido de forma significativa. Por tanto, la cuantificación del riesgo de impago del vendedor depende de dos factores:

1. El límite esperado hasta el cual la probabilidad de impago de la entidad de referencia puede aumentar con el transcurso del tiempo.
2. La correlación del suceso de quiebra entre la entidad de referencia y el vendedor del CDS.

El impacto del riesgo de impago del vendedor puede cuantificarse mediante el método de simulación de Monte Carlo. Para ello, definimos Y como el valor actual del *pay-off* del CDS y C como el valor actual de los pagos efectuados a la tasa de 1 euro por año hasta el vencimiento del CDS o hasta el momento de la quiebra si ésta se produjera. En cada iteración del método de Monte Carlo, simulamos los momentos (si los hubiera) de las quiebras, tanto de la entidad de referencia como de la contraparte del CDS⁵⁰. Esto nos permite obtener valores simulados para las variables Y y C . Si ni la entidad de referencia ni la parte vendedora quiebran, tenemos que $Y = 0$ y C es el valor actual de las cuotas pagadas a la tasa de 1 euro por año durante toda la vida del CDS. Si la entidad de referencia quebrara primero, entonces Y es el valor actual del *pay-off* del CDS y C es el valor actual de las anualidades de 1 euro cotizadas hasta la fecha de quiebra de la entidad de referencia. Por el contrario, si el vendedor quebrase primero, entonces $Y = 0$ y C es el valor actual de las cuotas pagadas (1 euro/año) hasta la suspensión de pagos del vendedor⁵¹. Bajo estos escenarios, el spread del credit default swap vendría dado por el valor medio de Y dividido entre el valor medio de C .

Para terminar, resulta interesante destacar que Hull y White ofrecen algunos resultados de este tipo de análisis⁵². Así pues, estos investigadores muestran que el impacto del riesgo de impago sobre la valoración del credit default swap es muy tenue cuando la correlación de quiebra entre el vendedor del CDS y la entidad de referencia es nula. Por el contrario, a medida que la correlación aumenta, la probabilidad de impago por parte del vendedor es más significativa. Obviamente, resulta lógico comprar un CDS a una compañía cuya correlación de quiebra con la entidad de referencia sea tan baja como sea posible.

⁵⁰ El modelo de *Gaussian copula* para las fechas de quiebra descrito anteriormente puede ser utilizado para este propósito.

⁵¹ Debemos matizar que asumir $Y = 0$ es un supuesto conservador, habida cuenta que, en determinadas circunstancias, el comprador del CDS podría interponer una reclamación judicial contra los activos del vendedor en caso de que éste quebrara.

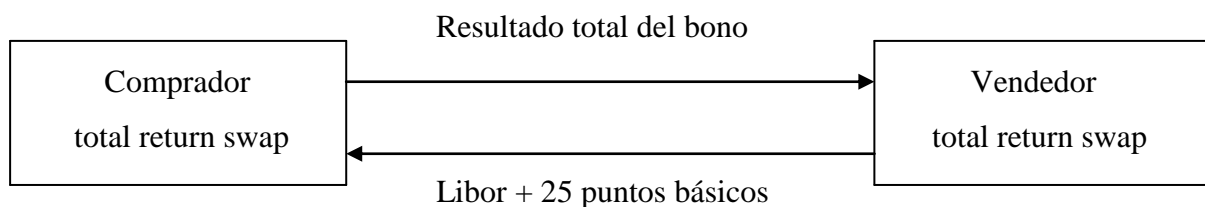
⁵² J. C. Hull and A. White, "Valuing Credit Default Swaps II: Modeling Default Correlations", *Journal of Derivatives*, 8, Nº 3 (Spring 2001), 12-22.

3.4. Total return swaps

Un *total return swap* es un contrato para intercambiar el resultado total de un bono u otro activo de referencia por el tipo variable libor más un diferencial o spread. El resultado total (denominado comúnmente en su terminología anglosajona: *total return*) incluye cupones, intereses, y la ganancia o pérdida sobre el activo de referencia a lo largo de la vida del contrato de intercambio o swap.

Un ejemplo de contrato total return swap vendría dado por un acuerdo a cinco años con un principal nominal de 100 millones de euros para intercambiar el resultado total de un bono con cupón del 5% por libor más 25 puntos básicos. La figura siguiente ilustra este ejemplo.

Figura 3.2 *Total return swap.*



En las fechas de pago de cupón, el comprador entrega los cupones obtenidos por una inversión de 100 millones de euros en el bono en cuestión. Por otra parte, el vendedor entrega un interés equivalente a libor más 25 puntos básicos sobre un principal de 100 millones de euros. Al término de la vida del swap, se produce un pago que refleja la variación en el valor del bono (pérdida o ganancia). Por ejemplo, si el valor del bono hubiese aumentado un 10% a lo largo de la vida del swap, el comprador debería afrontar un pago de 10 millones de euros (10% de 100 Mn€) al cabo de los cinco años. De forma análoga, si el valor del bono disminuyera un 15%, el vendedor estaría obligado a pagar 15 millones de euros una vez transcurridos los cinco años. Por último, si se produce la quiebra del bono, generalmente el swap es cancelado y el vendedor efectúa un pago final equivalente al exceso del principal, 100 millones de euros, sobre el valor de mercado del citado bono.

Si añadimos el principal nominal a ambas partes contratantes al vencimiento del swap, podemos caracterizar el total return swap como describimos a continuación. El comprador paga los flujos generados por una inversión de 100 millones de euros en un bono corporativo al 5%. Por su parte, el vendedor paga los flujos obtenidos por 100 millones de euros sobre un

bono que paga un interés de libor más 25 puntos básicos. Si la parte compradora posee el bono, el total return swap le permite traspasar el riesgo de crédito sobre dicho bono al vendedor. En caso contrario, si el comprador no posee el bono, el total return swap le permite tomar posiciones cortas en el bono tratado.

Los contratos de tipo total return swap normalmente son utilizados como **instrumento de financiación**. En efecto, el escenario más probable que se deduce del swap representado en la figura anterior puede describirse como lo hacemos a continuación. El vendedor desea financiar una inversión de 100 millones de euros en el bono de referencia. Para ello, negocia con el comprador (el cual es, muy probablemente, una institución financiera) y pacta el swap descrito previamente. El comprador entonces invierte 100 millones de euros en el bono en cuestión para proceder al desarrollo del swap. Esta operación de intercambio deja al vendedor en la misma posición que si hubiese solicitado un préstamo al tipo libor más 25 puntos básicos para adquirir el bono. Sin embargo, el comprador mantiene la propiedad del bono durante la vida del swap y tiene mucha menos exposición al riesgo de impago del vendedor del swap que si le hubiese prestado dinero para financiar la compra del bono, dado que, en este caso, habría anticipado el importe íntegro del bono al principio de la operación.

Si asumimos que no hay riesgo de impago, tanto por la parte vendedora como por la compradora, el valor del swap para el vendedor, cualquiera que sea la fecha de valoración, debería ser el valor de la inversión en el bono de referencia menos el valor de 100 millones de euros en un bono cupón libor (sin ningún diferencial adicional, dado que no estamos contemplando el riesgo de fallido). Del mismo modo, el valor del swap para el comprador estaría determinado por el valor de un bono cupón libor menos el valor de 100 millones de euros invertidos en el bono de referencia. La valoración inicial del swap debería ser cero, de tal forma que equilibre el valor de los flujos de ingresos y de pagos inherentes a la operación (valor del swap en $t_0 = \text{ingresos} - \text{pagos} = 0$). Por tanto, si el valor de la inversión en el bono de referencia es 100 millones de euros, el valor del bono cupón libor debería ser también 100 millones de euros. Esto sugiere que el diferencial sobre libor debería ser cero en vez de 25 puntos básicos en ausencia de riesgo de impago.

Sin embargo, en la práctica, el comprador normalmente exige un diferencial sobre el tipo libor para compensar el riesgo de que el vendedor incumpla sus obligaciones de pago. La parte compradora asumirá pérdidas si el vendedor impaga cuando el precio del bono de

referencia ha disminuido (en este caso, el vendedor debería efectuar un pago equivalente a la depreciación del bono). **El diferencial sobre el tipo libor aplicable al swap depende**, por tanto, de la **calidad crediticia del vendedor**, de la **calidad crediticia del emisor del bono**, y de la **correlación de quiebra** entre estos dos agentes.

Por último, debemos señalar que existe una **amplia gama de variaciones sobre el contrato estándar** que hemos descrito. En determinados contratos, en vez de liquidar por diferencia (en efectivo) la variación producida en el valor del bono, el contrato estipula liquidación física, mediante la entrega del activo subyacente por parte del comprador a cambio del principal nominal al vencimiento del swap. En otras ocasiones, los cambios en el precio del bono son liquidados periódicamente en vez de mediante un único pago al final del swap.

3.5. Credit spread options

Los *credit spread options* son contratos en los que el *pay-off* depende bien de un spread de crédito particular, o bien del precio de un activo sensible al riesgo de crédito. Generalmente son productos estructurados de tal forma que las opciones expiran si el activo subyacente quiebra. Si un gestor de inversiones desea protección tanto contra un posible incremento en el spread de crédito como contra un suceso de suspensión de pagos, entonces, además de un credit spread option, otro instrumento de cobertura, como un credit default swap, resulta necesario.

El *pay-off* de un credit spread option se define de la siguiente manera, según se trate (i) de una call option o, (ii) de una put option:

$$(i) D \max(S_T - K, 0)$$

O bien,

$$(ii) D \max(K - S_T, 0)$$

Siendo S_T un spread de crédito particular al vencimiento de la opción, K el *strike* o precio de ejercicio del spread, y D la duración de la transacción (plazo de vida de la opción) empleada para trasladar las variaciones en el spread a variaciones en el precio. La razón de su inclusión en la fórmula mencionada estriba en que, un cambio del diferencial de un punto

básico, haría modificar el precio de un bono coincidente con ese vencimiento en D puntos básicos. La opción sobre el diferencial de crédito puede valorarse mediante el modelo de Black and Scholes, con los oportunos ajustes de convexidad, asumiendo que el spread futuro condicionado a no impago tiene una distribución de probabilidad lognormal. Asimismo, la fórmula que define el modelo de Black and Scholes debe multiplicarse por la probabilidad de no impago durante la vida de la opción.

Otro tipo de credit spread option viene definido por una **opción call o put europea (solo ejecutable a vencimiento) sobre el precio de un activo sensible al riesgo de crédito**, como un bono a tipo variable. En este caso, el *pay-off* de una opción europea (i) tipo call y (ii) tipo put resulta:

$$(i) \text{ máx}(S_T - K, 0)$$

O bien,

$$(ii) \text{ máx}(K - S_T, 0)$$

Siendo S_T el precio del activo al vencimiento de la opción y K el precio de ejercicio establecido en la opción. Este tipo de opciones pueden valorarse mediante el modelo de Black and Scholes, asumiendo que, condicionado a no impago, el precio del activo sensible al riesgo de crédito es una variable lognormal al vencimiento de la opción. Del mismo modo que en el caso previo, la fórmula que define el modelo de Black and Scholes debe multiplicarse por la probabilidad de no impago a lo largo de la vida de la opción.

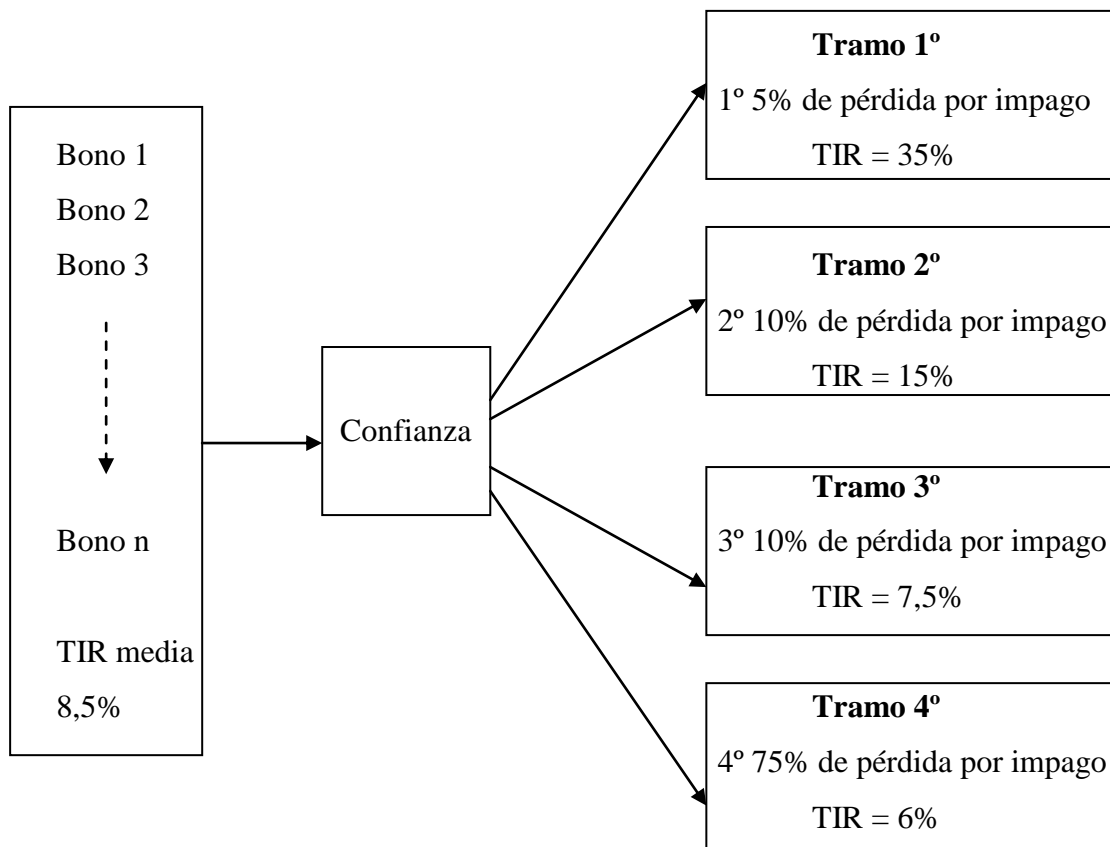
Los credit spread options, en determinadas ocasiones, son incluidos en otros productos, dando lugar a **complejas estructuras de uso intensivo de derivados de crédito**. Ejemplos típicos de ello son:

1. Una garantía de que el diferencial sobre el tipo libor en un préstamo a tipo variable no será superior a un determinado nivel.
2. El derecho a iniciar un asset swap.
3. El derecho a cancelar un asset swap.
4. El derecho a iniciar un credit default swap.
5. El derecho a cancelar un credit default swap.

3.6. Collateralized debt obligations

Un *collateralized debt obligation* (CDO) es un instrumento que engloba diferentes niveles de riesgo de crédito. La estructura típica de un CDO se muestra en la figura inferior. Esta estructura implica la creación de cuatro clases de activos, denominados “tramos”, a partir de una cartera de bonos corporativos o préstamos bancarios. El primer tramo supone un 5% del principal de la cartera y absorbe el primer 5% de las pérdidas por impago. El segundo tramo representa un 10% del principal y absorbe el siguiente 10% de las pérdidas por impago. El tercer tramo comprende un 10% del principal y absorbe el 10% siguiente de las pérdidas por fallido. Por último, el cuarto tramo representa un 75% del principal de la cartera y absorbe el 75% menos probable de pérdidas por impago (pérdida residual).

Figura 3.3 *Collateralized debt obligation (TIR a modo de ejemplo).*



El tramo cuarto generalmente ostenta una calificación crediticia de Aaa por Moody's y de AAA por S&P, debido a que es muy poco probable que se produzcan pérdidas por impago en este tramo. No en vano, las pérdidas por impago en la cartera total tendrían que exceder del 25% del principal antes de que los inversores en el tramo cuarto resulten afectados. El tramo

tercero tiene más riesgo de crédito que el tramo cuarto, pero menos que la cartera original. En efecto, el riesgo de fallido en la cartera original debería exceder el 15% del principal para que los tenedores de los activos incluidos en el tramo tercero se vean afectados. El tramo segundo, sin embargo, probablemente asumirá más riesgo que la cartera original. De hecho, cuando las pérdidas por suspensión de pagos alcanzan entre el 5% y el 15% de la cartera original, son absorbidas por los poseedores del tramo segundo. Finalmente, el tramo primero, irónicamente denominado “residuo tóxico”, está sujeto a un significativo riesgo de fallido. No en vano, una pérdida por impago del 2,5% en la cartera original se traduce en una pérdida del 50% sobre el primer tramo. Asimismo, una pérdida por impago del 5% o más en la cartera original significa una pérdida del 100% en este primer tramo.

El creador de un CDO normalmente retiene el tramo primero y vende los demás tramos en el mercado⁵³. Un CDO proporciona una manera de crear deuda de alta calidad crediticia a partir de una calidad media (o incluso baja). En efecto, el riesgo que asume el comprador de los tramos segundo, tercero y cuarto depende de la correlación del suceso de quiebra entre los emisores de los instrumentos de deuda que componen la cartera. De esta forma, cuanto menor es la correlación, mayor será la calificación crediticia asignada a los tramos segundo, tercero y cuarto respectivamente. En este sentido, los modelos de correlación del evento de crédito, como el modelo de *Gaussian copula* visto en el capítulo II.9 son utilizados con frecuencia para analizar los contratos tipo CDO.

3.7. Valoración de derivados ajustada por el riesgo de impago

Consideremos que utilizamos el modelo de Black-Scholes para valorar una opción de tipo europeo a dos años que deseamos comprar, y concluimos que el precio de la opción es de 6 euros. Nuevos flujos de información ponen de manifiesto que la entidad contraparte que vende la opción tiene una calificación crediticia de A. ¿Cómo podemos ajustar el precio obtenido a través de nuestro modelo de valoración (6 euros) para contemplar la posibilidad de que la contraparte incumpla sus obligaciones contractuales?

Ajustar el precio de un derivado tal como el que acabamos de mencionar puede resultar realmente complicado. Si hubiera el contrato incluyese una cláusula *netting*, el ajuste dependería, a su vez, de todos los contratos abiertos con dicha contraparte. Aún más, el ajuste

⁵³ El tramo primero generalmente resulta difícil de colocar en el mercado.

también debería depender de cualquier posible cláusula de *collateralization* y *downgrade trigger* que haya sido negociada (ver capítulo II.9 para un análisis más extenso sobre ambas cláusulas).

En esta sección formalizamos cómo el precio de un derivado de crédito debería ajustarse si lo tratamos como una transacción única, sin cláusulas *netting*, *downgrade triggers*, ni *collateralization*. Este análisis resulta útil como orientación para determinar el diferencial oferta-demanda que debería negociarse. Asumimos que los dos siguientes grupos de variables son mutuamente independientes:

1. Las variables que afectan al valor del derivado en un escenario libre de riesgo.
2. Las variables que afectan al suceso de impago por la contraparte y la tasa de recuperación efectiva en caso de evento de crédito.

Asumimos también que la cantidad judicialmente reclamada en caso de evento de crédito es el valor *libre de impago* (de la contraparte) del derivado y definimos:

$f(t)$: Valor del derivado en el momento t contemplando la posibilidad de impago por la contraparte.

$f^*(t)$: Valor de un contrato similar *libre de impago* en el momento t .

Llegados a este punto, distinguiremos dos tipos de contratos:

3.7.1. Contratos que se configuran como un activo

Comenzamos considerando un derivado que proporciona un determinado *pay-off* en el momento T y es siempre un activo para nosotros y un pasivo para la contraparte. (Un ejemplo es la opción a dos años mencionada previamente). En este caso:

$$f(0) = f^*(0)e^{-[y(T)-y^*(T)]T} \quad [13]$$

Siendo, $y(T)$ la rentabilidad de un bono cupón cero a T años, emitido por la contraparte y con las mismas condiciones que el contrato bajo consideración, y $y^*(T)$ la rentabilidad de un bono cupón cero similar libre de riesgo. Es decir, para comprender mejor la ecuación [13],

comparamos el derivado con un bono cupón cero a T años emitido por la contraparte. Así pues, cuando quiera que el impago ocurra, la pérdida como porcentaje del valor *libre de impago* (de la contraparte) sobre ambos, el bono y la opción, es la misma. Como los valores libres de riesgo del derivado y del bono se asumen independientes de la probabilidad de impago, el porcentaje de reducción en el precio del derivado debido al riesgo de impago es el mismo que sobre el bono. El precio del bono es $e^{-[y(T)-y^*(T)]T}$ veces su precio libre de riesgo. Luego, lo mismo debe ser cierto para la opción, como pone de manifiesto la ecuación [13].

A modo de ejemplo, si consideramos una opción a 2 años *over-the-counter* con un valor libre de impago de 3 euros, y suponemos que el emisor de la opción ha emitido un bono a dos años con las mismas condiciones que la opción en caso de evento de impago, cuya rentabilidad es 150 puntos básicos superior a la de un bono similar libre de riesgo, resulta que el riesgo de impago tiene el efecto de reducir el precio de la opción hasta:

$$3e^{-0.015*2} = 2,911$$

Es decir, el precio del derivado debiera ajustarse aproximadamente un 3% a la baja (2,911 vs 3) por el riesgo de impago de la contraparte.

La ecuación [13] muestra que podemos calcular $f(0)$ aplicando una tasa de descuento de $y - y^*$ a $f^*(0)$. Como $f^*(0)$ se obtiene descontando el *pay-off* esperado en un escenario riesgo-neutral al tipo y^* , podemos deducir que $f(0)$ puede calcularse descontando el *pay-off* esperado en un escenario riesgo-neutral al tipo $y^* + (y - y^*) = y$. Por tanto, una interpretación que se desprende de la ecuación [13] es que deberíamos utilizar la tasa de descuento que incorpora el factor riesgo, y , en vez de la tasa de descuento libre de riesgo, y^* , cuando descontamos el *pay-off* de un contrato de derivado.

3.7.2. Contratos que pueden configurarse como un activo o como un pasivo

Analizaremos ahora el impacto del riesgo de impago sobre contratos tales como swaps y contratos *forward*, que pueden configurarse como activos o como pasivos. (De la misma forma que hicimos antes, asumimos que la transacción bajo consideración no está sujeta a cláusulas *netting*, *collateralization*, ni *downgrade triggers*). Supongamos que el impago

puede ocurrir solo en los momentos t_1, t_2, \dots, t_n . Definamos v_i como el valor de un contrato que resulta: $\max[f^*(t_i), 0]$ en el momento t_i y,

$$u_i = p_i(1 - R)$$

Siendo p_i la probabilidad de impago en el momento t_i y R la tasa de recuperación. A partir de la ecuación [2] tenemos que una expresión apropiada para u_i resulta:

$$u_i = e^{-[y(t_{i-1}) - y^*(t_{i-1})]t_{i-1}} - e^{-[y(t_i) - y^*(t_i)]t_i}$$

Siendo $y(t)$ y $y^*(t)$ las rentabilidades de los bonos cupón cero, corporativo y libre de riesgo, con vencimiento en el momento T . Dado nuestro supuesto de que la cantidad judicialmente reclamada sobre un derivado equivale a su valor libre de impago, u_i es el porcentaje de pérdida derivado del impago en el momento t_i . La variable v_i es el valor actual de la reclamación efectuada en caso de impago en el momento t_i . Por tanto:

$$f^*(0) - f(0) = \sum_{i=1}^n u_i v_i \quad [14]$$

3.8. Bonos convertibles

La característica principal de los bonos convertibles reside en que los tenedores de los mismos tienen la opción de cambiarlos por acciones de la misma entidad emisora en determinadas fechas futuras. El **ratio de conversión** expresa el número de acciones obtenidas por un bono. Este ratio generalmente se mantiene constante, aunque también puede variar en función del tiempo. Los bonos convertibles casi siempre son **callable bonds**, lo que significa que conllevan la opción de amortización anticipada por parte del emisor en ciertas fechas previamente establecidas y a unos precios predeterminados. Los tenedores de este tipo de bonos tienen derecho a canjear el bono por acciones una vez que la opción call ha sido ejecutada. De aquí se desprende que la opción call que incorporan estos activos, generalmente, es una manera de forzar la conversión antes de la fecha que, de no ser así, el tenedor pudiera tener prevista. No obstante, en algunas ocasiones la ejecución de la opción

call está condicionada a que el precio de la acción de la entidad en cuestión cotice por encima de un determinado nivel.

La razón de la inclusión de la deuda convertible en esta tesis, cuyo objetivo es analizar el riesgo de crédito, estriba en que **el riesgo de crédito juega un papel fundamental en la valoración de los bonos convertibles**. No en vano, si ignoramos el riesgo de crédito, obtendremos una valoración poco precisa, dado que los pagos tanto de los cupones como del principal, en caso de no conversión, estarán sobrevalorados. En efecto, en ausencia de riesgo de crédito, los flujos de pagos serán descontados al tipo libre de riesgo, provocando la sobrevaloración de los mismos toda vez que el bono no sea canjeado por acciones. Por este motivo, hemos considerado oportuno estudiar el impacto del riesgo de crédito sobre este tipo de activos, pese a que no tienen la naturaleza de derivados de crédito.

El investigador Ingersoll proporciona un método de valoración de convertibles muy similar al modelo de Merton (1974) descrito en el capítulo II.4⁵⁴, que contempla el riesgo de crédito considerando que, en caso de quiebra, los tenedores de deuda solo recuperan totalmente su inversión si el valor de los activos excede la cantidad que se les debe. Sin embargo, el modelo de valoración más extendido en la práctica trata de modelizar el precio de las acciones del emisor del bono, mediante la **creación de un árbol binomial para el precio de las acciones**. La vida del árbol viene determinada por el vencimiento del bono convertible. Por otra parte, el valor del convertible en los nodos finales del árbol está basado en las opciones de conversión que el tenedor del bono tiene en ese momento. A partir de aquí, se retrocede a través del árbol hasta llegar al valor actual del convertible. En aquellos nodos donde las condiciones de la emisión permitan la conversión, se comprueba si la opción de conversión resulta óptima. Asimismo, se comprueba si la posición del emisor puede mejorarse ejerciendo la opción call que incorpora el bono, es decir, mediante la amortización anticipada por parte del emisor. En tal caso, asumimos que los bonos son amortizados y comprobamos nuevamente si la conversión resulta óptima. Esta metodología significa que el valor del instrumento en un nodo determinado puede representarse mediante:

$$\text{máx}[\text{mín}(Q_1, Q_2), Q_3]$$

⁵⁴ J. E. Ingersoll, "A Contingent Claims Valuation of Convertible Securities", *Journal of Financial Economics*, 4 (May 1977), 289-322.

Siendo:

- Q₁:** Valor de la posición determinado por el árbol binominal
- Q₂:** Precio de la opción call del emisor
- Q₃:** Valor de la posición si se procede a la conversión

Una complicación para el desarrollo del modelo es la elección de la tasa de descuento utilizada a lo largo del árbol. En este sentido, si el convertible permaneciera como bono con total certeza, sería adecuado emplear una tasa de descuento que refleje el riesgo de crédito del emisor. Esto supone que el valor del convertible debería calcularse según el valor de mercado de un bono estándar no convertible. Por el contrario, si el bono fuese canjeado con certeza, entonces resultaría adecuado emplear el tipo de interés libre de riesgo como tasa de descuento. Esto supone que el valor del convertible debiera calcularse como el valor del activo subyacente (acciones) del mismo.

En la práctica, no sabremos con certeza si el bono será o no canjeado por acciones. Por tanto, debemos efectuar los cálculos de tal forma que el valor del bono en cada nodo esté dividido en dos componentes: (i) el primer componente se deriva de un escenario en el que el bono finalmente sea canjeado por acciones y, (ii) el segundo componente se deriva de un escenario en el que el bono finalmente permanezca como deuda. En este contexto, aplicamos el tipo de interés libre de riesgo al primer componente y una tasa de descuento que incorpore el factor riesgo al segundo componente⁵⁵. La siguiente aplicación práctica clarifica la metodología del modelo.

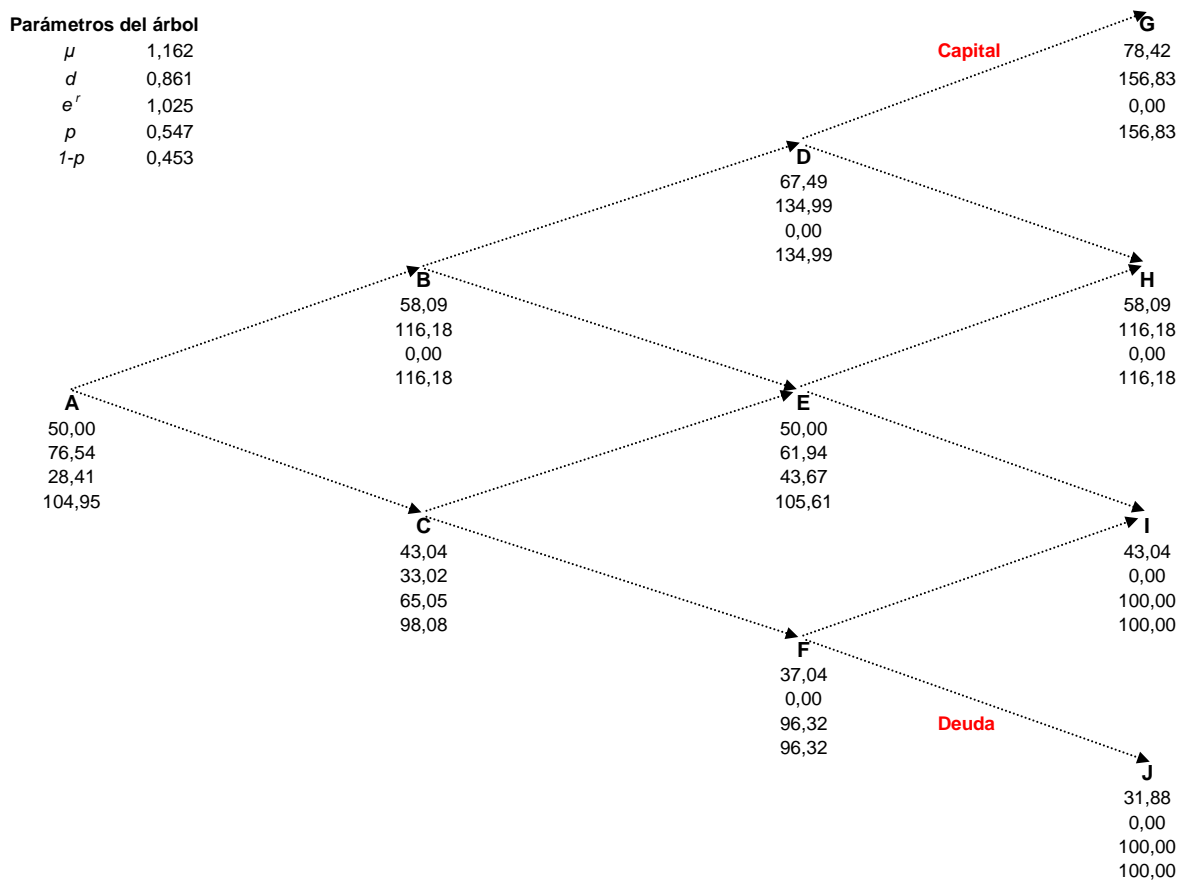
Aplicación de árboles binomiales para la valoración de bonos convertibles

Como ejemplo del procedimiento de valoración de convertibles, consideraremos un bono cupón cero a nueve meses con valor nominal de 100 euros. El bono puede canjearse por dos acciones del capital de la entidad emisora en cualquier momento durante la vida del mismo. Por otra parte, el bono tiene una opción call por 115 euros, ejecutable en cualquier momento a lo largo de los nueve meses. El precio inicial de la acción es de 50 euros, su volatilidad es del 30% anual y no reparte dividendos. La curva de tipos de interés libres de riesgo está plana en el 10% anual, mientras que la curva de tipos de interés correspondiente a los bonos emitidos

⁵⁵ Esta aproximación aparece analíticamente formalizada en K. Tsiveriotis and C. Fernandes, "Valuing Convertible Bonds with Credit Risk", *Journal of Fixed Income*, 8, Nº 2 (September 1988), 95-102.

por dicha entidad está plana en el 15% anual. Bajo estas premisas, la figura inferior muestra el árbol binomial con periodos trimestrales para los precios de la acción que puede emplearse para valorar este convertible. El primer número de cada nodo corresponde al precio de la acción; el segundo número es el componente del valor del bono que se deriva de un escenario en el que éste finalmente es convertido en acciones; el tercer número refleja el componente del valor del bono procedente de un escenario en el que éste permanece como deuda; por último, el cuarto número es el valor total del bono.

Figura 3.4 *Árbol binomial para la valoración del bono convertible.*



Los parámetros que definen la evolución del subyacente (acciones) son funciones de la volatilidad del activo (las más habituales en la práctica)⁵⁶:

- Proceso multiplicativo al alza $\mu = e^{\sigma\sqrt{t}} = e^{0,30\sqrt{3/12}} = 1,1618$

⁵⁶ Dado que la volatilidad está en términos anuales, la amplitud del periodo deberá darse también en términos anuales. Cada uno de los nodos de nuestro árbol va a abarcar 3/12 de año (un trimestre).

- Proceso multiplicativo a la baja $d = e^{-\sigma\sqrt{t}} = e^{-0,30\sqrt{3/12}} = 0,8607$

Conocidos los valores finales del subyacente (S_T), el valor del convertible (C) en cada punto final es determinable directamente:

$$C = \text{máx}(100, 2S_T)$$

Es decir, el máximo entre el valor de amortización a la par (100) y el valor resultante de la opción de conversión ($2S_T$).

Obsérvese que partimos de los valores del convertible resultantes del análisis de los precios de la acción en el momento final. A partir de aquí, el modelo binominal establece, entonces, un procedimiento recurrente tal que el valor del convertible se construye mediante un “árbol de retorno”, en el que cada nodo se forma a partir de los dos precedentes. El algoritmo establece que

$$C = e^{-r} [C_u p + C_d (1 - p)] \quad [15]$$

Siendo:

- e :** Base de los logaritmos neperianos
- r :** Tipo de interés libre de riesgo *anual*
- p :** Probabilidad del proceso multiplicativo al alza (μ)

El parámetro p se define, a partir de la ecuación [14], mediante la siguiente expresión:

$$p = \frac{e^r - d}{u - d}$$

En nuestro ejemplo, $p = (e^r - d)/(\mu - d) = 0,5467$.

Analicemos ahora los resultados obtenidos a través del árbol binomial para valorar el bono convertible. Como hemos señalado previamente, en los nodos finales, el valor total del

convertible viene dado por $máx(100, 2S_T)$. En el nodo G, los resultados muestran que el precio de la acción es 78,42 y el valor del bono es 156,83, el cual se deriva íntegramente de un escenario en el que el bono es canjeado por acciones. En el nodo I, el precio de la acción es 43,04 y el valor del convertible es 100, el cual procede en su totalidad de un escenario en el que el convertible permanece como deuda.

A medida que avanzamos en el proceso de retorno a través del árbol, comprobamos si la conversión resulta óptima y si la opción call que incorpora el bono debería ser ejercida por el emisor. Tomemos como ejemplo el nodo D. El algoritmo de retorno da un valor para el componente capital del convertible de

$$(0,5466 * 156,83 + 0,4534 * 116,18)e^{-0,1 * 0,25} = 134,99$$

El valor del componente deuda es nulo. Tanto la conversión como el ejercicio de la opción call no alteran el valor del bono, dado que éste se deriva íntegramente del componente capital. En el nodo F, por el contrario, el componente capital del convertible es nulo, mientras que el valor del componente deuda es $100e^{-0,15 * 0,25} = 96,32$. La conversión no optimiza el valor del convertible ($2 * 37,04 < 96,32$), ni la opción call mejora la posición del emisor ($115 > 96,32$). El nodo E resulta más interesante, dado que el valor del convertible procede de ambos componentes, capital y deuda. El componente capital tiene un valor de

$$(0,5466 * 116,18 + 0,4534 * 0)e^{-0,1 * 0,25} = 61,94$$

Por otra parte, el valor del componente deuda es

$$(0,5466 * 0 + 0,4534 * 100)e^{-0,15 * 0,25} = 43,67$$

El valor total del bono es, por tanto, $61,94 + 43,67 = 105,61$. En este escenario, la conversión no optimiza el valor del convertible para el tenedor ($2 * 50,00 < 105,61$), ni la opción call maximiza la posición del emisor ($115 > 105,61$).

Analicemos ahora con detenimiento el nodo B. El componente capital del convertible tiene un valor de

$$(0,5466 * 134,99 + 0,4534 * 61,94)e^{-0,1 * 0,25} = 99,36$$

Por otra parte, el valor del componente deuda es

$$(0,5466 * 0 + 0,4534 * 43,67)e^{-0,5 * 0,5} = 19,07$$

El valor total del bono es, por tanto, $99,36 + 19,07 = 118,42$. En este nodo, sin embargo, la opción call optimiza la posición del emisor ($115 < 118,42$), dado que provocará la conversión inmediata ($2 * 58,09 = 116,18 > 115$), reduciendo el valor del bono hasta 116,18. Así pues, tras estas operaciones, el valor del convertible en el nodo B es 116,18, que procede íntegramente del componente capital.

Continuando con este procedimiento, el valor del convertible en el nodo inicial A (valor actual) es 104,95. Ahora bien, si el bono no hubiese sido convertible ni hubiera tenido la opción call, su valor actual sería

$$100e^{-0,5 * 0,75} = 89,36$$

En conclusión, el **valor actual de la opción de conversión** (neta de la opción call del emisor), es por tanto:

$$104,95 - 89,36 = 15,59$$

Por último, debemos señalar que, para facilitar la exposición, hemos elegido un instrumento sencillo (cupón cero). Ahora bien, cuando existen dividendos sobre el capital o pago de intereses sobre la deuda, éstos deben ser tenidos en cuenta. Por tanto, debemos incluir en el componente deuda el valor actual de cualquier flujo generado por el bono en el siguiente periodo de tiempo. A continuación, comprobamos si el bono debería ser convertido. Para ello, debemos contemplar el valor actual de los dividendos recibidos durante el siguiente periodo de tiempo. Los cálculos pueden ser más precisos si permitimos que las tasas de descuento,

tanto libre de riesgo como con factor riesgo, sean dependientes del tiempo e iguales a los tipos *forward* correspondientes. De esta manera, los flujos de caja entre el momento t y $t + \delta t$ son descontados al tipo forward apropiado al periodo comprendido entre t y $t + \delta t$.

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

CONCLUSIONES

Conclusiones relacionadas con los modelos estadístico-financieros de estimación de la probabilidad de impago

Existen diferentes modelos para estimar la probabilidad de insolvencia empresarial durante un determinado periodo de tiempo futuro:

- a. **Modelos reducidos.** Se basan en los precios de los bonos.
- b. **Modelos basados en datos históricos y,**
- c. **Modelos estructurales.** Estiman la probabilidad de impago a partir de los precios de las acciones.
- d. **Modelos actuariales** (un bono está en fallido con probabilidad p y no lo está con probabilidad $1-p$).

Las aproximaciones de los modelos reducidos y de los modelos basados en los datos históricos para estimar la probabilidad de impago de una compañía se basan, en último término, en la calidad crediticia de dicha entidad. Sin embargo, las calificaciones crediticias se revisan con cierta periodicidad por parte de las agencias de rating, que puede resultar relativamente escasa para el propósito de actualizar las probabilidades de impago. Este hecho supone la primera limitación de estos modelos y ha conducido a que se cuestione si los precios de las acciones pueden proporcionar información más actualizada para estimar probabilidades de impago (modelos estructurales).

Los modelos estructurales para valorar bonos corporativos se basan en la teoría de opciones⁵⁷. El modelo proporciona el marco conceptual gracias al cual podemos llegar a cuantificar la interrelación entre los mercados de renta variable y renta fija y establece un

⁵⁷ R. Merton, "On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates", *Journal of Finance*, 29 (1974), 449-70.

marco teórico para poder estimar los posibles beneficios o pérdidas para los tenedores de bonos corporativos ante un cambio en la probabilidad de impago, excluyendo las variaciones de valor debidas a cambios en los tipos de interés sin riesgo. La gran dificultad para la aplicación práctica de esa metodología es, como casi siempre en temas de valoración, la información.

Las probabilidades de impago implícitas en los precios de los bonos son probabilidades riesgo-neutral, dado que se obtienen bajo la hipótesis de un escenario sin riesgo (el tipo de interés de los bonos corporativos sería igual al tipo libre de riesgo al mismo plazo). Sin embargo, las probabilidades de impago obtenidas a partir de los datos históricos son probabilidades medias reales, observadas históricamente (frecuencia relativa del número de fallidos). En general las probabilidades de impago riesgo-neutral implícitas en los precios de los bonos son significativamente más altas que las probabilidades reales. Esta discrepancia se explica por varias razones.

En primer lugar, el modelo reducido asume que el exceso de rentabilidad que ofrecen los bonos corporativos sobre el tipo de libre de riesgo al mismo plazo se debe íntegramente al riesgo de crédito (probabilidad de impago). Sin embargo, otros riesgos (fundamentalmente el riesgo de liquidez) también provocan un exceso de rentabilidad de los bonos corporativos sobre el bono Tesoro equivalente. Las conclusiones de nuestro estudio ponen de manifiesto que el diferencial de tipos de interés entre los bonos corporativos y los bonos Tesoro que cotiza en los mercados financieros no está correlacionado con la probabilidad de impago actual, sino con las expectativas de la tasa de impago para los próximos 10 ó 12 meses. Además, esta correlación se ha fortalecido a medida que los mercados de deuda corporativa se han hecho más eficientes, especialmente desde comienzos de los años 2.000. No obstante, una parte relevante del diferencial de tipos de interés viene explicado por otros riesgos, principalmente de liquidez. Esto provoca una mayor probabilidad de impago implícita en las rentabilidades de los bonos corporativos que no responde al riesgo de crédito.

Por otra parte, existe una razón teórica importante que explica la discrepancia entre la probabilidad de impago riesgo-neutral obtenida a partir de los precios de los bonos y la probabilidad observada históricamente dado que, en el modelo reducido, la probabilidad de impago es muy sensible a las variaciones en los diferenciales crediticios cuando éstos son bajos: aumentos pequeños en los diferenciales de tipos de interés (que pueden deberse a

riesgos distintos del riesgo de crédito) se traducen en aumentos proporcionalmente mayores de la probabilidad de impago. Sin embargo, cuando los diferenciales crediticios son altos, la probabilidad de impago tiende a hacerse inelástica ante variaciones de los mismos. Los modelos estructurales, que también se basan en probabilidades riesgo–neutro, producen probabilidades de impago, al igual que los modelos reducidos, más altas que las observadas históricamente.

Por tanto, los modelos de probabilidades basadas en datos históricos deberían ser utilizados para analizar escenarios de pérdidas futuras potenciales, así como para calcular el credit VaR (límite máximo de la pérdida por impago que, con un determinado porcentaje de probabilidad, no debería ser excedido durante un periodo de tiempo dado). Sin embargo, los modelos de probabilidades riesgo-neutral deberían ser utilizados para valorar instrumentos sensibles al riesgo de crédito.

Destacamos también otros resultados interesantes que obtenemos al comparar la probabilidad de impago implícita en los precios de los bonos con la probabilidad de impago histórica: a) si sólo hubiese riesgo de crédito, esto es, si el exceso de diferencial de rentabilidad esperado una vez tenido en cuenta el riesgo de crédito fuese nulo (si no hubiera otros riesgos, como el de liquidez), entonces la probabilidad de impago riesgo–neutral sería la misma que la probabilidad real y b) las mayores discrepancias entre las probabilidades de fallido estimadas a partir de los precios de los bonos y las probabilidades reales se observan en los bonos con mejor calificación crediticia. Sin embargo, resulta interesante que esta mayor probabilidad de impago respecto a la probabilidad histórica se traduce en un exceso de la rentabilidad exigida por riesgo sistémico relativamente pequeño o, al menos, menor que los excesos de rentabilidad exigidos a los bonos con peor calificación crediticia, incluso aunque tengan menores discrepancias entre la probabilidad de impago cotizada por el mercado y la probabilidad real.

Por último, existe un enfoque adicional para calcular la probabilidad de impago: el enfoque actuarial (un bono está en fallido con probabilidad p y no lo está con su probabilidad complementaria $1-p$). Su principal ventaja es que la implementación es sencilla y resulta útil para calcular la probabilidad de impago de una cartera de bonos. Sin embargo, este enfoque no es un modelo completo de riesgo de crédito, dado que contempla el riesgo de fallido, pero no contempla el riesgo de rebaja de la calificación crediticia.

Conclusiones relacionadas con la valoración de la pérdida esperada

La pérdida esperada supuesto el impago puede reducirse mediante cláusulas contractuales para la reducción del riesgo de crédito. En este sentido, la **cláusula *netting*** o cláusula de neteo, suscrita en la mayoría de los contratos con entidades financieras, establece que si la contraparte incumple alguno de los contratos pactados con la institución financiera, se compensarán todos los contratos abiertos con dicha institución financiera (la contraparte no pagará los contratos con resultado negativo y renunciará al cobro de los contratos con resultado positivo, efectuándose una única liquidación global). Además de la inclusión de la cláusula *netting*, existen otros dos modos alternativos por los que las instituciones financieras pueden reducir sus pérdidas potenciales en caso de impago. El primero es el depósito de una **garantía subsidiaria**, comúnmente conocido por su terminología anglosajona: *collateralization*. El segundo modo es el empleo de la cláusula denominada ***downgrade triggers*** (minoración de la calidad crediticia). Este acuerdo establece que si el rating crediticio de la contraparte cae por debajo de un determinado nivel, por ejemplo A, entonces el contrato será liquidado empleando una fórmula predeterminada mediante el pago en efectivo a la parte contraria.

Conclusiones relacionadas con los derivados de crédito

A pesar de su relativa juventud (comenzaron su andadura en 1992), los mercados mundiales de derivados de crédito han experimentado un continuo crecimiento exponencial hasta la fecha actual, tanto en términos de volumen negociado y diversidad de productos, como de aparición de nuevos participantes en el mercado. Este crecimiento podría haber sido incluso mayor, sin la incertidumbre derivada de los problemas iniciales de indefinición legal de los eventos de crédito.

Las entidades de crédito y las empresas de inversión fueron quienes monopolizaron en sus orígenes la demanda de derivados de crédito, impulsadas por un amplio abanico de razones, entre las que destacan:

- a) la eficiencia de estos nuevos instrumentos como herramientas de gestión del riesgo de crédito, por cuanto permiten a los intermediarios financieros reducir el grado de concentración de su cartera sin necesidad de desprenderse de los activos que la integran.

- b) La creciente necesidad de liberar recursos propios para invertirlos en activos más rentables.
- c) La posibilidad de mantener la relación comercial con el cliente, sin exceder, no obstante, las líneas de crédito asignadas al mismo.
- d) La oportunidad de ampliar y diversificar a bajo coste toda la cartera de inversión que, al permitir la asunción de riesgos de crédito específicos sin necesidad de adquirir los respectivos activos subyacentes, brindan los derivados crediticios.

Los derivados de crédito capacitan a los bancos y otras instituciones financieras para gestionar activamente sus riesgos de crédito. Así pues, pueden utilizarse tanto para **transferir riesgo de crédito** de una compañía a otra, como para **diversificar el riesgo de crédito** mediante el intercambio de distintos tipos de exposiciones al riesgo crediticio.

El derivado de crédito más comúnmente utilizado para la gestión de riesgos es el **credit default swap (CDS)**. Se trata de un contrato en el que una compañía compra un seguro de protección contra el riesgo de que otra entidad incumpla sus obligaciones de pago. Esta operación permite **transferir el riesgo de crédito** al vendedor del swap. La compra y venta simultánea de CDS sobre compañías cuya probabilidad de impago no está correlacionada permite **diversificar el riesgo de crédito**. La contraprestación normalmente es la diferencia entre el valor nominal del bono emitido por el prestatario y su valor inmediatamente después del impago. El credit default swap puede analizarse comparando el valor actual del coste esperado del seguro, calculado con probabilidades riesgo-neutral, y el valor actual de la contraprestación esperada. El mercado de credit default swaps, hoy día, ofrece tal liquidez que se puede recurrir a él para despejar las probabilidades de impago implícitas en los precios negociados de los CDS. Esta manera de proceder es análoga al empleo del mercado de opciones financieras para calcular las volatilidades implícitas a partir de los precios de las opciones. Las extensiones más comunes de los credit default swap son:

Binary credit default swap. Se estructura de forma similar a un credit default swap estándar, con la excepción de que el *pay-off* o contraprestación en caso de evento de crédito es una cantidad monetaria fija.

Basket credit default swap. Se caracteriza por contemplar varias entidades de referencia, de tal forma que este contrato proporciona una contraprestación cuando alguna de las entidades de referencia incumple sus obligaciones de pago.

First-to-default basket credit default swap. Es un basket credit default swap con la particularidad de que solo ofrece contraprestación ante la primera entidad de referencia que impaga.

Otros derivados de crédito utilizados para la gestión del riesgo crediticio son:

Total return swap. Es un contrato para intercambiar el resultado total de un bono u otro activo de referencia sensible al riesgo de crédito por el tipo variable libor más un diferencial o spread. El resultado total (denominado comúnmente en su terminología anglosajona: *total return*) incluye cupones, intereses, y la ganancia o pérdida sobre el activo de referencia a lo largo de la vida del contrato de intercambio o swap. Si la parte compradora posee el bono, el total return swap le **permite traspasar tanto el riesgo de mercado como el riesgo de crédito** sobre dicho bono al vendedor. Por el contrario, si el comprador no posee el bono, el total return swap le permite tomar posiciones cortas en dicho bono. Los contratos de tipo total return swap normalmente son utilizados como **instrumento de financiación**. En este sentido, si una entidad desea financiar una inversión en el bono de referencia, negociará con una institución financiera, la cual comprará el bono en su propio nombre y pactará un total return swap con la entidad en cuestión, por el que pagará los flujos generados por el bono y recibirá el tipo libor más un diferencial. Esta operación de intercambio deja al vendedor en la misma posición que si hubiese solicitado un préstamo al tipo libor más un diferencial para adquirir el bono. La principal ventaja de este tipo de derivado estriba en que la institución financiera tiene mucha menos exposición al riesgo de impago del vendedor del swap que si le hubiese prestado dinero para financiar la compra del bono, dado que, en este caso, habría anticipado el importe íntegro del bono al principio de la operación. Por último, debemos señalar que existe una **amplia gama de variaciones sobre el contrato estándar** que hemos descrito. En determinados contratos, en vez de liquidar por diferencia (en efectivo) la variación producida en el valor del bono, el contrato estipula liquidación física, mediante la entrega del activo subyacente por parte del comprador a cambio del principal nominal al vencimiento del swap. En otras ocasiones, los cambios en el precio del bono son liquidados periódicamente en vez de mediante un único pago al final del swap.

Credit spread option. Es una opción sobre un spread de crédito. Existen dos modalidades. Bajo el primer tipo de estructuras, el *pay-off* se calcula comparando el spread de crédito de mercado al vencimiento de la opción con el precio de ejercicio contemplado en la opción para dicho spread crediticio. Bajo el segundo tipo de estructuras, el *pay-off* se calcula comparando el precio de mercado de un bono con cupón variable con el precio de ejercicio de la opción.

Collateralized debt obligation. Esta estructura implica la creación de diferentes clases de activos, denominados “tramos”, a partir de una cartera de bonos corporativos o préstamos bancarios. El contrato establece normas para determinar cómo las pérdidas por impago son distribuidas entre los diferentes tramos. El resultado de estas normas es la creación de tramos con muy alta calidad crediticia y tramos con muy baja calidad crediticia a partir de la cartera original de bonos.

Conclusiones relacionadas con los bonos convertibles en acciones

Los bonos convertibles son bonos que pueden canjearse por acciones del emisor de acuerdo con unas condiciones específicas. El riesgo de crédito ha de ser considerado necesariamente en la valoración de los bonos convertibles; de hecho, juega un papel fundamental en la valoración de los mismos. La razón estriba en que si el bono no fuese convertido en capital, los flujos de pagos procedentes del mismo, están naturalmente sujetos al riesgo de crédito. Si ignoramos el riesgo de crédito, obtendremos una valoración poco precisa, dado que los pagos tanto de los cupones como del principal, en caso de no conversión, estarán sobrevalorados. En efecto, en ausencia de riesgo de crédito, los flujos de pagos serán descontados al tipo de interés libre de riesgo, provocando la sobre-valoración de los mismos toda vez que el bono no sea canjeado por acciones. El procedimiento más extendido para contemplar el riesgo de crédito en la valoración de bonos convertibles consiste en calcular independientemente el componente del valor del convertible atribuible a la posibilidad de que el bono finalice como capital y el componente del valor del convertible imputable a la posibilidad de que el bono finalice como deuda. La construcción de un árbol binomial nos permite integrar ambas opciones.

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

BIBLIOGRAFÍA

Águila Quesada, J. El riesgo en la industria bancaria: una aproximación a Basilea II. Caja Rural Intermediterránea, Cajamar, Almería, 2002.

Ahorro Corporación Financiera SV. El mercado de crédito. *Estrategias de Inversión*, Abril 2003.

Alcalde, N. y Valles, J. El mercado financiero y el racionamiento del crédito: estudio del caso de los gobiernos regionales en España. *Hacienda pública española*, v. 160, n. 1 (2002), p. 77-102.

Alexyer, C. Risk management y analysis. Volume 1, Measuring y modelling financial risk. Wiley, 1999.

Alonso, F, Forte, S y Marqués J. M. Punto de quiebra implícito en la prima de credit default swaps. *Documentos de trabajo / Banco de España*, 0639 (2006).

Altman, E. I. et al. Medición integral del riesgo de crédito. Limusa, México D. F., 2003.

Altman, E. I. Measuring corporate bond mortality y performance. *Journal of Finance*, 44 (1989), 902–22.

Ammann, M. Credit risk valuation: methods, models y applications. Springer Finance, 2001.

Bajo, M. y Rodríguez, E. Tipos de interés y diferenciales de crédito: algunas consideraciones prácticas para la gestión de carteras. *Análisis Financiero / Instituto Español de Analistas Financieros*, n. 120 (2012), p. 64-80.

Bank for International Settlements. Market-making y proprietary trading: industry trends, drivers y policy implications, Noviembre 2014.

Bessis, J. Risk management in banking. Wiley, 2002.

Black, F. y J. Cox. Valuing corporate securities: some effects of bond indenture provisions. *Journal of Finance*, 31, n. 2 (1976), 351–67.

Caballo, A. Medición de riesgo de crédito: desarrollo de una nueva herramienta. Universidad Pontificia Comillas, cop, 2013.

Calvo-Flórez Segura, A. y García Pérez de Lema, D. Predicción de insolvencia empresarial. AECA, Madrid, 1997.

Campos, P y Yague, M. A. Enfoques cuantitativos para el riesgo de crédito en empresas: ratings internos (IRB). *Perspectivas del sistema financiero*, n. 72 (2001), p. 31-42.

Caoutte, J. B., E. I. Altman y P. Narayanan. Managing credit risk. Wiley, 1998.

Cooper, I. y A. Mello. The default risk of swaps. *Journal of Finance*, 46 (1991), 597–620.

Credit Suisse Financial Products. Credit risk management framework. Octubre, 1997.

Checkley, K. Manual para el análisis del riesgo de crédito. Gestión 2000, Barcelona, 2003.

Das, S. Credit derivatives: trading & management of credit & default risk. Wiley, Sigapore, 1998.

Deutsche Bank. Credit derivatives outlook, Enero 2002.

Dias, S. Structured notes y derivative embedded securities, Briley, Londres, 1996.

Doldán Tié, F. y Rodríguez López, Manuel. La gestión del riesgo de crédito: métodos y modelos de predicción de la insolvencia empresarial. Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas, Madrid, 2002.

Duffie, D. y K. Singleton. Modeling term structures of defaultable bonds. *Review of Financial Studies*, 12 (1999), 687–720.

Duffie, D. y M. Huang Swap rates y credit quality. *Journal of Finance*, 51, n. 2 (Julio 1996).

Fama, E. F. y K. R. French. Business conditions y expected returns on stock y bonds. *Journal of Financial Economics*, 25, 23–49.

Finger, C.C. A comparison of stochastic default rate models. *Risk Metrics Journal*, 1 (Noviembre 2000), 49–73.

Flaquer Riutort, J. El contrato de crédito subasta, Barcelona, 1992.

Franks, J. R. y W. N. Torous. A comparison of financial restructuring in distressed exchanges y chapter 11 reorganizations. *Journal of Financial Economics*, 35 (1994), 349–370.

Fundación BBV con la colaboración de Navarro, E. La gestión del riesgo de mercado y de crédito: nuevas técnicas de valoración. Fundación BBV, Madrid, 1998.

García, R, González L. y Oroz, M. Aspectos críticos en la implantación y validación de modelos internos de riesgo de crédito. *Estabilidad financiera / Banco de España*, n. 9 (noviembre 2005), p. 29-57.

Gloria, C, Perez, F. y Rodriguez, R. Cobertura del riesgo de crédito. *Actualidad financiera*, n. 7 (julio 1997), p. 3-16.

Goldman Sachs. Valuing convertible bonds as derivatives. Quantitative strategies research notes. Goldman Sachs, Noviembre 1994.

González, C. y Moral-Benito, E. Determinants of corporate default: a BMA approach. *Documentos de trabajo / Banco de España*, 1221 (2012).

Group of Thirty. *Derivatives: practices y principles*. Washington, DC, 1993.

Harvey, A. C. The real term structure y economic growth. *Journal of Financial Economics*, 22 (1988), 305–333.

Harvey, C. R. The relation between the term structure of interest rates y Canadian economic growth. *Canadian Journal of Economics*, 1 (1997), 169-193.

Hull, J. C. Assessing credit risk in a financial institution's off-balance-sheet commitments. *Journal of Financial y Quantitative Analysis*, 24 (1989), 489–501.

Hull, J. C. *Options, futures y other derivatives*. Pearson Prentice Hall, 2006.

Hull, J. C. y A. White. The impact of default risk on the prices of options y other derivative securities. *Journal of Banking y finance*, 19 n. 2 (Mayo 1995), 299–322.

Hull, J. C. y A. White. The price of default. *RISK*, Septiembre 1992, 101–103.

Hull, J. C. y A. White. Valuing credit default swaps I: no counterparty default risk. *Journal of Derivatives*, 8, n. 1 (Fall 2000), 29–40.

Hull, J. C. y A. White. Valuing credit default swaps II: modeling default correlations. *Journal of Derivatives*, 8, n. 3 (Primavera 2001), 12-22.

Ingersoll, J. E. A contingent claims valuation of convertible securities", *Journal of Financial Economics*, 4 (Mayo 1977), 289-322.

J. P. Morgan. CreditMetrics technical document, Abril 1997.

Jarrow, R. A. y S. M. Turnbull. Pricing options on derivative securities subject to credit risk. *Journal of Finance*, 50 (1995), 53–85.

Jarrow, R. A., D. Lyo y S. M. Turnbull. A Markov model for the term structure of credit spreads. *Review of Financial Studies*, 10 (1997), 481–523.

Johnson, H. y R. Stulz. The pricing of options under default risk. *Journal of Finance*, 42 (1987), 267–280.

Kao, D. L. Estimating y pricing credit risk: an overview. *Financial Analysts Journal*, Julio/agosto, 50–66.

Kijima, M. A Markov chain model for valuing credit derivatives. *Journal of Derivatives*, 6, n. 1 (Otoño 1998), 97–108.

Knop, R, Ordovás R y Vidal, Joan. Medición de riesgos de Mercado y crédito. Ariel Economía, Barcelona, 2004.

Litterman, R. y T. Iben. Corporate bond valuation y the term structure of credit spreads. *Journal of Portfolio management*, Primavera 1991, 52–64.

Márquez, J. Una nueva visión del riesgo de crédito. Limusa, México D. F., 2006.

Márquez, J. y López-Gallo, F. Un modelo de análisis del riesgo de crédito y su aplicación para realizar una prueba de estrés del sistema financiero mexicano. *Estabilidad financiera / Banco de España*, n. 10 (mayo 2006), p. 25-54.

Marrison, C. The fundamentals of risk measurement. McGraw–Hill, 2002.

Moody's. Annual default study: corporate default y recovery rates, 1920–2014, Marzo 2015.

Moral, G. Validación de enfoques IRB para el cálculo del capital mínimo por riesgo de crédito. *Estabilidad financiera / Banco de España*, n. 7 (noviembre 2004), p. 75-109.

Otero, L. y Peraza, C. La gestión del riesgo de crédito en el marco de Basilea II. *Banca y finanzas / Instituto Superior de Técnicas y Prácticas Bancarias*, n. 73 (febrero 2002), p. 24-31.

Peña, J. I. La gestión de riesgos financieros de mercado y crédito. Pearson Education, 2002.

Peña, J. I. y R. Rodríguez. On the economic link between asset prices y real activity. Mimeo. *Universidad Carlos III*, 2002.

Pérez, C. Estimation of regulatory credit risk model. *Documentos de trabajo / Banco de España*, 1305 (2013).

Pra, I. Gestión y control del riesgo de crédito en modelos avanzados. Ediciones Académicas, Madrid, 2010.

PwC. Global financial markets liquidity study, Agosto 2015.

R. Merton. On the pricing of corporate debt: the risk structure of interest rates”, *Journal of Finance*, 29 (1974), 449-70.

Salas, V y Saurina, J. Credit risk in two institutional regimes: Spanish commercial y savings Banks. *Journal of financial services research*, v. 22, n. 3 (diciembre 2002), p. 203-224.

Samaniego, R. El riesgo de crédito en el marco del Acuerdo Basilea II. *Finanzas para la nueva economía*. Delta, 2007.

Sanchez, E. y Moreno, M. Nuevos enfoques sobre gestión de riesgos financieros: gestión global y rentabilidad ajustada al riesgo. *Análisis financiero internacional*, n. 108, (2º trimestre 2002), p. 29-44.

Saunders, A. Credit risk measurement. Wiley, 1999.

Sparre, K. y Matzen, A. The use of ratings in the European capital markets. *Monetary review /*

Danmarks Nationalbank, 3rd quarter 1998, p. 37-53

Tavakoli, J. M. *Credit Derivatives: a guide to instruments y applications*. Wiley, Nueva York, 1998.

Tellez, C. y Trujillo, A. La gestión del riesgo de crédito mediante contratos derivados. *Actualidad financiera*, n. 12 (diciembre 1997), p. 23-36.

Tomas, J. y Amat, O. *Casos prácticos de análisis del riesgo de crédito*. Gestión 2000, Barcelona, 2002.

Trucharte, C. y Marcelo, A. Modelos factoriales de riesgo de crédito: el modelo de Basilea II y sus implicaciones. *Estabilidad financiera / Banco de España*, n. 1 (septiembre 2001), p. 205-218.

Trujillo, A, Samaniego, R. y Cardone, C. Análisis del poder explicativo de los modelos de riesgo de crédito: una aplicación a empresas no financieras europeas. *Cuadernos de Investigación UCEIF*, 8/2013 (2013).

Tsiveriotis, K y C. Fernyes. Valuing convertible bonds with credit risk. *Journal of Fixed Income*, 8, n. 2 (Septiembre 1998), 95–102.

Vaca, M. Basilea II, un nuevo marco regulatorio de los riesgos bancarios: novedades en torno al riesgo de crédito. *Icade: revista de las Facultades de Derecho y Ciencias Económicas y Empresariales*, n. 56 (mayo-agosto 2002), p. 105-124.

ANEXOS

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

Anexo 1 Basilea II y III

BASILEA II

La principal limitación del acuerdo de Basilea I es que es insensible a las variaciones de riesgo y que ignora una dimensión esencial: la de la calidad crediticia y, por lo tanto, la diversa probabilidad de incumplimiento de los distintos prestatarios. Es decir, consideraba que los créditos tenían la misma probabilidad de incumplir. Para superarla, el Comité de Basilea propuso en 2004 un nuevo conjunto de recomendaciones. Éstas se apoyan en los siguientes tres pilares.

Pilar I: cálculo de los requisitos mínimos de capital

Constituye el núcleo del acuerdo e incluye una serie de novedades con respecto al anterior: tiene en cuenta la calidad crediticia de los prestatarios (utilizando ratings externos o internos) y añade requisitos de capital por el riesgo operacional.

La norma de Basilea I exige fondos propios como mínimo del 8% de activos de riesgo, considerando activos de riesgo: riesgo de crédito + riesgo de negociación + riesgo de tipo de cambio, mientras que Basilea II considera: riesgo de crédito + riesgo de mercado + riesgo de tipo de cambio + riesgo operacional.

El riesgo de crédito se calcula a través de tres componentes fundamentales:

PD (*Probability of Default*) o probabilidad de incumplimiento.

LGD (*Loss Given Default*) o pérdida dado el incumplimiento (también se conoce como "severidad", indicando la gravedad de la pérdida).

EAD (*Exposure At Default*) o exposición en el momento del incumplimiento.

Dada la existencia de bancos con distintos niveles de sofisticación, el acuerdo propone distintos métodos para el cálculo del riesgo crediticio. En el método estándar, la PD y la LGD se calculan implícitamente a través de las calificaciones de riesgo crediticio publicadas por empresas especializadas (agencias de rating) utilizando una serie de baremos. En cambio, los

bancos más sofisticados pueden, bajo ciertas condiciones, optar por el método de ratings internos avanzado (AIRB), que les permite utilizar sus propios mecanismos de evaluación del riesgo y realizar sus propias estimaciones. Existe un método alternativo e intermedio (*foundation IRB*) en el que los bancos pueden estimar la PD, el parámetro de riesgo más básico, y utilizar, sin embargo, valores calculados por el regulador para la LGD. Muchas entidades bancarias gestionaban su riesgo crediticio en función de la pérdida esperada EL (*Expected Loss*), $EL = PD \times LGD \times EAD$, que determinaba su nivel de provisiones frente a incumplimientos.

El riesgo de negociación y el riesgo de tipo de cambio se siguen calculando conforme a Basilea I. El riesgo operacional (errores humanos, procesos internos inadecuados o defectuosos, fallos en los sistemas y como consecuencia de acontecimientos externos, entre otros) se calcula multiplicando los ingresos por un porcentaje que puede ir desde el 12% hasta el 18%. Existen tres métodos alternativos para calcularlo dependiendo del grado de sofisticación de la entidad bancaria.

Pilar II: proceso de supervisión de la gestión de los fondos propios

Los organismos supervisores nacionales están capacitados para incrementar el nivel de prudencia exigido a los bancos bajo su jurisdicción. Además, deben validar tanto los métodos estadísticos empleados para calcular los parámetros exigidos en el primer pilar como la suficiencia de los niveles de fondos propios para hacer frente a una crisis económica, pudiendo obligar a las entidades a incrementarlos en función de los resultados. Para poder validar los métodos estadísticos, los bancos estarán obligados a almacenar datos de información crediticia durante periodos largos, de 5 a 7 años, a garantizar su adecuada auditoría y a superar *pruebas de estrés*.

Además se exige que la alta dirección del banco se involucre activamente en el control de riesgos y en la planificación futura de las necesidades de capital. Esta autoevaluación de las necesidades de capital debe ser discutida entre la alta dirección y el supervisor bancario. Como el banco es libre para elegir la metodología para su autoevaluación, se pueden considerar otros riesgos que no se contemplan en el cálculo regulatorio, tales como el riesgo de concentración y/o diversificación, el riesgo de liquidez, el riesgo reputacional, el riesgo de pensiones, etc.

Pilar III: disciplina de mercado

El acuerdo estableció normas de transparencia y exigió la publicación periódica de información acerca de su exposición a los diferentes riesgos y la suficiencia de sus fondos propios, de forma que los participantes en los mercados financieros puedan comprender los perfiles de riesgo de los bancos y si son adecuadas sus garantías de capital. El objetivo es:

- a) La generalización de las buenas prácticas bancarias y su homogeneización internacional.
- b) La reconciliación de los puntos de vista financiero, contable y de la gestión del riesgo sobre la base de la información acumulada por las entidades.
- c) La transparencia financiera a través de la homogeneización de los informes de riesgo publicados por los bancos.

BASILEA III

Se trata de la primera revisión de Basilea II y se llevó a cabo a lo largo de 2009, entrando en vigor a partir del 31 de diciembre de 2010. La reforma de Basilea III vino motivada al observarse que la crisis financiera de 2008 se explica en gran parte debido al crecimiento excesivo de los valores presentados en los balances de los bancos (y también fuera de ellos, como en el caso de los productos derivados) y la simultánea caída del nivel y la calidad de los fondos propios previstos para riesgos. En efecto, muchas instituciones no contaban con reservas suficientes para hacer frente a una crisis de liquidez. En este contexto, el sistema bancario se mostró en un primer momento incapaz de absorber las pérdidas que afectaban a los productos estructurados de titulización. En el peor momento de la crisis, la incertidumbre pesaba sobre la calidad de los balances. La solvencia de los bancos estaba en cuestión y ello conllevaba problemas de riesgo sistémico (la interdependencia existente podía provocar que la insolvencia de un banco provocara la de otro), lo cual generó una crisis de confianza y de liquidez generalizada. Teniendo en cuenta el papel del sistema financiero en las finanzas y en la economía real, el carácter internacional de las instituciones financieras y las pérdidas que asumen los Estados principalmente a través de los planes de rescate con fondos públicos, se consideró legítima la intervención coordinada de los reguladores internacionales.

A diferencia de Basilea I y Basilea II, ambos centrados principalmente en el nivel de reservas que los bancos deben mantener para pérdidas bancarias, Basilea III se centra principalmente en el riesgo de *bank run* (pánico bancario), exigiendo diferentes niveles de capital para las distintas modalidades de depósitos bancarios y otros préstamos. Basilea III no

sustituye, en su mayor parte, a las directrices ya conocidas como Basilea I y Basilea II, sino que más bien las complementa. Los principios básicos de Basilea III son los siguientes:

Capital

El acuerdo de Basilea III obliga a los bancos a aumentar sus reservas de capital para protegerse de posibles caídas. El capital mínimo de calidad (CET1, *Common Equity Tier 1* por sus siglas en inglés), incluye las acciones ordinarias y los resultados acumulados. El ratio de capital CET1 pasa del 2% al 4,5%, computado sobre el total de los "activos ponderados por riesgo". Este ratio de capital mínimo debe ser mantenido en todo momento por el banco y es uno de los más importantes.

$$\text{Common Equity Tier 1/Activos ponderados por riesgo} \geq 4,5\%$$

El denominado Capital Tier 1 incluye, además de las acciones comunes y las utilidades retenidas, las participaciones preferentes, híbridos de capital y deuda sin pagar. El ratio de Capital Tier 1 mínimo pasa del 4,5% al 6% aplicable en 2015 sobre el total de los "activos ponderados por riesgo"⁵⁸. Dicho 6% se divide en el 4,5% de CET1 arriba mencionado y el 1,5% extra de AT1 (*Additional Tier 1*). El ratio mínimo de Capital Total (que incluye el Capital Tier 1, más el denominado Capital Tier 2), asciende en total al 8% de los activos ponderados por riesgo.

Respecto de los "activos ponderados por riesgo", se definen como la suma de los activos del banco, ponderados según el riesgo que cada activo comporte de acuerdo con las directrices de Basilea III. Por ejemplo, un préstamo al consumo, sin ninguna garantía, tiene un peso del 100%, mientras que un bono del estado generalmente tiene un peso del 0% (por ejemplo, el bono alemán o suizo).

Por otra parte, Basilea III introduce el concepto de los "colchones de capital" que los bancos tendrán que construir gradualmente entre 2016 y 2019, para que puedan ser utilizados en futuros tiempos de crisis:

⁵⁸ Ver <http://www.riskbank.com.br/anexo/boletim0910.pdf>

a) Colchón de conservación de capital: equivalente al 2,5% de los activos ponderados por riesgo y compuesto íntegramente por instrumentos de CET1. Dado que el requisito mínimo regulatorio es mantener el 4,5% de CET1, deberá añadirse el mencionado colchón para que el capital de alta calidad ascienda al 7% a finales de 2019. Los bancos podrán utilizar, en determinadas circunstancias, el capital de este colchón de conservación de capital, aunque si el banco está cerca del porcentaje mínimo requerido, deberá reducir su margen de beneficios y dividendos. En definitiva, el objetivo es evitar que las instituciones sigan pagando altos dividendos y bonos incluso cuando sufren un deterioro del capital.

b) Colchón de capital anticíclico de alta calidad: entre el 0% y el 2,5% de los activos ponderados por riesgo. Puede ser requerido de acuerdo a las necesidades de cada país signatario del acuerdo. Este segundo colchón dependerá del nivel de capitalización de mercado y tiene por objeto proteger el sistema bancario en los períodos de expansión del crédito, cuando los bancos tendrán que destinar una parte de su capital a la formación de sus colchones.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los dos colchones, el requisito de Capital Total mínimo (no confundir con el CET1) puede llegar al 13%⁵⁹.

Apalancamiento

Basilea III introduce a partir de 2015 un "ratio de apalancamiento" mínimo propuesto, como medida complementaria a los ratios de solvencia basados en riesgo.

El ratio de apalancamiento se calcula dividiendo el capital Tier 1 por una medida de la exposición total no ponderada por riesgo, como los activos consolidados totales medios del banco (no ponderados). Se espera que los bancos mantengan un ratio de apalancamiento no inferior al 3% bajo Basilea III⁶⁰.

$$\text{Capital Tier 1/Exposición total} \geq 3\%$$

⁵⁹ Ver <http://www.bis.org/publ/bcbs189.htm>

⁶⁰ Ver http://www.bis.org/publ/bcbs270_es.pdf sobre Basilea III: marco del coeficiente de apalancamiento y sus requisitos de divulgación (2014)

Liquidez

Uno de los planes más importantes de la reforma de Basilea III es la introducción de dos ratios de liquidez: el LCR (*Liquidity Coverage Ratio*) y el NSFR (*Net Stable Funding Ratio*)⁶¹.

a) El LCR (**Coefficiente de Cobertura de Liquidez**) es una relación de un mes, que tiene como objetivo permitir a las instituciones financieras soportar graves crisis de liquidez (tanto sistémicas como específicas para la institución financiera) por período de 30 días. Su fundamento es el siguiente: los activos líquidos de los que dispone una institución financiera (por ejemplo, bonos gubernamentales y bonos corporativos) deben tener un valor mayor o igual que las salidas potenciales de efectivo (por ejemplo, pagares que vencen y salidas de cuentas de depósito) de dicha institución. De manera numérica, esto es:

$$\text{Activos Líquidos/Salidas Netas de Efectivo} \geq 100\%$$

Los activos que entran en la parte de Activos Líquidos son tales que la institución pueda fácilmente convertirlos en efectivo. Para efectos del Coeficiente de Cobertura de Liquidez, éstos se separaron en dos tipos, los activos de nivel I y activos de nivel II. Los activos de nivel I son activos muy líquidos que no incurren en pérdidas. Por esta razón se ponderan al 100%. Los activos de nivel II son activos menos líquidos, que bajo un escenario de estrés pudiera ser que se vendieran a precios menores que los de mercado, por lo que tienen una ponderación menor que 100%.

En cuanto al denominador, Salidas Netas de Efectivo, existen dos elementos que tienen importancia. El primero son las salidas que potencialmente tendrá la institución. Por ejemplo, de las cuentas de depósito es previsible que bajo un escenario de estrés se salga dinero, por lo que el total de las cuentas de depósito se multiplican por un factor de ponderación que mide cuánto podría salir bajo un escenario de estrés (de hecho las cuentas de depósito se separan según lo factible que sea que salga dinero de dichas cuentas, por lo que hay más de un factor de ponderación). El segundo elemento son las entradas de efectivo, es decir, dinero que recibirá la institución durante el período de 30 días. Por ejemplo, aquí se incluyen créditos

⁶¹ Ver http://www.lesechos.fr/05/02/2010/LesEchos/20609-172-ECH_bale-iii---les-banques-ne-veulent-pas---avalier-une-soupe-indigeste--.htm

que haya otorgado la institución y bonos que no sean líquidos de los cuales se va a recibir intereses o capital, entre otros.

Con estos elementos el coeficiente de cobertura de liquidez toma la siguiente forma (de acuerdo con la actualización del 6 de enero de 2013⁶²):

$$\frac{\text{Activos Ponderados Nivel 1} + \text{Activos Ponderados Nivel 2}}{\text{Salidas De Efectivo} - \min(\text{Salidas De Efectivo}, 0,75 * \text{Entradas De Efectivo})}$$

Sujeto a que los Activos Ponderados de Nivel II no sean más del 40% del total de los activos líquidos. De acuerdo con el Acuerdo de Basilea de 16 de diciembre de 2010⁶³, sus parámetros principales son:

- El efectivo y la deuda soberana se ponderan al 100%.
- Otros títulos se ponderan al 85% (15% de descuento sobre el valor de mercado).
- Los créditos a clientes se esperan renovar en un 50% y los préstamos interbancarios no se renuevan.
- Los depósitos minoristas sufrirán una tasa de fuga que oscilará entre el 5% y 10%, dependiendo de la estabilidad estimada del depósito en cuestión.
- Los depósitos a grandes empresas sufrirán una tasa de fuga entre el 25% y el 75%, dependiendo de la estabilidad del depósito estimado en cuestión.
- La refinanciación de mercado se renueva en un 0%.

b) El NSFR (Coeficiente de Fondo Estable Neto) es una relación de un año que tiene como objetivo permitir a los bancos resistir un año a una crisis específica de la institución. La idea que subyace es la siguiente: el importe de los requisitos de recursos estables (financiación necesaria estable) debe ser menor que la cantidad de recursos disponibles (financiación estable disponible).

⁶² <http://www.bis.org/publ/bcbs238.pdf> sobre Basilea III, Actualización 6 de enero de 2013

⁶³ http://www.bis.org/publ/bcbs188_es.pdf sobre Basilea III, 16 de diciembre de 2010

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

Anexo 2 Probabilidad de impago a partir de los precios de los bonos

En los apartados 2.3.1.3 y 2.3.1.4 se calcula la probabilidad de impago riesgo-neutral de un bono cupón cero igualando el precio actual del bono al valor actual de sus flujos futuros ponderados por sus probabilidades, esto es, tendríamos una probabilidad de impago $Q(T)$, en cuyo caso el valor del bono a vencimiento vendría dado por la tasa de recuperación ($100 \cdot R$), y su probabilidad complementaria $1 - Q(T)$, en cuyo caso el valor del bono a vencimiento sería 100.

$$100 \cdot e^{-y(T)T} = [1 - Q(T)] \cdot 100 \cdot e^{-y'(T)T} + Q(T) \cdot 100R \cdot e^{-y'(T)T} \quad [1]$$

Despejando, obtenemos la probabilidad de impago:

$$Q(T) = \frac{e^{-y'(T)T} - e^{-y(T)T}}{(1 - R) e^{-y'(T)T}}$$

Otro planteamiento equivalente (se utiliza en el apartado 2.1.3.5 para obtener la probabilidad de impago a partir de bonos portadores de cupón en vez de bonos cupón cero), consiste en igualar el valor actual de la pérdida esperada (precio libre de riesgo del bono menos precio de mercado del bono) al producto de la probabilidad de impago por el valor actual de la pérdida supuesto el impago:

$$100 \cdot e^{-y'(T)T} - 100 \cdot e^{-y(T)T} = Q(T) \cdot (100 - 100R) \cdot e^{-y'(T)T} \quad [2]$$

Dado que las ecuaciones [1] y [2] son equivalentes, despejando obtenemos el mismo resultado:

$$Q(T) = \frac{e^{-y'(T)T} - e^{-y(T)T}}{(1 - R) e^{-y'(T)T}}$$

La ecuación [1] se utiliza en los apartados 2.3.1.3 y 2.3.1.4 porque es más oportuna para explicar el concepto de probabilidad de impago *riesgo-neutral*, mientras que el planteamiento equivalente de la ecuación [2] se utiliza en el apartado 2.3.15 porque resulta más adecuado como punto de partida para calcular la probabilidad de impago a partir de bonos portadores de cupón en vez de bonos cupón cero.

MODELOS DE MEDICIÓN DEL RIESGO DE CRÉDITO

Anexo 3 Bono con cupón como suma de los bonos cupón cero que lo constituyen

Como se expuso en el apartado 2.3.1.8, cuando aceptamos la hipótesis consistente en que la cantidad demandada es el valor libre de riesgo del bono, $C_j(t) = F_j(t)$, se puede demostrar que el valor del bono B_j , portador de cupón, es la suma de los valores de los bonos cupón cero que lo constituyen. A esta propiedad se la denomina convencionalmente como “valor aditivo”. Esto implica que teóricamente es correcto calcular curvas cupón cero para diferentes categorías de ratings a partir de bonos activamente negociados y utilizarlas posteriormente para valorar bonos con menor volumen de negociación. El razonamiento es el siguiente:

Cuando la cantidad reclamada es el valor libre de riesgo, la pérdida supuesto el impago en el momento t es:

$$v(t)(1 - R')B^*$$

Siendo $v(t)$ el factor de descuento para el momento t y B^* el valor libre de riesgo del bono en el momento t . Supongamos que los bonos cupón cero que constituyen el bono corporativo tienen valores libre de riesgo en el momento t de Z_1, Z_2, \dots, Z_n , respectivamente. La pérdida supuesto el impago del bono cupón cero i -ésimo en el momento t será:

$$v(t)(1 - R')Z_i$$

Por tanto, la pérdida total de todos los bonos cupón cero será:

$$v(t)(1 - R')\sum_i^n Z_i = v(t)(1 - R')B^*$$

Dado que la pérdida supuesto el impago en el momento t es la misma para el bono corporativo que para la cartera de los bonos cupón cero que lo constituyen, el valor del bono

corporativo ha de ser el mismo que la suma de los valores de los bonos cupón cero que lo constituyen.

Sin embargo, cuando asumimos una hipótesis más realista: la cantidad demandada $C_j(t)$ es igual al valor nominal del bono j más el interés acumulado en el momento t , no se cumple la propiedad de valor aditivo (excepto en el caso particular de tasa de recuperación nula), como se expone a continuación:

Cuando la cantidad reclamada es el valor nominal más el interés acumulado, la pérdida supuesto el impago en el momento t será:

$$v(t)B^* - v(t)R'[L + a(t)]$$

Siendo L el valor nominal y $a(t)$ el interés acumulado en el momento t . Esta pérdida no es la misma que la suma de las pérdidas de todos los bonos cupón cero que constituyen el bono corporativo, excepto, como indicamos previamente, en el caso de tasa de recuperación nula. Esto implica que, en teoría, no existe una curva de rentabilidades cupón cero que pueda ser empleada para valorar bonos corporativos de forma exacta.

