



INNOVAR. Revista de Ciencias
Administrativas y Sociales

ISSN: 0121-5051

revinnova_bog@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

Aragonés, José Ramón; Blanco, Carlos; Iniesta, Fernando
Modelización del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras
INNOVAR. Revista de Ciencias Administrativas y Sociales, vol. 19, núm. 35, septiembre-diciembre,
2009, pp. 65-80
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81819026006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Modelización del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras

José Ramón Aragonés*, Carlos Blanco** & Fernando Iniesta***

resumen

La evaluación del riesgo de crédito en los proyectos de infraestructuras se ha basado generalmente en la metodología *Project Finance*, que se centra en estimar si la generación de los flujos de caja del proyecto es capaz de asegurar el pago de la deuda.

Otros modelos de evaluación de riesgo de crédito llamados "modelos estructurales" –como KMV– están basados en la teoría de opciones, y se centran en estimar si el valor de los activos al final del periodo de vencimiento de la deuda es superior o no al valor de la deuda.

Este estudio pretende extender el uso de la metodología KMV a la medición del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras, y analizar las diferencias de ambos modelos en la medición del riesgo de crédito.

Los resultados conseguidos muestran que la metodología KMV obtiene unas probabilidades de impago muy inferiores a las del método *Project Finance*. Además las funciones de distribución de probabilidad de impago de ambas metodologías son muy distintas. Finalmente, se analiza en qué supuestos resulta más conveniente utilizar una u otra metodología.

palabras clave: PPP (*public-private-partnership*), *Project Finance*, modelos estructurales de riesgo de crédito, financiación estructurada, KMV, teoría de opciones.

abstract

Modelling credit risk in infrastructure projects

Evaluating credit risks in infrastructure projects has generally been based on project financing methodology; this is centred on estimating whether generating a project's cash flows is able to ensure the repayment of the debt so incurred.

Other credit risk evaluation models, called structural models (such as Moody's KMV), are based on options' theory and are centred on estimating whether the value of assets when the debt repayment period expires will be greater than the value of the debt incurred.

This study attempts to analyse both models' differences in measuring credit risk. The results showed that KMV methodology obtained some non-payment probabilities which were very much lower than those obtained by the project financing method. Furthermore, both methodologies' non-payment probability distribution functions were very different. An analysis was also made of which suppositions were more convenient when using a particular method.

key words: public-private-partnership (PPP), project finance, structural credit risk models, structured financing, KMV, options theory.

résumé

Modélisation du risque de crédit dans les projets d'infrastructure

Évaluation du risque de crédit dans les projets d'infrastructures s'est basée généralement sur la méthodologie *Projet Finance*, centrée sur l'estimation de la génération de flux de caisse du projet quant à sa capacité pour assurer le paiement de la dette. D'autres modèles d'évaluation du risque de crédit, appelés « modèles structurels » – comme KMV – sont basés sur la théorie des choix, se concentrant à estimer si la valeur des actifs à la fin de la période d'expiration de la dette est ou n'est pas supérieure à la valeur de la dette. Cette étude analyse les différences entre ces deux modèles dans la mesure du risque de crédit. Les résultats obtenus montrent que la méthodologie KMV arrive à des probabilités de non paiements inférieurs à la méthode *Projet Finance*. En outre, les fonctions de distribution de probabilité de non paiements de chaque méthode sont très différentes. Finalement, une analyse est effectuée sur la convenance de l'utilisation de l'une ou l'autre méthodologie.

mots-clés: PPP (*public-private-partnership*), projet finance, modèles structurels de risque de crédit, financement structuré, KMV, théorie de choix.

resumo

Modelização do risco de crédito em projetos de infra-estruturas

A avaliação do risco de crédito nos projetos de infra-estruturas tem se baseado geralmente na metodologia *Project Finance*, que se enfoca em estimar se a geração dos fluxos de caixa do projeto é capaz de garantir o pagamento da dívida.

Outros modelos de avaliação de risco de crédito chamados "modelos estruturais" – como KMV – estão baseados na teoria de opções e se enfocam em estimar se o valor dos ativos ao final do período de vencimento da dívida é ou não superior ao valor da dívida.

Este estudo pretende analisar as diferenças de ambos modelos na medição do risco de crédito. Os resultados conseguidos mostram que a metodologia KMV obtém umas probabilidades de inadimplência muito inferiores às do método *Project Finance*. Além disso, as funções de distribuição de probabilidade de inadimplência de ambas metodologias são muito distintas. Finalmente, analisamos em que hipóteses é mais conveniente utilizar uma ou outra metodologia.

palavras chave: PPP (*parceria público-privada*), *project finance*, modelos estruturais de risco de crédito, financiamento estruturado, KMV, teoria de opções.

* Doctor en Economía y Empresariales, Universidad Complutense de Madrid. MBA, Universidad de Chicago. Profesor, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Complutense de Madrid, España.

Correo electrónico:
aragones.jr@ccee.ucm.es

** Doctor en Economía y Empresariales. Universidad Complutense de Madrid. MBA, Universidad de Nebraska, Lecturer en la Universidad de California, Berkeley.

Correo electrónico:
carlos@blackswanrisk.com

*** MBA, IESE, Barcelona.

Correo electrónico:
finiesta@gruposyv.com



Aragonés, J.R., Blanco, C. & Iniesta, F. (2009). Modelización del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras. *Innovar*, 19(35) 65-80.

Clasificación JEL: G32, M48.

Recibido: octubre de 2008.

Aprobado: agosto de 2009.

Correspondencia: José Aragonés. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Complutense de Madrid. Campus de Somosaguas. 28223 Madrid, España.

Introducción

En los últimos años ha habido un gran incremento de proyectos de infraestructuras desarrollados mediante las fórmulas PPP (*public-private-partnership*) o contratos de cooperación entre entes públicos y privados, en virtud de los cuales el sector privado participa en el diseño, la construcción, financiación y gestión de infraestructuras de titularidad pública. Una tipología de proyectos PPP son los proyectos BOT (*building, operating and transfer*), en los cuales el operador privado, tras construir y operar la infraestructura durante un tiempo determinado, revierte la infraestructura de forma gratuita a la Administración al final del periodo de concesión (Garvin y Cheah, 2004).

Las inversiones en proyectos de infraestructuras tienen dos características importantes que las distinguen de otros tipos de inversiones: un alto nivel de especificidad de los activos, y riesgos específicos que no pueden ser diversificados en los mercados financieros (Mascareñas, Lamothe, López Lubián y Luna, 2004).

Estas dos características hacen que la evaluación del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras se centre habitualmente en estimar si la capacidad de los flujos de caja del proyecto es capaz de asegurar el pago de la deuda. Este esquema es el que sigue la metodología *Project Finance* para la evaluación del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras con financiación de entidades privadas, a través de préstamos vinculados directamente al proyecto, con base en su capacidad de generación de flujos de caja, sin que exista recurso a la sociedad matriz (Yescombe, 2002).

Sin embargo, otros modelos de evaluación de riesgo de crédito, como los “modelos estructurales” –desarrollados para evaluar el riesgo de crédito de la inversión en valores que cotizan en mercados financieros– siguen una metodología diferente. Estos modelos, como el desarrollado por KMV, están basados en la teoría de opciones, y se concentran en estimar si el valor de los activos al final del periodo de vencimiento de la deuda es superior o no al valor de la deuda. Según estos modelos, el riesgo de crédito, medido como valor de los activos en comparación con el valor de la deuda, es más relevante que las mediciones de riesgo de impago basadas en estimar la posibilidad de que en un momento dado los flujos de caja generados por la empresa sean suficientes o no para pagar el servicio de la deuda (Crouhy, Galai y Mark, 2000).

La aplicación de KMV a empresas que no cotizan en mercados financieros presenta una serie de limitaciones. Al estar el modelo KMV basado en la teoría de opciones, estas limitaciones son similares a la aplicación de la metodología de valoración de opciones financieras a la valoración de proyectos mediante opciones reales.

Estas limitaciones se deben a que la teoría de valoración de opciones se sustenta en que es posible construir una cartera que replique los flujos de caja generados por la opción por valorar, lo que se realiza adquiriendo el activo subyacente y prestando o endeudándose al tipo de interés sin riesgo.

Sin embargo, resulta prácticamente imposible encontrar un activo de réplica para gran parte de las inversiones reales, cuyos flujos de caja se correspondan totalmente con el proyecto objeto de estudio (Copeland y Antikarov, 2001). Eso también explica que los proyectos de infraestructuras tengan riesgos específicos que no pueden ser diversificados.

Estas limitaciones, no obstante, no invalidan la aplicación de la metodología de opciones reales o la metodología KMV a la valoración de proyectos de inversión. Como señalan diversos estudios, como el elaborado por Mascareñas et ál. (2004), se pueden valorar activos reales mediante la adaptación de la metodología de valoración de las opciones financieras aplicada a las opciones reales.

En la primera serie de modelos tipo *Project Finance* la situación de impago sucede cuando unos determinados ratios que relacionan el pago de la deuda y los flujos del proyecto –como los ratios de cobertura de intereses y del servicio de la deuda– caen por debajo de un determinado nivel (Dailami, Lipkovich y Van Dyck, 1999), mientras que en el segundo tipo de modelos, como el de KMV, la situación de impago se produce cuando el valor de los activos de la empresa se sitúa por debajo del valor de la deuda (Vasicek, 1984).

Este estudio pretende analizar las diferencias entre los resultados conseguidos a partir de la utilización de los dos modelos anteriores –el *Project Finance* que se centra en los flujos de caja, y el KMV que se basa en el valor de los activos– para evaluar el riesgo de crédito que soportan los prestamistas que otorgan la financiación de un determinado proyecto de concesión de infraestructuras.

La finalidad de este estudio es evaluar el riesgo de crédito aplicado a la financiación de un proyecto de infraestructuras concreto, que es la construcción y explotación de una terminal portuaria de contenedores mediante un contrato de concesión.

En el siguiente apartado se hace una revisión bibliográfica sobre la evolución de la medición del riesgo de crédito en el contexto de los proyectos de infraestructuras y una descripción de las variables principales que determinan el proyecto de infraestructuras usado como ejemplo para la comparación de las metodologías analizadas en este estudio. En los apartados 2 y 3, se realiza una es-



timación del riesgo de crédito del proyecto utilizando la metodología *Project Finance* y la metodología de valoración de opciones de KMV, respectivamente. En el apartado 4 se comparan los resultados de ambos modelos y, finalmente, en el apartado 5 se presentan las conclusiones, en donde se analizan las ventajas y limitaciones de cada modelo, y bajo qué supuestos los resultados de un modelo pueden resultar más relevantes que el uso del otro modelo.

Por último, es preciso señalar que el artículo pretende analizar la probabilidad de impago, sin entrar a cuantificar la posible magnitud de la pérdida esperada (o *expected loss*) en el caso de que se produzca tal situación.

1. Metodología y descripción del proyecto

Desde los primeros modelos de valoración de opciones desarrollados por Black y Scholes (1973) y Merton (1974), se ha avanzado mucho en el desarrollo de modelos de evaluación del riesgo de crédito basados en la teoría de opciones. Cabe mencionar los modelos de evaluación del riesgo de crédito, como CreditMetrics, desarrollado por J. P. Morgan (Gupton, Finger y Bhatia, 1997), CreditRisk+ de Credit Suisse (Dullmann y Trapp, 2004; Martin, 2004) y KMV CreditMark de Moody's (McAndrew, 2004; Zeng y Zhang 2001), así como numerosos estudios relacionados con la medición del riesgo de crédito (Delianedis y Geske, 1998; Gordy, 2000; Duffie y Singleton 2003; Hamerle y Rösch, 2003; Lando, 2004).

Sin embargo, como se ha indicado previamente, la aplicación de estos modelos se ha limitado en su mayoría a la gestión del riesgo de crédito en carteras de inversión y activos financieros que cotizan en el mercado de capitales, siendo escasa su aplicación a la evaluación del riesgo de crédito en proyectos de infraestructuras.

Aunque en los últimos años, a través del desarrollo de las opciones reales se ha avanzado considerablemente en la evaluación del riesgo de crédito de proyectos de infraestructuras (Esty, 1999; Chiara, 2006), son muy escasos todavía los estudios que desarrollan la aplicación de modelos estructurales de riesgo de crédito aplicados a proyectos de infraestructuras.

Para realizar la comparación de las metodologías señaladas en proyectos de infraestructura, nos centraremos en la concesión de una terminal portuaria de contenedores mediante la fórmula BOT (*building, operating and transfer*) ya mencionada. Esto es, el concesionario realizará la inversión inicial, operará la infraestructura durante un determinado periodo de tiempo, y al final del periodo de concesión traspasará la infraestructura a la Administración.

La terminal portuaria incluye la realización de una importante inversión inicial por parte del concesionario en obra civil para la habilitación de las explanadas y la construcción de edificios, y en la compra e instalación de equipos para la operación de los contenedores durante todo el periodo de concesión.

El periodo previsto para la habilitación de la terminal por parte del concesionario y la instalación de los equipos (grúas portacontenedores, maquinaria de explanada...) es de dos años, con una inversión inicial estimada de unos 300 millones de euros.

Por su parte, el periodo de explotación de la terminal es de 35 años, al final del cual expirará la concesión y el espacio de la terminal, y todos los elementos fijos en ella revertirán de forma gratuita a la autoridad portuaria.

Durante ese periodo de explotación, el plan de negocio del concesionario contempla procesar unos volúmenes de tráfico de contenedores (medidos en TEU, *twenty-feet equivalent units*); estos generarán unos ingresos que servirán para cubrir el pago de la deuda derivada de la inversión inicial, los costes de operación de la terminal, el pago de las tasas portuarias y la obtención de una rentabilidad para los accionistas de la sociedad concesionaria.

Variables principales del proyecto

Los flujos de caja futuros del proyecto –y con ello la valoración de los activos del proyecto– vienen determinados por una serie de variables que se recogen en el plan de negocio del concesionario.

Los principios básicos sobre el diseño de proyectos de infraestructuras enseñan que se han de atribuir los riesgos específicos del proyecto a las partes que mejor lo pueden absorber, como por ejemplo traspasar el riesgo de construcción a la empresa constructora encargada de realizar la obra (contratos *llave en mano*) o los riesgos de fluctuación de tipos de interés a las entidades financieras. El concesionario se queda con aquellos riesgos que no puede traspasar y sobre los que puede influir mediante su gestión, como el riesgo de tráfico, el nivel tarifario o los costes de explotación.

A continuación se explican cuáles son las variables principales del plan de negocio del concesionario (tráfico, capex, ingresos, costes de operación, etc.), así como el nivel de incertidumbre sobre las mismas:

- El concesionario cuenta con un contrato *llave en mano* de construcción, que incluye la obra civil y la compra de equipos por un importe total de 300 millones de euros, de forma que el concesionario se asegura que no se produzcan sobrecostes en la inversión inicial, y



en su caso, recibir el pago de indemnizaciones si se presentan retrasos en la construcción de la terminal, por lo que los riesgos de coste y plazo de construcción de la terminal han sido transferidos mediante un contrato *llave en mano* a la empresa constructora.

Las inversiones en equipos durante el periodo de explotación –tanto para la renovación de equipos que han llegado al final de su vida útil, como para la compra de nuevos equipos para aumentar la capacidad de la terminal– se realiza con los flujos de caja generados por el propio proyecto, sin contratar deuda adicional.

- Las tarifas portuarias máximas están reguladas por la autoridad portuaria, y el concesionario ha realizado además un análisis muy detallado del nivel de tarifas comerciales e ingresos por los distintos servicios portuarios (carga, descarga, estiba, desestiba, transporte horizontal y ocupaciones) para los diferentes tipos de tráfico (contenedores *import/export*, trasbordo *hub&spoke* y *relay*), con lo que el concesionario no espera que pueda haber desviaciones significativas en el ingreso promedio por TEU contemplado en su plan de negocio.
- Los costes de explotación de la terminal han sido minuciosamente estudiados por el concesionario, gracias a un análisis de los costes actuales de operación en el puerto. La parte principal de los costes de explotación (salarios de los estibadores, tasas portuarias por TEU, suministros) son variables y están directamente relacionados con el nivel de tráfico, aunque una parte de los costes (personal del concesionario, mantenimiento de equipos, IBI, tasas portuarias por ocupación de espacio público, gastos generales) es fija.
- La inversión inicial se financia mediante capital en 50 millones de euros y con un préstamo bancario de 250 millones de euros con garantía sobre los flujos del proyecto, y sin recurso a los accionistas. La rentabilidad exigida por los accionistas, dado el perfil de riesgo de la empresa, es del 10%¹. Las condiciones de la deuda son un plazo de 22 años con 4 años de carencia de devolución del principal desde la primera disposición. El interés del préstamo tiene como tipo base la curva del euribor, más un *spread*

del 0,60%. El sistema de amortización del préstamo se determina con base en unos ratios mínimos de cobertura del servicio de la deuda². La tasa impositiva sobre los beneficios es de 30%.

El coste de financiación de la deuda del proyecto está cerrado a través de un *swap* de tipos de interés, con lo que el coste de la financiación para el concesionario está asegurado, salvo que se produzca alguna situación de impago de la deuda, en cuyo caso la empresa tendría que afrontar costes adicionales.

- El riesgo de proyecto más relevante que soporta el concesionario es el riesgo de tráfico de contenedores. El volumen del tráfico de contenedores depende de los contratos con las navieras. Una parte de ese tráfico se considera que es muy estable, y se corresponde con contenedores *gateway* (exportaciones e importaciones) vinculados al *hinterland* del puerto (la variable principal que determina este tráfico *gateway* es el comercio exterior marítimo derivado de la actividad económica de la región del puerto). Pero otra parte, el tráfico correspondiente a los contenedores de *trasbordo* (o *transshipment*) puede ser muy volátil, y depende de las decisiones de las navieras sobre en qué puertos decide ubicar sus actividades logísticas para el intercambio de mercancías entre grandes buques portacontenedores transoceánicos (contenedores *relay*) y entre líneas transoceánicas y otros buques más pequeños que sirven líneas *feeder* con otros puertos más pequeños (contenedores *hub&spoke*).

Para las proyecciones de tráfico se realizó un estudio de mercado con tres escenarios (optimista, pesimista y base o más probable) para cada tipo de tráfico: *import/export*, *relay* y *hub&spoke*.

Funciones de distribución de las proyecciones de tráfico

Como se vio anteriormente, todos los elementos del plan de negocio del concesionario tienen dentro del modelo un valor fijo, salvo el volumen de contenedores de cada tipo de tráfico (*import/export*, *relay* y *hub&spoke*), para los que se realizó un estudio de mercado con tres escenarios posibles (optimista, pesimista y base o más probable).

En los gráficos 1 a 3 se muestran las tres proyecciones de tráfico y los escenarios considerados:

¹ La estimación de la tasa del coste de capital de la terminal portuaria se realizó utilizando valores de referencia aplicados a las valoraciones de empresas de infraestructuras en España. El valor del 10% del coste de capital se corresponde con los valores estimados en 2007 y 2008. En relación con otros estudios sobre la materia, el valor del coste de capital en España se sitúa entre el coste de capital para terminales portuarias en Estados Unidos (6%) y Argentina (19%).

² Las condiciones de deuda utilizadas (que coinciden con las hipótesis del estudio de viabilidad del proyecto) son 22 años de plazo con 4 años de carencia del principal, un ratio de apalancamiento del 17% y un *spread* sobre el euribor de 60 p.b. Estas hipótesis se corresponden con las condiciones en las que las entidades financieras financiaban los proyectos de infraestructuras en España en los años 2006 y 2007, antes de la crisis financiera.



GRÁFICO 1. Proyecciones de tráfico *import/export*

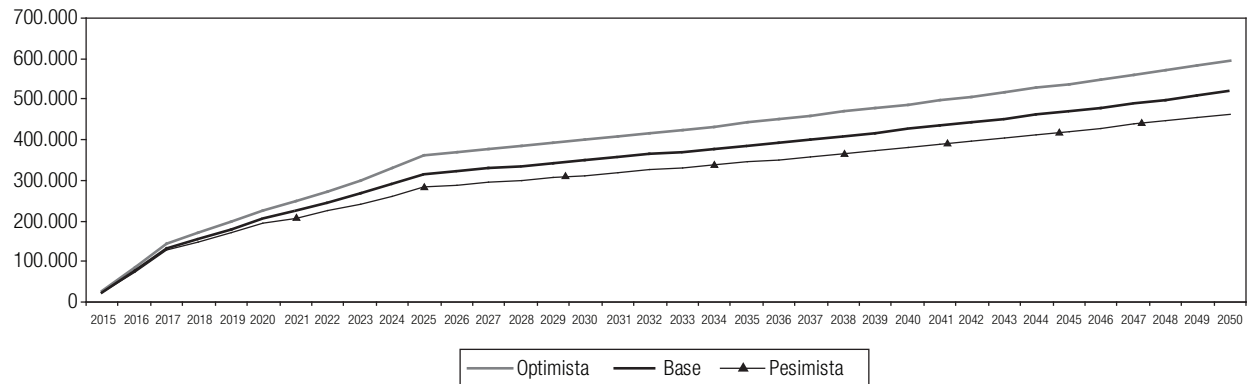


GRÁFICO 2. Proyecciones de tráfico *Hubs&Spoke*

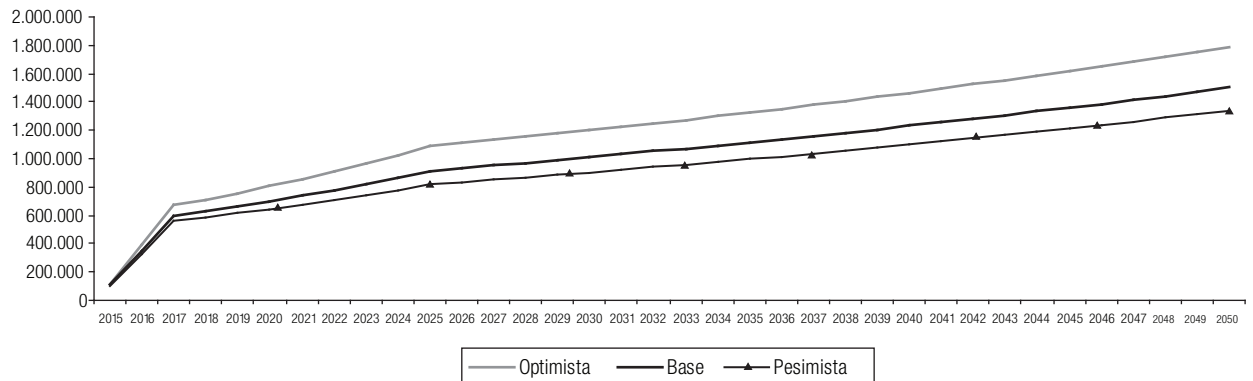
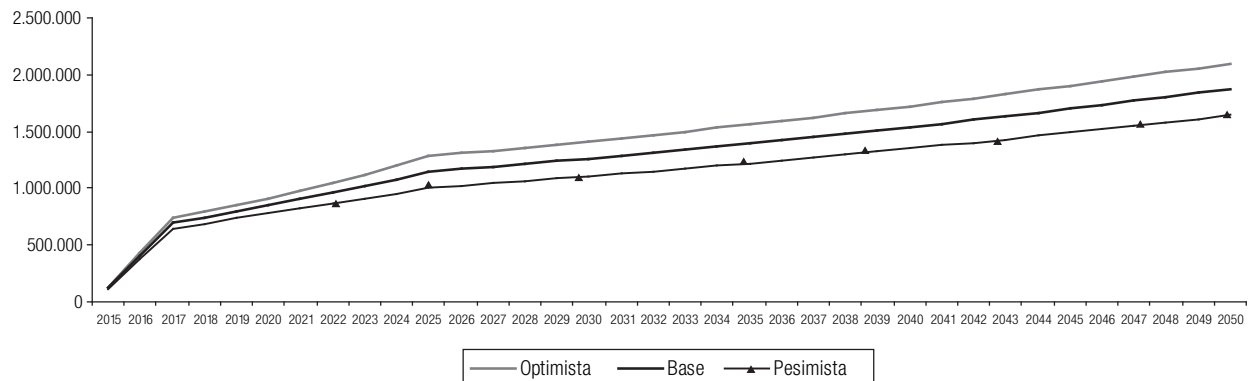


GRÁFICO 3. Proyecciones de tráfico *relay*



A partir de las proyecciones de tráfico anteriores, se hizo una estimación de la distribución de probabilidad de cada uno de los tres tipos de tráfico, utilizando para ello una función de distribución *beta*.

En el gráfico 4 se muestra el valor esperado de la distribución *beta* para cada tipo de tráfico, para cada año de concesión:

A partir de los valores de las medias de la distribución *beta* para cada uno de los años, se estimó la tasa de crecimiento anual (r) para cada tipo de tráfico.

Aplicando el teorema central del límite, se puede establecer que las proyecciones de tráfico son un proceso estocástico que sigue un movimiento geométrico browniano, el cual se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$V(t+1) = V(t) + r \cdot V(t) + \sigma V(t) \cdot N(0,1) \quad (1)$$

A partir de la anterior ecuación se puede utilizar Montecarlo para hallar una función de distribución del nivel de tráfico, generando de forma aleatoria una secuencia de valores. En el gráfico 5 se muestra, como ejemplo, la función de distribución del volumen total de tráfico a lo

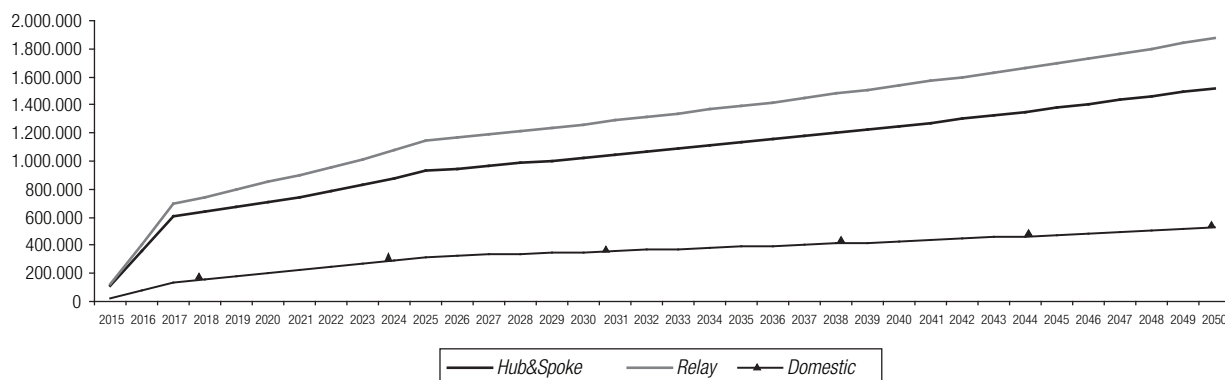
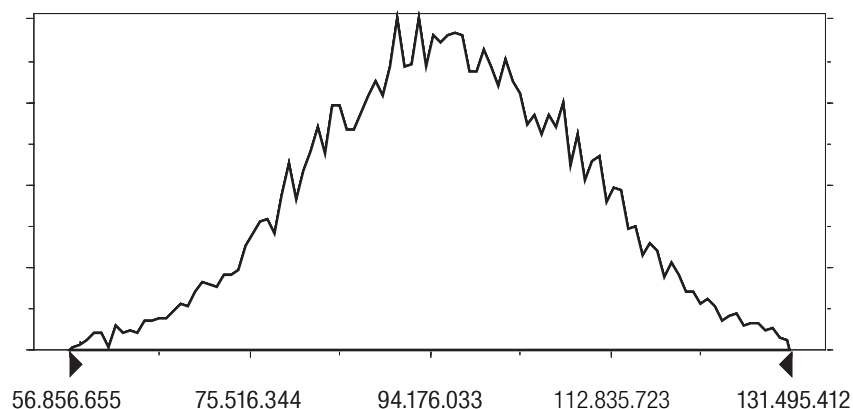
GRÁFICO 4. Valor esperado de la distribución *beta*

GRÁFICO 5. Distribución del volumen total de tráfico



Trials	10000
Mean	1,04
Median	1,04
Standard Deviation	0,04
Skewness	-0,16
Kurtosis	2,68
Range Minimum	0,89
Range Maximum	1,18
Range Width	0,30

largo de toda la concesión utilizando 10.000 operaciones aleatorias.

La función de distribución del nivel de tráfico (que es el *input* principal del modelo, y es la variable sobre la que existe un mayor nivel de incertidumbre) determina el comportamiento global del modelo. Variables como el VAN del proyecto o el ratio de cobertura del servicio de la deuda tendrán su propia función de distribución de probabilidad asociada a las funciones de probabilidad de los *inputs* del modelo.

Es preciso señalar que las distribuciones de probabilidad de las variables fundamentales del modelo (el tráfico de contenedores) son comunes a ambos modelos de riesgo de crédito (Project Finance y KMV), de modo que las posibles diferencias sobre la medición del nivel de riesgo de crédito se deberán al distinto enfoque metodológico de cada modelo, y no a distintos valores de las variables fundamentales del modelo.

2. Estimación del riesgo de crédito con KMV

Los modelos estructurales de riesgo de crédito como KMV se concentran, no en el análisis de los flujos de

caja del proyecto y del servicio de la deuda, sino en analizar la evolución de la valoración de los activos de la empresa (Giesecke, 2004). En este segundo tipo de modelos, la situación de impago se produce cuando el valor de los activos de la empresa se sitúa por debajo del valor de la deuda.

Según la teoría de opciones, la capacidad de una empresa de pagar la deuda no depende de la evolución de sus flujos de caja futuros, sino de la evolución futura del valor de sus activos. En lo que se basa esta teoría es en que el valor de los activos no depende de la estructura y composición del pasivo. Lo que cambia es simplemente la división de la propiedad de esos activos. Incluso en un proceso concursal o de bancarrota, lo que se produce es simplemente una transferencia de la propiedad de la empresa de los accionistas a los acreedores.

Como los accionistas están interesados en que no se produzca una situación de bancarrota, siempre estarán dispuestos a pagar la deuda aunque sea vendiendo una parte de los activos, porque en caso contrario perderán el control de la compañía. Si el valor total de la compañía es superior al valor de la deuda, los accionistas pagarán la



deuda aunque no haya suficiente caja y deban proceder a vender parte de los activos de la empresa.

La situación de impago de la deuda se produciría entonces cuando el valor de sus activos cae por debajo del valor de la deuda. En ese caso los accionistas perderían el control de la empresa, y los acreedores asumirían la propiedad de los activos. Por tanto, el auténtico riesgo de crédito para los acreedores se produciría cuando el valor de los activos es inferior al valor de la deuda, porque en ese caso los acreedores sólo recuperarían una porción del valor de sus préstamos.

En sentido estricto, en la estimación del riesgo de crédito también influye el plazo de vencimiento de las distintas deudas. Si el valor de los activos es menor que la deuda que aún no ha llegado a su vencimiento, la empresa podrá seguir operando. Sin embargo, en los contratos de financiación de proyectos hay un elevado número de cláusulas (por ejemplo, el no alcanzar unos determinados ratios de cobertura) que permiten a los prestamistas ejercer de forma anticipada la devolución del préstamo. Por eso, en este tipo de proyectos, se considera más oportuno comparar el valor de los activos de la empresa con el valor de la deuda pendiente, haya llegado o no a su vencimiento.

De acuerdo con la metodología KMV, los tres elementos principales que determinan la probabilidad de impago (*default*) de una empresa son (Crosbie y Bohn, 2003):

- *Valor de los activos*: el valor de mercado de los activos de una empresa concesionaria se mide por el valor actual de los flujos de caja futuros que se espera genere el proyecto, descontados a la tasa de descuento adecuada.
- *Riesgo de los activos*: está en función del nivel de incertidumbre de los flujos de caja futuros que generará el proyecto.
- *Nivel de endeudamiento*: medido como el valor nominal de la deuda entre el valor de mercado de los activos de la empresa.

El riesgo de impago aumenta conforme el valor de los activos se aproxima al valor nominal de la deuda. La situación o punto de impago (*default point*) en KMV se produce cuando el valor neto de la empresa (valor de mercado de los activos menos el valor nominal de la deuda) alcanza el valor cero.

El valor de mercado de los activos, el nivel de apalancamiento y el nivel de riesgo de los activos se pueden combinar en una única medida de riesgo de impago. KMV

estima un índice llamado *distance-to-default* (DD), que compara el valor neto de la empresa (valor mercado activos menos valor nominal deuda) al tamaño de un movimiento de una desviación estándar en el valor de los activos.

La medida DD se correspondería con el número de desviaciones estándar a las que la empresa se encontraría con respecto a la situación de impago (*default point*).

$$Distance-to-default = \frac{\text{Valor mercado activos} - \text{Default point}}{\frac{\text{Valor mercado activos}}{x} \times \text{Volatilidad del activo}} \quad (2)$$

La probabilidad de impago, que en KMV se denomina *expected default frequency*, puede ser calculada directamente a partir de la distancia al punto de impago.

Para la determinación de la probabilidad de impago, KMV sigue un procedimiento de tres pasos: estimar el valor y la volatilidad de los activos, calcular el punto *distance-to-default* y, finalmente, con base en la distancia al punto de impago, se estima la probabilidad de impago.

Estimación del valor y volatilidad de los activos

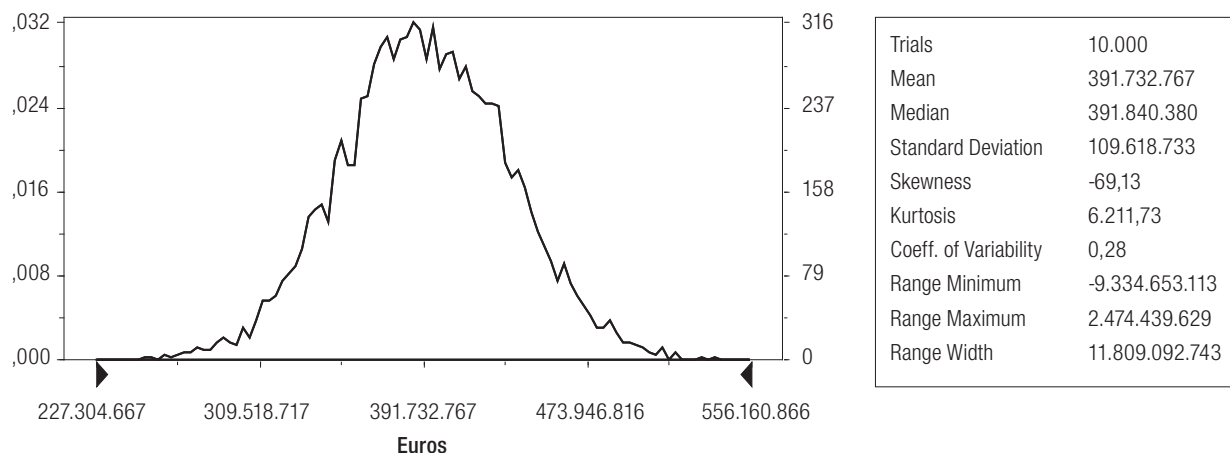
En el presente estudio, al tratarse de un BOT (*building-operating-transfer*), el valor de los activos se corresponderá con el valor actual esperado de los flujos de caja que generen esos activos hasta el final del periodo de concesión, puesto que al final del periodo de concesión la infraestructura (principal activo del concesionario) reierte a la Administración, que será libre para volverla a concesionar u operar por sí misma.

Por tal razón, como variable para medir el valor de los activos se ha utilizado el VAN del flujo de caja libre del proyecto en cada uno de los años de concesión. El VAN del flujo de caja libre se ha estimado –conforme a los criterios de valoración de empresas– descontando los flujos de caja futuros a la tasa del coste del capital medio ponderado o WACC³.

³ El WACC se ha calculado para cada año de operación a partir de los valores de Recursos Propios y Deuda pendiente de amortizar en el Balance de la sociedad concesionaria. Debido a la amortización de la deuda, el WACC va aumentando cada año hasta igualarse en los últimos años al coste del capital cuando se devuelve por completo la deuda del proyecto. Sin embargo una cuestión discutible es si resultaría más apropiado, en el caso de la medición del riesgo de crédito, utilizar el coste de la deuda en vez del WACC como tasa de descuento del flujo de caja libre. Ya que en los contratos de financiación hay una clara prevalencia del pago de la deuda sobre el pago de dividendos, en la distribución de la caja disponible.



GRÁFICO 6. Función de distribución del VAN para flujos de caja libre en el año 2016



La volatilidad del tráfico de contenedores depende de las estimaciones realizadas por el estudio de demanda. El estudio de demanda determinó los distintos escenarios (optimista, base y pesimista) para cada tipo de tráfico (*import/export*, *hub&spoke* y *relay*). En el caso del proyecto objeto del estudio, el estudio de demanda de la terminal fue realizado por una consultora británica especializada en el sector marítimo.

En el gráfico 6 se muestra, como ejemplo, la función de distribución utilizando Montecarlo del VAN en el año 2016 de los flujos de caja libre del proyecto, junto con los principales parámetros estadísticos asociados.

La media de la distribución de probabilidad sería el valor de los activos en ese año, y la desviación estándar de la distribución se correspondería con la volatilidad del valor del activo. De este modo, a partir de la simulación de Montecarlo, se obtienen dos de los tres elementos principales de la metodología KMV para estimar la probabilidad de impago. El tercer elemento sería el nivel de endeudamiento, que se determinaría a partir del valor nominal de la deuda.

Cálculo del punto *distance-to-default*

La medida *distance-to-default* (DD) se calculó estimando la función de distribución del valor del activo en el horizonte de evaluación, la volatilidad del valor del activo y el punto de impago.

El número de desviaciones estándar en que se encuentra el punto de impago (*default point*) con respecto a la media de la función de distribución del valor del activo, es la medida *distance-to-default* (DD) de la empresa con respecto a la situación de impago.

En el gráfico 7 se muestra la función de distribución del VAN de la empresa (el valor de los activos) al tercer año

del inicio de la concesión (2016) y su distancia con respecto al valor nominal de la deuda (el punto de impago). En este caso, en el tercer año de concesión, la sociedad concesionaria se encuentra a 1,28 desviaciones estándar del punto de impago.

El *default point* sería el valor de la deuda en 2016, que es 251.310.195; la *distance-to-default* sería 140.422.572, que es la diferencia entre el *default point* y la media (391.732.767), y el cociente entre la *distance-to-default* y la desviación estándar (109.618.733) sería 1,28.

En la tabla 1 aparece la estimación del *distance-to-default* en el periodo 2016-2020, que son los años en que mayor es la probabilidad de impago de la deuda por parte del concesionario. El valor de la deuda aumenta en los primeros años por la compra de nuevos equipos para incrementar la capacidad de la terminal.

Estimación de la probabilidad de impago o *expected default frequency*

Para el cálculo de las probabilidades de impago (o *expected default frequency*, EDF), KMV cuenta con bases de datos históricos que relacionan los valores DD con probabilidades de impago para un horizonte de tiempo determinado. Por ejemplo, una estimación de KMV podría ser que entre la población de todas las empresas que tienen una DD de 4 desviaciones estándar, hay tan sólo un 0,4% (o 40 bp) de las empresas que entran en situación de impago un año después.

Una alternativa al uso de bases de datos históricas es utilizar una función de distribución estándar para el cálculo de la probabilidad de impago dada una determinada *distance-to-default*. En el presente estudio se ha optado por utilizar la función normal estandarizada para calcular la probabilidad de impago asociado al número de desviaciones estándar (o *distance-to-default*) del punto de



GRÁFICO 7. Función de distribución del VAN en el tercer año del inicio

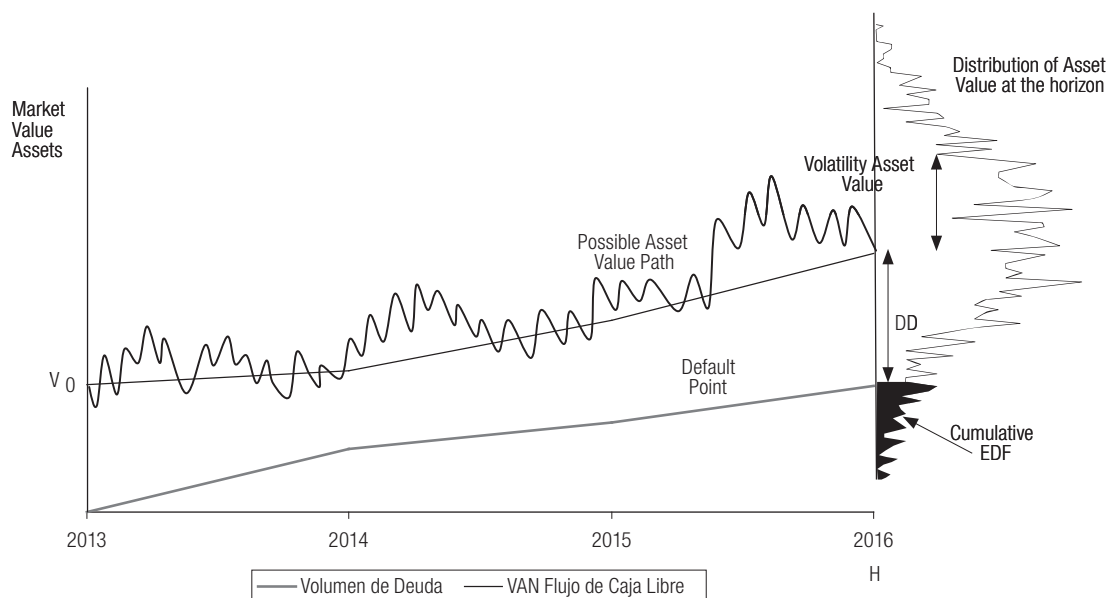


TABLA 1. *Distance-to-default*

	2016	2017	2018	2019	2020
Valor deuda	251.310.195	262.689.250	272.730.896	284.505.969	296.901.454
Media	391.732.767	446.160.565	456.854.786	467.799.306	474.472.683
Desviación estándar	109.618.733	114.825.996	119.847.115	124.256.982	128.022.667
Distance-to-default (Nº desviaciones estándar)	1,28	1,60	1,54	1,48	1,39

TABLA 2. *Distance-to-default, probabilidad y frecuencia*

	2016	2017	2018	2019	2020
Distance-to-default (Nº desviaciones estándar)	1,28	1,60	1,54	1,48	1,39
Probabilidad acumulada en caso de una N(0,1)	10,03%	5,48%	6,18%	6,94%	8,23%
Frecuencia de sucesos en % por debajo del default point en la simulación de Montecarlo (10.000 simulaciones)	0,27%	0,22%	0,22%	0,23%	0,24%

impago con respecto a la media de la distribución. Hay que señalar que la curva de tráfico del modelo se estimó acorde a un movimiento geométrico browniano que sigue un proceso aleatorio conforme a una $N(0,1)$, con lo que no es extraño partir de la hipótesis de que la función de distribución de las variables resultantes del modelo se pareciesen, en principio, a la función de distribución del principal *input* del modelo, que es el que produce la variabilidad de los resultados del modelo.

En la tabla 2 aparecen los valores obtenidos de *distance-to-default* y la probabilidad asociada que le correspondería si la función de probabilidad de impago se comportase como una normal estándar. También se ha incluido la frecuencia o el número de eventos que se encuentran por debajo del *default-point*, observados en las 10.000 simulaciones realizadas con Montecarlo.

Como se puede observar, la probabilidad de impago asociada al número de desviaciones estándar (*distance-to-default*) es superior al número de eventos asociados a la simulación por Montecarlo. Por ejemplo, en 2016 para 1,28 desviaciones estándar, el valor asociado, si la función de distribución de probabilidad de impago se comportase como una $N(0,1)$, es de 10,03%. Sin embargo, en la simulación por Montecarlo sólo se obtuvieron 27 valores de 10.000 iteraciones en que el VAN del flujo de caja libre era inferior al valor de la deuda (esto es, 0,27% del total de observaciones).

Con lo anterior se puede concluir que la función de distribución asociada a la simulación por Montecarlo es muy diferente a una función de distribución normal. En el apartado 5 se analizan las razones que pueden explicar este fenómeno.

3. Estimación del riesgo de crédito con la metodología *Project Finance*

Los proyectos de infraestructuras requieren un gran volumen de inversión inicial para su construcción, y sin embargo los ingresos del proyecto se van generando a lo largo de todo el periodo de explotación, siendo habitualmente muy largo el periodo de recuperación (o *pay-back*) de la inversión.

Los modelos de estimaciones de riesgo de crédito sustentados en el análisis de flujos de caja, como la metodología *Project Finance*, basan la viabilidad del proyecto en analizar si los flujos de caja operativos del proyecto son suficientes para devolver el servicio de la deuda a tiempo (esto es, según el calendario establecido de devolución de la deuda con base en las proyecciones de flujos de caja del proyecto) y proporcionar una tasa de rentabilidad adecuada a los accionistas.

Desde la perspectiva del nivel de apalancamiento del proyecto, la metodología *Project Finance* se enfoca en determinar la capacidad del proyecto de pedir prestado, con base en dos ratios principales que relacionan el pago de la deuda y los flujos del proyecto: el ratio anual de cobertura de los intereses, y el ratio anual de cobertura del servicio de la deuda.

En estos modelos la situación de impago sucede cuando los ratios de cobertura de intereses y del servicio de la deuda caen por debajo de un determinado nivel.

Desde el punto de vista del prestamista, el criterio fundamental es que la probabilidad de alcanzar las coberturas no sea menor que un determinado nivel objetivo, dadas unas determinadas distribuciones de probabilidad.

$$\text{Cobertura intereses} = \frac{\text{EBITDA} - \text{Impuestos}}{\text{Pago de intereses}}; \quad \text{Prob} [\text{Cobertura intereses} < \alpha_1] = \varepsilon_1 \quad (3)$$

$$\text{Cobertura servicio deuda} = \frac{\text{EBITDA} - \text{Impuestos}}{\text{Devolución principal} + \text{Intereses}}; \quad \text{Prob} [\text{Cobertura servicio deuda} < \alpha_2] = \varepsilon_2 \quad (4)$$

En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos de los ratios de cobertura de intereses y ratios de cobertura del servicio de la deuda para todos los años de la vida de la deuda.

Como se puede observar, en el periodo entre 2016 y 2024 no hay amortización del principal de la deuda, siendo iguales el ratio de cobertura del servicio de la deuda y el ratio de cobertura de intereses.

En el gráfico 8 es posible visualizar la evolución del ratio de cobertura de intereses y del ratio de cobertura del servicio de la deuda:

Se puede apreciar que los años en que se alcanza un menor valor de los ratios de cobertura de intereses y del servicio de la deuda se dan entre 2016 y 2020; por eso se escogieron esos años para analizar el riesgo de crédito de los prestamistas.

El riesgo de crédito del proyecto de infraestructuras para los prestamistas se realizó haciendo proyecciones usando Montecarlo para hallar una función de distribución de probabilidad de los dos ratios anteriores.

Ratio de cobertura de intereses

A través del método de Montecarlo se puede calcular la probabilidad (ε_1) de que el ratio de cobertura de intereses esté por debajo de un determinado valor (α_1), a partir del cual se considera que la empresa está en una situación próxima al impago (o técnicamente, en situación de incumplimiento de los *covenants* fijados en el contrato de financiación):

$$\text{Prob} [\text{Cobertura intereses} < \alpha_1] = \varepsilon_1 \quad (5)$$

El valor (α_1) mínimo del ratio para que el concesionario pueda hacer frente al pago de intereses es 1. Cuando el ratio de cobertura de intereses se sitúa por debajo de 1, el concesionario no puede hacer frente a la totalidad del pago de los intereses con los ingresos generados en ese año.

TABLA 3. Ratios de cobertura del servicio de la deuda e intereses

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
EBITDA	13,5	16,2	17,2	21,0	25,2	30,0	34,4	39,4	47,0	53,0	57,8	62,4	66,4	73,1	78,4	84,4	91,5	97,7	104,1	112,6
EBITDA – Impuestos	13,5	16,2	17,2	21,0	25,2	30,0	34,4	39,4	47,0	53,0	57,8	62,4	66,4	72,2	68,7	73,5	78,5	82,9	87,7	94,1
Servicio deuda	12,8	14,4	15,1	15,7	16,5	17,2	17,6	17,6	17,6	33,3	32,7	35,1	28,2	31,2	21,9	37,3	42,2	41,0	42,3	45,2
Principal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,2	16,4	19,8	13,9	17,8	9,2	25,7	32,2	32,8	36,1	41,3
Intereses	12,8	14,4	15,1	15,7	16,5	17,2	17,6	17,6	17,6	17,1	16,4	15,3	14,4	13,4	12,7	11,7	10,0	8,1	6,2	3,9
Ratio cobertura servicio deuda	1,06	1,13	1,14	1,33	1,53	1,74	1,96	2,24	2,68	1,59	1,77	1,78	2,35	2,31	3,14	1,97	1,86	2,02	2,07	2,08
Ratio cobertura Intereses	1,06	1,13	1,14	1,33	1,53	1,74	1,96	2,24	2,68	3,10	3,54	4,07	4,63	5,37	5,42	6,30	7,84	10,17	14,21	23,83



GRÁFICO 8. Evolución del ratio de cobertura del servicio de la deuda y del de intereses

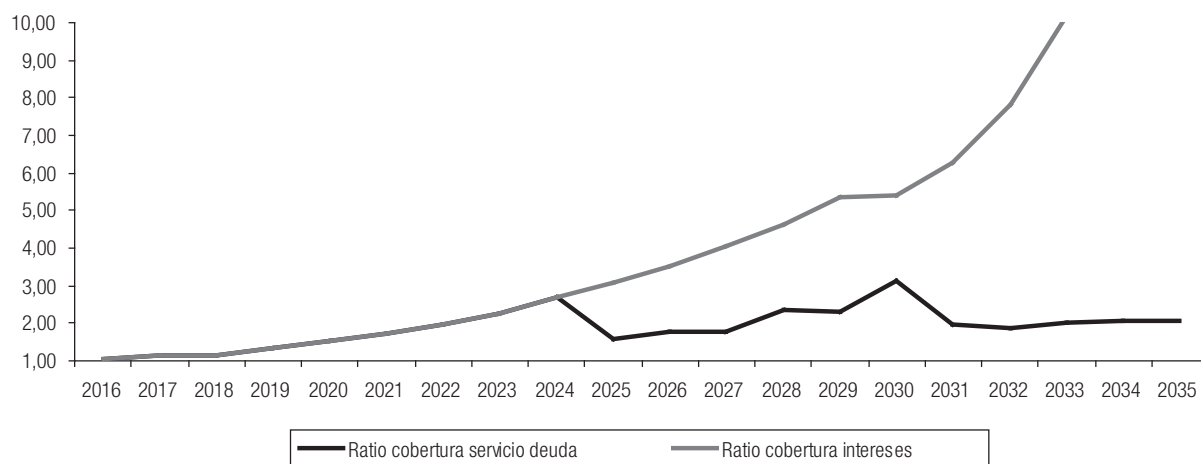
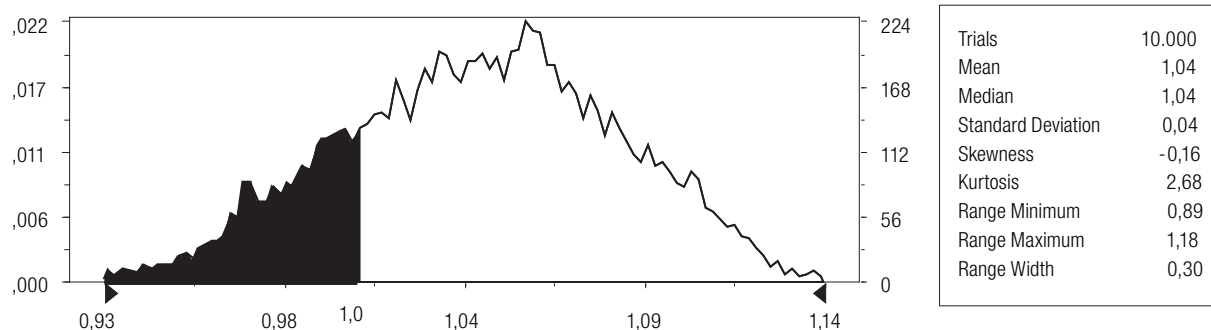


GRÁFICO 9. Distribución ratio de cobertura de intereses en 2016



En el gráfico 9 se muestra la distribución de probabilidad del ratio de cobertura de intereses en el año en que ese ratio alcanza su valor mínimo (en 2016). El área sombreada indica el valor del ratio de cobertura inferior a 1.

A partir de la curva de probabilidad, se obtiene que para un valor $\alpha_1 = 1$ (el nivel mínimo para que no haya situación de impago), la probabilidad de que el ratio de cobertura de intereses sea inferior a ese valor es de 17,49%; esto es, hay 1.749 valores de las 10.000 iteraciones realizadas con Montecarlo en que el valor del ratio de cobertura de intereses se sitúa por debajo de 1.

Otra forma de calcular la probabilidad de impago sería, al igual que en el modelo KMV, calcular el número de desviaciones estándar (*distance-to-default*) en que el valor del ratio de 1,00 se sitúa conforme a la media de la distribución, y posteriormente calcular la probabilidad de impago (*expected default frequency*) que le correspondería si la función de probabilidad de impago se comportase como una normal estándar.

Ratio de cobertura del servicio de la deuda

Igual que en el caso anterior, se puede obtener a través de Montecarlo la probabilidad (ϵ_2) de que el ratio de cobertura del servicio de la deuda esté por debajo de un determinado valor (α_2), a partir del cual se considera que la empresa está en una situación técnicamente de impago o de incumplimiento de los *covenants* del contrato de financiación:

$$\text{Prob} [\text{Cobertura servicio deuda} < \alpha_2] = \epsilon_2 \quad (6)$$

El valor (α_2) mínimo del ratio para que el concesionario pueda hacer frente al pago del servicio de la deuda es 1. Cuando el ratio de cobertura del servicio de la deuda se sitúa por debajo de 1, el concesionario no puede hacer frente a la totalidad del pago del servicio de la deuda con los ingresos generados en ese año.

Hasta el año 2025, en que se produce la primera devolución del principal de la deuda, los ratios de cobertura de intereses y del servicio de la deuda tienen el mismo valor y la misma función de distribución de probabilidad.



En la tabla 4 se recogen las probabilidades de impago durante 2016-2020, calculados como la probabilidad acumulada por debajo del punto de impago, medido como la frecuencia o número de eventos que se encuentran por debajo del *default-point*, observados en las 10.000 simulaciones realizadas con Montecarlo. También se ha incluido el número de desviaciones estándar (*distance-to-default*) y la probabilidad asociada que le correspondería si la función de probabilidad de impago se comportase como una normal estándar.

Como se puede observar, en los valores obtenidos con el ratio de cobertura de intereses la probabilidad de impago asociada al número de desviaciones estándar (*distance-to-default*) es incluso inferior al número de eventos asociados a la simulación por Montecarlo. Por ejemplo, en 2016 para 0,99 desviaciones estándar el valor asociado, si la función de distribución de probabilidad de impago se comportase como una $N(0,1)$, es de 16,11%. Y en la simulación por Montecarlo se obtuvieron 1.749 valores de 10.000 iteraciones en que el ratio de cobertura de intereses era inferior a 1 (esto es, 17,49% del total de observaciones).

De los valores de la tabla también se concluye que la mayor probabilidad de que el ratio de cobertura de intereses y del servicio de la deuda sea inferior a 1 se da en los años 2016, 2017 y 2018. En 2019 esa probabilidad se reduce a 3,20% y a 0,29% en 2020. A partir de 2020, la probabilidad de que el ratio sea inferior a 1 es casi nula, con lo que, conforme a la metodología *Project Finance*, la probabilidad de impago o incumplimiento del ratio se concentra en los tres primeros años de concesión.

4. Análisis comparativo de los resultados obtenidos con cada modelo

Al usar ambos modelos las mismas variables fundamentales que determinan la variabilidad del proyecto, la diferencia entre los resultados en la medición del riesgo de crédito se deberá al distinto enfoque metodológico.

Para el modelo *Project Finance*, lo más relevante para medir el riesgo de crédito es determinar si los flujos de caja que genera la empresa son suficientes o no para pagar los intereses y el servicio de la deuda de los créditos otorgados por los prestamistas. Bajo la metodología *Project Finance*, el riesgo de impago en un determinado año se definiría como la probabilidad de que el ratio de cobertura de intereses o del servicio de la deuda se sitúe por debajo de 1.

Según la teoría de opciones en la que se basa el modelo de KMV, el riesgo de crédito medido como valor de los activos en comparación con el valor de la deuda es más relevante que las mediciones de riesgo de impago basadas en estimar la posibilidad de que en un momento dado los flujos de caja generados por la empresa son suficientes o no para pagar el servicio de la deuda. Para la metodología KMV, el riesgo de impago se definiría como la probabilidad de que el valor de los activos se sitúe por debajo del valor de la deuda.

Estas son las principales diferencias metodológicas entre ambos modelos. A continuación se verá si esas diferencias de metodología conllevan también diferencias considerables en los resultados empíricos conseguidos respecto a la función de probabilidad de impago que resulta de aplicar cada modelo.

Como anteriormente se comentó, las distribuciones de probabilidad de las variables fundamentales del modelo (como el tráfico de contenedores), son comunes a ambos modelos de riesgo de crédito (*Project Finance* y KMV), de modo que las posibles diferencias sobre la medición del nivel de riesgo de crédito se deberán al distinto enfoque metodológico de cada modelo, y no a distintos valores de las variables fundamentales del modelo.

Como es en los primeros años de concesión del modelo cuando existe mayor riesgo de impago, el análisis del riesgo de impago y de la diferencia entre los dos modelos se concentra en los cinco primeros años completos,

TABLA 4. Probabilidad de impago en los años 2016-2020

	2016	2017	2018	2019	2020
Ratio mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Media	1,04	1,05	1,03	1,22	1,41
Desviación estándar	0,04	0,08	0,10	0,12	0,13
Número de desviaciones estándar	0,99	0,69	0,34	1,89	3,04
Probabilidad acumulada en caso de una $N(0,1)$	16,11%	24,51%	36,69%	2,94%	0,12%
Frecuencia de sucesos en % por debajo del <i>default point</i> en la simulación de Montecarlo (10.000 simulaciones)	17,49%	25,04%	38,27%	3,20%	0,29%



de 2016 a 2020, en que la concesión comienza su operación.

Probabilidades de impago de la deuda con la simulación de Montecarlo

En la tabla 5 se incluye la frecuencia de sucesos situados por debajo del punto de impago (o *default point*) derivados de la simulación de Montecarlo:

Como se muestra, el número de observaciones que se sitúa por debajo del punto de impago es mucho mayor en el caso de la metodología *Project Finance* (17,49% en 2016) que en KMV (0,27% en 2016). Es decir, la simulación de Montecarlo otorga una mucha mayor probabilidad de impago según el enfoque de *Project Finance*, que en el caso de KMV.

Ese fenómeno se puede deber a que el periodo de cola del proyecto es bastante largo: la deuda termina de pagarse completamente en 2036 y la concesión expira en 2050, habiendo un periodo de cola de 14 años, lo que hace que el riesgo de impago –considerando el valor de los activos, el cual tiene en cuenta los flujos de caja generados durante todo el proyecto– sea bastante menor al riesgo de impago utilizando el ratio de cobertura de intereses o el RCSD, el cual sólo considera los flujos de caja de un determinado año.

Medición del riesgo de impago en número de desviaciones estándar

Los resultados obtenidos sobre el riesgo de impago utilizando la metodología *Project Finance* y la metodolo-

gía KMV dan también diferentes medidas de riesgo en cuanto al número de desviaciones estándar (o *distance-to-default*) en que se encuentra el punto de impago con respecto a la media de la distribución (tabla 6).

La metodología KMV proporciona una mayor *distance-to-default* que en la metodología *Project Finance*, lo que es coherente con que la probabilidad de impago con la simulación de Montecarlo sea menor con la metodología KMV que con *Project Finance*.

Cabe señalar que en ambos casos aumentan con el tiempo, en los cinco años analizados, tanto el valor medio como la desviación estándar del VAN del flujo de caja libre y del ratio de intereses.

Funciones de distribución de la probabilidad de impago

Aunque las distribuciones de probabilidad de las variables fundamentales del modelo (como el tráfico de contenedores) son comunes a ambos modelos de riesgo de crédito (*Project Finance* y KMV), sin embargo, las distribuciones de probabilidad de impago derivadas de la simulación de Montecarlo de KMV y *Project Finance* son muy distintas entre sí.

Se resalta que la simulación de Montecarlo se realizó a partir de la curva de tráfico del modelo, que sigue un movimiento geométrico browniano conforme a un proceso aleatorio que sigue una $N(0,1)$, con lo que no sería extraño partir de la hipótesis de que la función de distribución de las variables resultantes del modelo se pareciesen en principio a la función de distribución del principal *input*

TABLA 5. Frecuencia de sucesos inferiores al punto de impago

Frecuencia de sucesos por debajo del punto de impago (<i>default point</i>) en la simulación de Montecarlo (10.000 simulaciones)	2016	2017	2018	2019	2020
Valor de los activos en relación con el volumen de deuda. Metodología KMV	0,27%	0,22%	0,22%	0,23%	0,24%
Ratio intereses y RCSD. Metodología <i>Project Finance</i>	17,49%	25,04%	38,27%	3,20%	0,29%

TABLA 6. *Distance to default* (número de desviaciones estándar)

<i>Distance-to-default</i>	2016	2017	2018	2019	2020
Metodología KMV					
Media VAN flujo caja libre	391.732.767	446.160.565	456.854.786	467.799.306	474.472.683
Desviación estándar	109.618.733	114.825.996	119.847.115	124.256.982	128.022.667
Valor deuda	251.310.195	262.689.250	272.730.896	284.505.969	296.901.454
Número de desviaciones estándar. Metodología KMV	1,28	1,60	1,54	1,48	1,39
Metodología <i>Project Finance</i>					
Media ratio intereses y RCSD	1,04	1,05	1,03	1,22	1,41
Desviación estándar	0,04	0,08	0,10	0,12	0,13
Ratio mínimo	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Número de desviaciones estándar. Metodología <i>Project Finance</i>	0,99	0,69	0,34	1,89	3,04



del modelo, que es el que produce la variabilidad de los resultados del modelo.

Sin embargo, cuando se calcula la probabilidad de impago (o *expected default frequency*) conforme al área que se situaría por debajo del *default point* de una función normal estandarizada, se obtiene que la función de distribución de probabilidad de impago con la metodología KMV es muy diferente a una normal estándar y a la función de probabilidad con la metodología *Project Finance*.

Al realizar un test de normalidad a las funciones de distribución de impago de KMV y *Project Finance*, se obtiene que la función de KMV está muy alejada de comportarse como una normal, mientras que la función de *Project Finance* sí tiene una función de distribución más parecida a una normal.

Una de las razones que explican por qué ambas metodologías tienen funciones de distribución muy diferentes, es que la metodología *Project Finance* es una medida anual, al igual que la estimación de tráfico, con lo que es lógico que ambas distribuciones de probabilidad sean parecidas.

Por otra parte, mientras que el VAN del flujo de caja libre de KMV tiene en consideración los flujos de caja de todos los años posteriores a la fecha de cálculo descontados al WACC estimado de cada año, a no estar basada la función de KMV en los flujos de caja de ese año, presenta un comportamiento muy distinto al de la curva de tráfico.

5. Conclusiones

El objetivo de este apartado es analizar las razones que explican las semejanzas y las diferencias entre los resultados en la estimación del riesgo de crédito conseguido con cada modelo, así como las ventajas y desventajas de utilizar cada modelo, y bajo qué supuestos los resultados

de un modelo pueden resultar más relevantes que el uso del otro modelo.

Semejanzas y diferencias entre ambos modelos

Las dos metodologías –KMV y *Project Finance*– pueden proporcionar funciones de distribución de probabilidad de impago muy diferentes, aunque ambas estén basadas en las mismas condiciones básicas del modelo y utilicen las dos la estimación del flujo de caja libre del proyecto en el cálculo de la probabilidad de impago.

De hecho, la aplicación del método KMV en el presente caso en que el valor de la empresa no sea inferior al valor de la deuda pendiente, es equivalente a la condición de que el ratio *project life cover ratio* (que se define como el VAN de los flujos de caja disponibles para la deuda a lo largo de todo el proyecto entre el principal pendiente de la deuda en el momento del cálculo) no sea nunca inferior a uno.

La principal diferencia entre ambos métodos reside en el distinto plazo temporal de los flujos de caja considerados en cada modelo. Mientras que el método KMV considera todos los flujos de caja a futuro del proyecto, el método *Project Finance* tiene en cuenta únicamente los flujos de caja del año analizado.

De forma resumida, se puede afirmar que el método *Project Finance* depende en gran medida del calendario temporal en que se ha estructurado la deuda del proyecto, en tanto que el método KMV es mucho más independiente del calendario de la deuda (que no del nivel de deuda) y se basa en los flujos de caja restantes en relación con el volumen de deuda pendiente.

Limitaciones en la medición del riesgo de crédito

En el caso del método *Project Finance*, tiene como limitación importante el hecho de basarse enormemente en las variables flujo de un determinado año y no considerar

TABLA 7. Frecuencia de sucesos inferiores al *default point*

	2016	2017	2018	2019	2020
Metodología KMV					
<i>Distance-to-default</i> (Nº desviaciones estándar)	1,28	1,60	1,54	1,48	1,39
Probabilidad acumulada en caso de una N(0,1)	10,03%	5,48%	6,18%	6,94%	8,23%
Frecuencia de sucesos en % por debajo del <i>default point</i> en la simulación de Montecarlo (10.000 simulaciones)	0,27%	0,22%	0,22%	0,23%	0,24%
Metodología <i>Project Finance</i>					
Número de desviaciones estándar	0,99	0,69	0,34	1,89	3,04
Probabilidad acumulada en caso de una N(0,1)	16,11%	24,51%	36,69%	2,94%	0,12%
Frecuencia de sucesos en % por debajo del <i>default point</i> en la simulación de Montecarlo (10.000 simulaciones)	17,49%	25,04%	38,27%	3,20%	0,29%



suficientemente el respaldo de la generación de flujos de caja excedentarios del proyecto en años futuros (o excedentes de caja retenidos en el balance).

La situación de impago que considera la utilización de los ratios de cobertura de intereses o del servicio de la deuda de *Project Finance* es evaluar si los flujos de caja generados en un año son suficientes o no para asegurar el pago de la deuda de ese año. Sin embargo podría ser que aunque ese año generara unos flujos de caja menores que el servicio de la deuda, el concesionario tuviera margen suficiente para pagar el servicio de la deuda a través de una línea de crédito que se repagaría con excedentes de caja de años futuros. El método KMV, al considerar todos los flujos de caja restantes hasta el final del periodo de la concesión, no presenta esa limitación.

No obstante, en casos de contratos de financiación muy rígidos, en los que la obligación del cumplimiento de un determinado valor del ratio de cobertura de intereses (o del servicio de la deuda) puede suponer contractualmente un supuesto de incumplimiento que conlleve la cancelación anticipada del préstamo, tiene más sentido utilizar el método *Project Finance* como una medición del riesgo de impago de la empresa.

Ventajas y desventajas de cada modelo

La principal ventaja del método KMV es la mayor flexibilidad que ofrece al evaluar la viabilidad financiera

del proyecto. Como el método KMV considera todos los flujos del proyecto, no se encuentra constreñido como el método *Project Finance* a una determinada estructura temporal de la deuda.

De este modo, el uso del método de KMV puede evitar el error de rechazar un proyecto que es financieramente viable en sí, pero que presenta un alto riesgo de crédito debido a una inadecuada estructuración del calendario del servicio de la deuda.

Además, en los proyectos en que el periodo de cola (número de años sin deuda que restan hasta el final de la concesión) es alto, el uso de la metodología *Project Finance* para medir el riesgo de impago a través de los ratios de cobertura de intereses o del servicio de la deuda resulta inadecuado, ya que si los flujos de caja de un determinado año son insuficientes para el repago de la deuda, la sociedad concesionaria podría solicitar una línea contingente de crédito para afrontar el pago que podría devolver en los siguientes años.

El método *Project Finance* depende enormemente sin embargo del calendario del servicio de la deuda en que se ha estructurado el proyecto. Cuando los activos de una empresa no son líquidos (como es habitual en los proyectos de infraestructuras) y el calendario de la deuda es una obligación contraída en firme por una empresa, puede tener sentido utilizar el método *Project Finance* ya que

proporciona información sobre la probabilidad de que la empresa pueda cumplir con el siguiente pago de la deuda que tiene comprometido.

Supuestos bajo los que conviene utilizar uno u otro modelo

La utilización del método KMV resulta más correcta cuando se pretende analizar la viabilidad financiera de un proyecto en una fase previa de evaluación. En ese supuesto es más adecuado tener en cuenta todos los flujos de caja del proyecto para valorar el nivel de riesgo, sin las estrecheces de un determinado calendario temporal de la deuda.

Sin embargo, cuando el proyecto ya está en marcha y las condiciones de devolución de la deuda ya están fijadas a través de un contrato con una entidad financiera y las condiciones de cumplimiento del contrato son muy rígidas, puede resultar más relevante la utilización

del método *Project Finance* para la medición del riesgo de crédito, especialmente en situaciones de restricciones de crédito, en las que las entidades financieras son muy estrictas con el cumplimiento de los *covenants* del contrato de financiación y las posibilidades de refinanciación son limitadas.

En resumen, establecer cuándo es más apropiado el uso de uno u otro modelo depende de la relevancia que tiene el calendario temporal del servicio de la deuda y la rigidez de la misma. Si para la empresa tiene un gran impacto cumplir estrictamente el calendario de una determinada deuda, resulta más apropiado utilizar el método *Project Finance*, mientras que si lo que se pretende es evaluar si los flujos de caja de un proyecto resultan suficientes o no para asegurar el repago de la deuda con que se ha de financiar el proyecto, es más apropiado utilizar el método de KMV.

Referencias bibliográficas

- Black, F. & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654.
- Chiara, N. (2006). *Real options methods for improving economic risk management in infrastructure project finance*. Nueva York: Ph.D. dissertation, Columbia University.
- Copeland, T. & Antikarov, V. (2001). *Real Options - a Practitioner's Guide*. New York: Texere.
- Crosbie, P. & Bohn, J. (2003). *Modeling Default Risk*. San Francisco: Moody's KMV.
- Crouhy, M., Galai, D. & Mark, R. (2000). A comparative analysis of current credit risk models. *Journal of Banking and Finance*, 24, 59-117.
- Dailami, M., Lipkovich, I. & Van Dyck, J. (1999). *INFRISK. A computer simulation approach to risk management in infrastructure project finance transactions*. Washington: World Bank.
- Delianedis, G. & Geske, R. (1998). *Credit Risk and Risk Neutral Default Probabilities: Information About Migrations and Defaults*. Los Angeles: Working paper, Graduate School of Management, UCLA.
- Duffie, D. & Singleton, K. (2003). *Credit risk: pricing, measurement and management*. Princeton NJ: Princeton University Press.
- Dullmann, K. & Trapp, M. (2004). *Credit-Risk+: a credit risk management framework*. New York: Credit Suisse First Boston.
- Esty, B. C. (1999). Improved techniques for valuing large-scale projects. *J. Project Finance*, 5(1), 9-25.
- Esty, B. C. (1999). *Modern project finance: A casebook*. New York: Wiley.
- Garvin, M. & Cheah, Y. (2004). Valuation techniques for infrastructure investment decisions. *Construction Management and Economics*, 22(5), 373-383.
- Giesecke, K. (2004). *Credit risk modeling and valuation: An introduction*. Ithaca, NY: Working Paper, Cornell University.
- Gupton G., Finger C. & Bhatia, M. (1997). *CreditMetrics - A technical Document*. New York: JP Morgan.
- Gordy, M. (2000). A comparative anatomy of credit risk models. *Journal of Banking & Finance*, 24(1-2), 119-149.
- Hamerle, A. & Rösch, D. (2003). *Parameterizing Credit Risk Models*, Regensburg: Working Paper, University of Regensburg.
- Lando, D. (2004). *Credit risk modeling: theory and application*. Princeton NJ: Princeton University Press.
- Mascareñas, J., Lamothe, P., López Lubián, F. y de Luna, W. (2004). *Opciones reales y valoración de activos*. Madrid: Prentice Hall.
- Martin, R. (2004). *Credit Portfolio Modeling Handbook*. New York: Credit Suisse First Boston.
- Merton, R. (1973). Theory of Rational Option Pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(1), 141-183.
- Merton, R. (1974). On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates. *Journal of Finance*, 29(2), 449-470.
- McAndrew, A. (2004). *Introduction to Creditmark*. San Francisco: Moody's KMV.
- Vasicek, O. (1984). *Credit Valuation*. San Francisco: Moody's KMV.
- Yescombe, E. (2002). *Principles of Project Finance*. San Diego: Academic Press.
- Zeng, B. & Zhang, J. (2001). *An Empirical Assessment of Asset Correlation Models*. San Francisco: Moody's KMV.