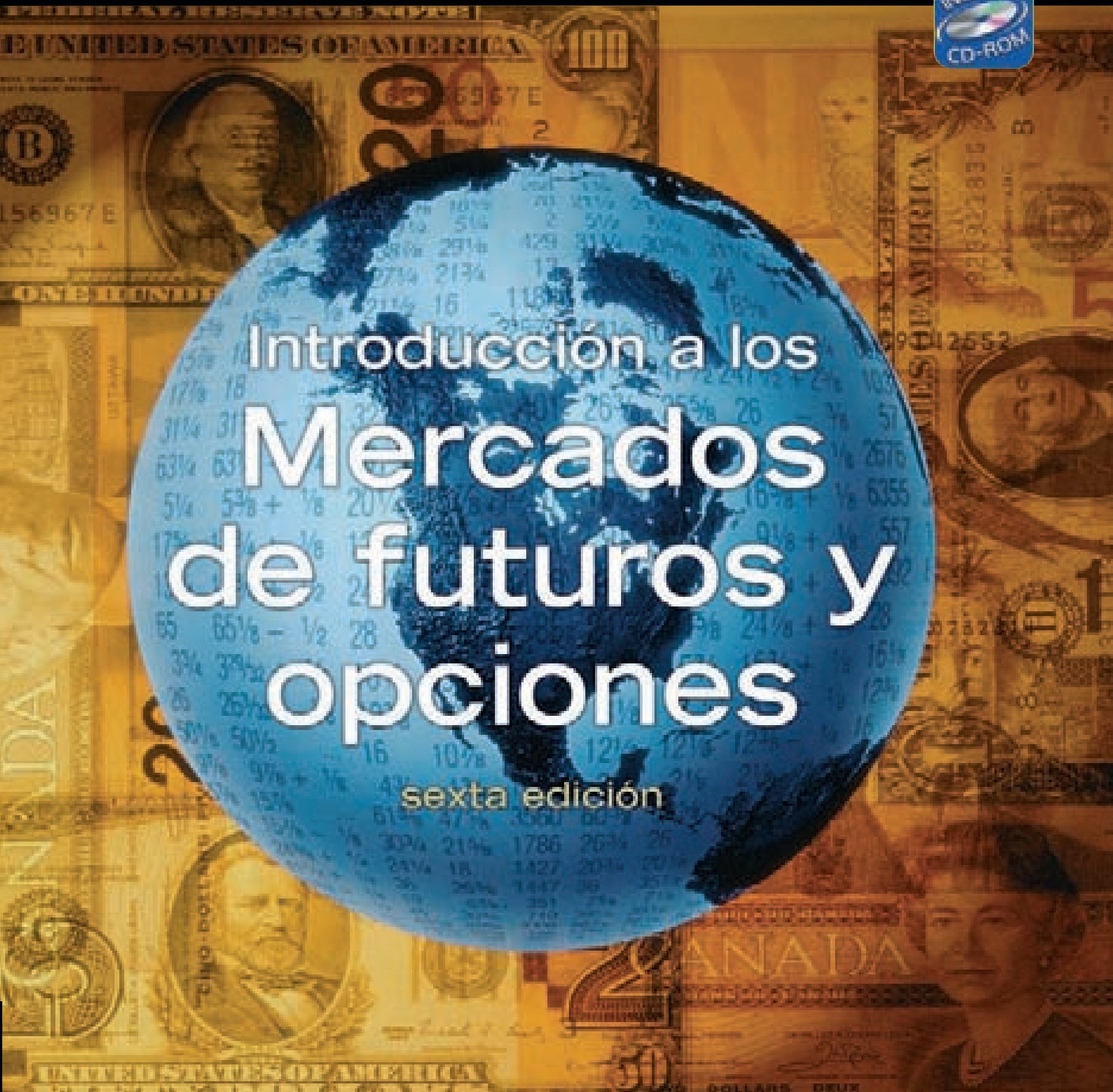
INCLUYE CD-ROM



Introducción a los Mercados de futuros y opciones

sexta edición

JOHN C. HULL

PEARSON Prentice Hall®

SEXTA EDICIÓN

INTRODUCCIÓN A LOS MERCADOS DE FUTUROS Y OPCIONES

John C. Hull

Maple Financial Group Professor of Derivatives and Risk Management
Joseph L. Rotman School of Management
University of Toronto

TRADUCCIÓN:
Miguel Ángel Sánchez Carrión
Universidad Iberoamericana

REVISIÓN TÉCNICA

Arturo Morales Castro
Universidad Nacional Autónoma de México

José Antonio Morales Castro
Universidad Nacional Autónoma de México

Igor P. Rivera
Tecnológico de Monterrey,
Campus Ciudad de México

Pablo Galván
Instituto Tecnológico Autónomo de México

María de Guadalupe Arroyo Santisteban
Iren Castillo Saldaña
Vinicio Pérez Fonseca
José Cruz Ramos Báez
Universidad Panamericana, México

PEARSON Educación ®

México • Argentina • Brasil • Colombia • Costa Rica • Chile • Ecuador
España • Guatemala • Panamá • Perú • Puerto Rico • Uruguay • Venezuela

Datos de catalogación bibliográfica

HULL, JOHN C.

Introducción a los mercados de futuros y opciones

Sexta edición

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2009

ISBN: 978-607-442-100-2
Área: Administración y Economía

Formato: 20 × 25.5 cm Páginas: 576

ISBN 9780132242264

Edición en español
Editor: Pablo Miguel Guerrero Rosas
e-mail: pablo.guerrero@pearsoned.com
Editor de desarrollo: Bernardino Gutiérrez Hernández
Supervisor de producción: José D. Hernández Garduño

SEXTA EDICIÓN, 2009

PEARSON Educación®

ISBN 978-607-442-100-2

Impreso en México. *Printed in Mexico.*
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 12 11 10 09

Contenido

Prefacio

Inicialmente, algunos colegas a quienes les gustó mi libro anterior, *Options, Futures, and Other Derivatives*, consideraron que el material estaba algo avanzado para sus estudiantes. Eso me persuadió a escribir *Introducción a los mercados de futuros y opciones*, el cual aborda casi los mismos temas, pero en una forma más comprensible para los lectores que han tenido una preparación limitada en matemáticas. Una diferencia importante entre ambos libros es que éste no incluye cálculo. *Introducción a los mercados de futuros y opciones* es adecuado para las asignaturas electivas de nivel licenciatura y posgrado que ofrecen las facultades de administración, economía, y de otras disciplinas. Además, este libro será muy útil para muchos profesionales que deseen mejorar su comprensión de los mercados de futuros y opciones.

Los profesores pueden utilizar este libro de varias maneras. Quizá algunos sólo deseen cubrir los primeros once capítulos, y terminar con los árboles binomiales. Para los que quieran abarcar más, hay diferentes secuencias para cubrir el material de los capítulos 12 a 23. Del 16 en adelante, cada capítulo está diseñado de tal manera que sea independiente de los demás y se pueda incluir u omitir sin problema alguno en un curso. Mi recomendación sería que terminara un curso con el capítulo 23, el cual siempre será interesante y entretenido para los estudiantes.

Novedades en esta edición

Se han realizado muchos cambios para actualizar el material y mejorar la presentación. Por ejemplo:

1. En el capítulo 1 se incluyó material sobre los fondos de cobertura.
2. El capítulo 4 contiene una descripción más detallada de la teoría de la preferencia por la liquidez y cómo administran los bancos su ingreso neto por intereses.
3. El capítulo 7 incluye material sobre diferentes tipos de *swaps*, ya que muchos profesores prefieren abordarlo inmediatamente después de explicar los *swaps plain vanilla* de tasas de interés y de divisas.
4. Los capítulos 8 y 12 presentan más material relacionado con las opciones sobre acciones para directivos. Los temas como antedatado y valuación son muy novedosos, y encuentro que los estudiantes disfrutan analizándolos.

5. El capítulo 11 contiene material sobre el uso de árboles binomiales para opciones sobre índices, divisas y futuros, ya que muchos profesores prefieren cubrirlo al explicar por primera vez el tema de los árboles binomiales.
6. Se reestructuró el capítulo 13, que ahora empieza con algunos ejemplos sobre la forma de usar opciones sobre índices y divisas, y después aborda temas de valuación. Esto hace que el capítulo sea más agradable para los estudiantes.
7. El capítulo 14 analiza con más detalle el uso del modelo de Black como una alternativa al modelo Black-Scholes para valuar una amplia gama de opciones europeas.
8. Ahora el capítulo 15 explica las letras griegas utilizando opciones sobre una acción que no paga dividendos. Las fórmulas para calcular las letras griegas para otros tipos de opciones se presentan en una tabla casi al final del capítulo.
9. En el capítulo 17, la explicación de por qué la sonrisa de volatilidad de una opción de compra es igual a la de una opción de venta cuando ambas opciones tienen el mismo vencimiento, se ha trasladado a un apéndice.
10. El material sobre derivados de crédito del capítulo 21 se actualizó con información sobre CDX, iTraxx y negociación de un solo tramo.
11. Ahora se usan dos tipos de recuadro para destacar el material. Uno es para las Panorámicas de negocios, y el otro (con esquinas redondeadas) para ejemplos numéricos.
12. Hice un pequeño cambio en la notación con respecto al símbolo ϕ, el cual representa una distribución normal. Como se acostumbra, el segundo argumento de ϕ ahora es la varianza en vez de la desviación estándar de la distribución.

Software

Este libro incluye la versión 1.51.01 de DerivaGem, que consta de dos aplicaciones de Excel: la *Calculadora de opciones* y el *Creador de aplicaciones*. La Calculadora de opciones es un software fácil de usar para valuar una amplia gama de opciones. El Creador de aplicaciones contiene diversas funciones de Excel con las que los usuarios crean sus propias aplicaciones. Incluye varias aplicaciones de muestra y permite que los estudiantes exploren las propiedades de las opciones y los procedimientos numéricos con más facilidad; además permite diseñar tareas más interesantes.

El software se describe con más detalle al final del libro. Las actualizaciones del software se pueden descargar del sitio Web:

`http://www.rotman.utoronto.ca/~hull`

Diapositivas

Hay cientos de diapositivas en PowerPoint (en inglés) disponibles desde el sitio Web. Los profesores que adopten el libro para sus cursos pueden adaptar las diapositivas para satisfacer las necesidades particulares de su curso.

Respuestas a los problemas de fin de capítulo

Al final de cada capítulo (excepto el último) hay siete preguntas de examen que los estudiantes pueden usar para probar rápidamente su comprensión de los conceptos clave. Las respuestas a estas preguntas se proporcionan al final del libro. Además, para ayudar a una mejor comprensión, se incluyen alrededor de 270.

Finalmente, hay alrededor de 100 Preguntas de tarea al final de los capítulos. Las respuestas a estas preguntas se encuentran en el *Manual del instructor*, disponible sólo para los profesores que adopten el libro. (Consulte a su representante de Pearson Educación).

Reconocimientos

Muchas personas han contribuido en la producción de este libro. Entre los académicos, estudiantes y profesionales que han realizado sugerencias excelentes y útiles a través de los años están Farhang Aslani, Emilio Barone, Giovanni Barone-Adesi, George Blazenko, Laurence Booth, Phelim Boyle, Peter Carr, Don Chance, J. P. Chateau, Brian Donaldson, Jerome Duncan, Steinar Ekern, Robert Eldridge, David Fowler, Louis Gagnon, Mark Garman, Dajiang Guo, Bernie Hildebrandt, Jim Hilliard, Basil Kalymon, Patrick Kearney, Cheng-kun Kuo, Elizabeth Maynes, Eddie Mizzi, Izzy Nelken, Paul Potvin, Ramon Rabinovitch, Richard Rendleman, Gordon Roberts, Edward Robbins, Chris Robinson, John Rumsey, Klaus Schurger, Eduardo Schwartz, Michael Selby, Piet Sercu, Yochanan Shachmurove, Bill Shao, Stuart Turnbull, Yisong Tian, Ton Vorst, George Wang, Zhanshun Wei, Bob Whaley, Alan White, Qunfeng Yang y Jozef Zemek.

Me gustaría agradecer en particular a Alan White. Alan es un colega de la University of Toronto con quien he realizado investigación conjunta de opciones y futuros durante más de 20 años. Hemos dedicado muchas horas al análisis de diferentes asuntos relacionados con los mercados de opciones y futuros. Muchas de las nuevas ideas de este libro, y de las nuevas formas de explicar las antiguas, son tanto de Alan como mías. Alan realizó gran parte del trabajo de desarrollo del software DerivaGem.

Agradezco de manera especial a mi editor en Prentice Hall, Mark Pfaltzgraff, y a su editora adjunta, Mary Kate Murray, por su apoyo, entusiasmo, consejo y estímulo. Mi agradecimiento también para Scott Barr, Leah Jewell, Paul Donnelly, Maureen Riopelle y David Alexander, quienes en distintas ocasiones en el pasado desempeñaron roles clave en el desarrollo del libro.

Son bienvenidos los comentarios sobre el libro por parte de los lectores. Mi dirección de correo electrónico es:

`hull@rotman.utoronto.ca`

John Hull
Profesor de Derivados y Administración de Riesgos
de Maple Financial Group
Escuela de Administración Joseph L. Rotman
University of Toronto

1 CAPÍTULO Introducción

En los últimos años, los mercados de derivados han adquirido una importancia cada vez mayor en el mundo de las finanzas y las inversiones. Hemos llegado a una etapa en la que es fundamental que todos los profesionales de las finanzas entiendan cómo operan estos mercados, de qué manera pueden utilizarse y qué determina los precios en ellos. Este libro aborda estos aspectos.

En este capítulo inicial analizamos, en primer lugar, los mercados de futuros, a plazo y de opciones. Examinamos su historia y proporcionamos una visión general de cómo los usan los coberturistas, especuladores y arbitrajistas.

1.1 CONTRATOS DE FUTUROS

Un *contrato de futuros* es un acuerdo para comprar o vender un activo en una fecha específica en el futuro a un precio determinado. Hay muchas bolsas de valores en todo el mundo que negocian contratos de futuros. La Bolsa de Comercio de Chicago (www.cbot.com) y la Bolsa Mercantil de Chicago (www.cme.com) son las dos bolsas de futuros más grandes de Estados Unidos de América. (Establecieron un acuerdo de fusión en 2006). Las dos bolsas más importantes de Europa son Euronext (www.euronext.com), la cual se fusionó con la Bolsa de Valores de Nueva York (www.nyse.com) en 2006, y Eurex (www.eurexchange.com), copropiedad de la Deutsche Börse (Bolsa alemana) y la Bolsa suiza. Entre otras importantes bolsas de valores están la Bolsa de Mercadorias y Futuros (www.bmf.com.br) de São Paulo, el Mercado Financiero de Tokio (www.tfx.co.jp), la Bolsa de Singapur (www.ses.com.sg) y la Bolsa de Futuros de Sydney (www.sfe.com.au). Al final de este libro se presenta una tabla, la cual proporciona una lista más completa.

Las bolsas de futuros permiten negociar entre sí a las personas que desean comprar o vender activos en el futuro. En marzo, un negociante de Nueva York podría ponerse en contacto con un intermediario para darle instrucciones de que compre 5,000 bushels de maíz con fecha de entrega en julio. El intermediario comunicaría inmediatamente las instrucciones del cliente a la Bolsa de Comercio de Chicago. Al mismo tiempo, otro negociante de Kansas podría dar instrucciones a un intermediario de que venda 5,000 bushels de maíz con fecha de entrega en julio. Estas instrucciones también se comunicarían a la Bolsa de Comercio de Chicago. Se determinaría un precio y así se podría realizar la transacción.

El negociante de Nueva York que aceptó comprar tiene lo que se conoce como una *posición larga en un contrato de futuros*; el negociante de Kansas que aceptó vender tiene lo que se deno-

Figura 1.1 Contrato de futuros (asumiendo que se mantiene hasta su vencimiento)

Marzo: el negociante toma una posición larga en un contrato de futuros de maíz de julio a 300 centavos de dólar por bushel

↓

Julio: el negociante debe comprar 5,000 bushels de maíz en $15,000

mina una *posición corta en un contrato de futuros*. El precio recibe el nombre de *precio de futuros*. Asumiremos que el precio es de 300 centavos de dólar por bushel. Este precio, al igual que cualquier otro, está determinado por las leyes de la oferta y la demanda. Si en un momento dado hay más personas que desean vender maíz de julio que comprarlo, el precio baja. Entonces entrarán nuevos compradores al mercado, de tal manera que se mantenga un equilibrio entre compradores y vendedores. Si hay más personas que desean comprar maíz de julio que venderlo, el precio sube, por razones similares.

En el capítulo 2 se analizarán temas como los requisitos de margen, los procedimientos de liquidación diaria, las prácticas de negociación, las comisiones, los diferenciales de demanda y oferta (bid-offer Spreads) y el papel de la cámara de compensación. Por ahora, asumimos que el resultado final de los acontecimientos que acabamos de describir es que el negociante de Nueva York acordó comprar 5,000 bushels de maíz a 300 centavos de dólar por bushel en julio y que el negociante de Kansas aceptó vender 5,000 bushels de maíz a 300 centavos de dólar por bushel en julio. Ambas partes establecieron un contrato obligatorio, el cual se ilustra en la figura 1.1.

Un precio de futuros contrasta con el *precio spot* (al contado). El precio *spot* es para una entrega inmediata o casi inmediata. El precio de futuros es el precio de entrega en alguna fecha futura. Por lo general, ambos precios son diferentes. Como veremos en capítulos posteriores, el precio de futuros puede ser mayor o menor que el precio *spot*, o de contado.

1.2 HISTORIA DE LOS MERCADOS DE FUTUROS

Los mercados de futuros se remontan hasta la Edad Media. En un principio se crearon para satisfacer las necesidades de agricultores y negociantes. Considere la situación de un agricultor, en abril de cierto año, que cosechará una cantidad conocida de grano en junio. Hay incertidumbre acerca del precio que el agricultor recibirá por el grano. En épocas de escasez podría obtener precios relativamente altos, sobre todo si el agricultor no tiene prisa por vender. Por otro lado, en épocas de superabundancia el grano tendría que desecharse a precios de liquidación. Tanto el agricultor como su familia están claramente expuestos a un enorme riesgo.

A continuación, considere una empresa que tiene una necesidad constante de grano. La empresa también está expuesta al riesgo de precio. En algunos años, una situación de superabundancia da lugar a precios favorables, pero, en otros años, la escasez ocasiona que los precios sean exorbitantes. Tiene sentido que el agricultor y la empresa se reúnan en abril (o incluso antes) y acuerden un precio para la producción de grano del agricultor en junio. Esto implica que establezcan un tipo de contrato de futuros. Este contrato ofrece a cada parte una manera de eliminar el riesgo al que se enfrenta debido a la incertidumbre del precio futuro del grano.

Podríamos preguntar qué ocurre con las necesidades de grano de la empresa el resto del año. Una vez que termina la temporada de cosecha, el grano se debe almacenar hasta la siguiente temporada. Con esto, la empresa no asume ningún riesgo de precio, pero sí incurre en costos de almacenamiento. Si el agricultor o alguna otra persona almacena el grano, tanto la empresa como el almacenista se enfrentan a los riesgos relacionados con el precio futuro del grano y, de nuevo, los contratos de futuros juegan un papel claro.

Bolsa de Comercio de Chicago

La Bolsa de Comercio de Chicago (CBOT, por sus siglas en inglés) se estableció en 1848 para conjuntar agricultores y negociantes. Inicialmente, su tarea principal fue estandarizar las cantidades y calidades de los granos que se negociaban. En pocos años se desarrolló el primer contrato de futuros, conocido como *contrato to-arrive* (para el futuro). Los especuladores se interesaron rápidamente en el contrato y descubrieron que su negociación era una alternativa atractiva para la negociación del grano mismo. En la actualidad, la Bolsa de Comercio de Chicago ofrece contratos de futuros sobre diversos activos subyacentes, como maíz, avena, soya, harina de soya, aceite de soya, trigo, bonos del Tesoro y notas del Tesoro.

Bolsa Mercantil de Chicago

En 1874 se estableció la Bolsa de Productos Agrícolas de Chicago, ofreciendo un mercado para mantequilla, huevos, aves y otros productos agrícolas perecederos. En 1898, los negociantes de mantequilla y huevos se retiraron de la bolsa para formar el Mercado de Mantequilla y Huevos de Chicago. En 1919 cambió de nombre a Bolsa Mercantil de Chicago (CME, por sus siglas en inglés) y se reorganizó para las negociaciones de futuros. Desde entonces, la bolsa ha proporcionado un mercado de futuros para muchas *commodities* (mercancías), como derivados porcinos (1961), ganado bovino en pie (1964), ganado porcino en pie (1966) y ganado bovino de engorda (1971). En 1982 introdujo un contrato de futuros sobre el Índice Accionario de Standard & Poor's (S&P) 500.

La Bolsa Mercantil de Chicago inició en 1972 la negociación de futuros en monedas extranjeras. Entre los futuros sobre divisas que se negocian actualmente están la libra esterlina, el dólar canadiense, el yen japonés, el franco suizo, el dólar australiano, el peso mexicano, el real brasileño, el rand sudafricano, el dólar neozelandés, el rublo ruso y el euro. La Bolsa Mercantil de Chicago negocia el muy popular contrato de futuros sobre eurodólares. (Como se explicará en capítulos posteriores, éste es un contrato sobre el valor futuro de una tasa de interés a corto plazo). Esta bolsa también ha introducido contratos de futuros sobre el clima y bienes raíces.

Negociación electrónica

Tradicionalmente, los contratos de futuros se han negociado usando lo que se conoce como *sistema de subasta a viva voz (open-outcry system)*. Esto requiere que los negociantes se reúnan físicamente en el piso de la bolsa, conocido como "recinto", y que empleen una complicada serie de señas manuales para indicar las transacciones que les gustaría realizar. En el ejemplo que consideramos anteriormente, un operador de piso representaría al inversionista de Nueva York que deseaba comprar maíz de julio y otro al inversionista de Kansas que deseaba vender maíz de julio.

Las bolsas reemplazan cada vez más al sistema de subasta a viva voz por la *negociación electrónica*. Esto requiere que los negociantes ingresen sus transacciones por medio de un teclado y una computadora para relacionar a compradores y vendedores. Muchas bolsas de todo el mundo son totalmente electrónicas. En la CBOT y la CME, los contratos de futuros se negocian tanto electrónicamente como en el piso de la bolsa.

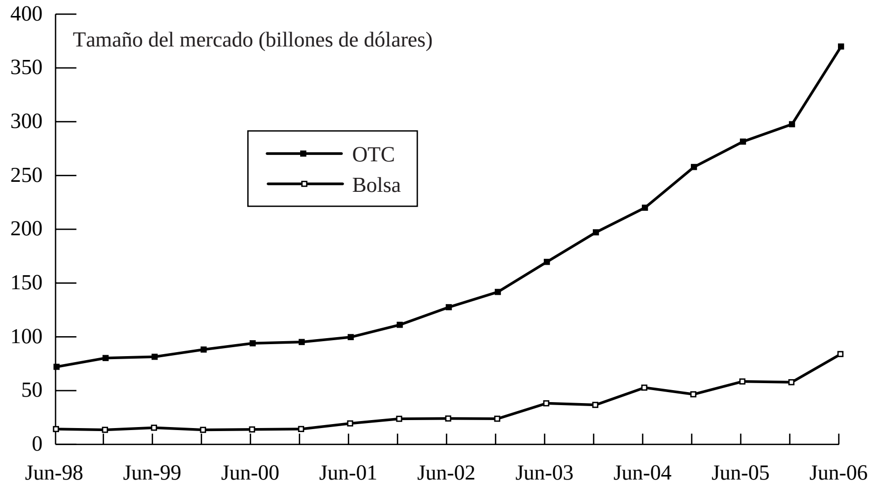
1.3 EL MERCADO OTC (OVER-THE-COUNTER)

No todas las negociaciones se realizan en bolsas de valores, ya que, lo que se conoce como mercado *over-the-counter* (no inscrito en la bolsa), u OTC, es una alternativa importante a las bolsas. Este mercado consiste en una red de agentes de bolsa, vinculados por teléfono y computadora, que no se reúnen físicamente. Las transacciones se realizan por teléfono. Una parte de la transacción suele ser un negociante que trabaja para una institución financiera. La otra parte bien puede ser un negociante que trabaja para otra institución financiera, un tesorero corporativo, o un administrador de fondos. A menudo las instituciones financieras actúan como creadores de mercado de los instrumentos que se negocian con mayor frecuencia. Esto significa que siempre están preparados para cotizar tanto un precio de demanda (un precio al que están dispuestos a comprar) como un precio de oferta (un precio al que están dispuestos a vender).

Por lo general, las conversaciones telefónicas del mercado over-the-counter se graban. Si hay algún problema sobre lo que se acordó, las grabaciones se reproducen para resolverlo. Por lo común, las transacciones del mercado over-the-counter son mucho mayores que las del mercado negociado en la bolsa (ex-change traded). Una ventaja importante de este mercado es que los términos de un contrato no necesitan ser los que se especifican en una bolsa de valores. Los participantes del mercado tienen la libertad de negociar cualquier acuerdo que sea mutuamente atractivo. Una desventaja es que, por lo común, en una transacción over-the-counter, hay algún riesgo de crédito (es decir, hay un pequeño riesgo de incumplimiento del contrato). Como veremos en el capítulo siguiente, las bolsas de valores se han organizado para eliminar prácticamente todo riesgo de crédito.

Los mercados de derivados, tanto over the counter como el negociado en bolsa, son enormes. Aunque las estadísticas que se recolectan para los dos mercados no son exactamente comparables, es evidente que el mercado over-the-counter es mucho mayor que el negociado en bolsa. En 1998 el Banco de Pagos Internacionales (`www.bis.org`) comenzó a reunir estadísticas sobre los mercados. La figura 1.2 compara: a) los montos totales estimados del principal subyacente a las transacciones pendientes en los mercados over-the-counter entre 1998 y 2006, y b) el valor total estimado de los activos subyacentes a los contratos negociados en bolsa durante el mismo periodo. Con estas me-

Figura 1.2 Tamaño de los mercados de derivados over-the-counter y negociado en bolsa



didas, para junio de 2006 el mercado over-the-counter había crecido a $370 billones de dólares y el mercado negociado en bolsa a 84 billones de dólares.

Al interpretar estas cifras debemos recordar que el principal subyacente a una transacción over-the-counter no es igual al valor de ésta. Un ejemplo de un contrato over-the-counter es un acuerdo para comprar dentro de un año 100 millones de dólares estadounidenses con libras esterlinas a un tipo de cambio predeterminado. El monto total del principal subyacente a esta transacción es de 100 millones de dólares. Sin embargo, el valor del contrato podría ser sólo de 1 millón de dólares. El Banco de Pagos Internacionales calcula que el valor de mercado bruto de todos los contratos OTC pendientes en junio de 2006 era alrededor de 10 billones de dólares.[1] [*]

1.4 CONTRATOS A PLAZO

Un contrato a plazo es similar a un contrato de futuros en cuanto a que es un acuerdo para comprar o vender un activo en una fecha futura específica a cierto precio. No obstante, en tanto que los contratos de futuros se negocian en bolsas, los contratos a plazo se negocian en el mercado over-the-counter.

Los contratos a plazo sobre divisas son muy populares. Casi todos los bancos importantes emplean comerciantes al contado y comerciantes a plazo. Los comerciantes al contado negocian una divisa con una entrega casi inmediata. Los comerciantes a plazo la negocian con una entrega a futuro. La tabla 1.1 proporciona las cotizaciones del tipo de cambio entre la libra esterlina (GBP) y el dólar estadounidense (USD) que podría haber efectuado un importante banco internacional el 14 de julio de 2006. La cotización representa la cantidad de USD por GBP. La primera fila indica que el banco está dispuesto a comprar GBP en el mercado al contado (spot market) —es decir, para una entrega prácticamente inmediata— a un tipo de cambio de 1.8360 dólares estadounidenses por GBP y vender las libras esterlinas en el mercado al contado a 1.8364 dólares estadounidenses por GBP. La segunda cotización indica que el banco está dispuesto a comprar libras esterlinas dentro de un plazo de un mes a 1.8372 dólares estadounidenses por GBP y venderlas a un mes a 1.8377 dólares estadounidenses por GBP; la tercera cotización indica que está dispuesto a comprar libras esterlinas dentro de tres meses a 1.8400 dólares estadounidenses por GBP y venderlas dentro de tres meses a 1.8405 dólares estadounidenses por GBP, etcétera.

Las cotizaciones son para transacciones muy grandes. (Como sabe quien haya viajado al extranjero, los clientes minoristas (retail customers) se enfrentan a diferenciales (spreads) mucho mayores entre cotizaciones de demanda y de oferta que las de la tabla 1.1). Después de examinar

Tabla 1.1 Cotizaciones al contado y a plazo del tipo de cambio USD/GBP, del 14 de julio de 2006 (GBP = libra británica; USD = dólar estadounidense; la cotización indica la cantidad de USD por GBP)

	Demanda	*Oferta*
Al contado	1.8360	1.8364
Dentro de 1 mes	1.8372	1.8377
Dentro de 3 meses	1.8400	1.8405
Dentro de 6 meses	1.8438	1.8444

[1] Un contrato que vale $1 millón para una parte y −$1 millón para la otra, tendría un valor de mercado bruto de $1 millón.

[*] Todas las cantidades expresadas en este libro están en dólares estadounidenses, a menos que se indique expresamente otra moneda.

las cotizaciones de la tabla 1.1, una corporación grande podría acordar vender al banco 100 millones de libras dentro de seis meses por 184.38 millones de dólares como parte de su programa de cobertura.

Hay una relación entre el precio a plazo de una moneda extranjera, el precio al contado de esa moneda extranjera, las tasas de interés domésticas y las tasas de interés extranjeras. Esto se explica en el capítulo 5.

1.5 CONTRATOS DE OPCIONES

Hay dos tipos básicos de opciones: de compra y de venta. Una *opción de compra* otorga al tenedor el derecho a comprar un activo en una fecha específica a cierto precio. Una *opción de venta* otorga al tenedor el derecho de vender un activo en una fecha específica a cierto precio. El precio establecido en el contrato se conoce como *precio de ejercicio* o *precio strike*; la fecha estipulada en el contrato se conoce como *fecha de vencimiento*. Una *opción europea* se ejerce sólo en la fecha de vencimiento y una *opción americana* se puede ejercer en cualquier momento de su vida.

Debemos destacar que una opción otorga al tenedor el derecho de hacer algo. El tenedor no tiene que ejercer este derecho. Esto distingue a las opciones de los contratos de futuros (o a plazo). El tenedor de un contrato de futuros largo tiene el compromiso de comprar un activo a cierto precio en una fecha futura específica. En contraste, el tenedor de una opción de compra tiene la elección de comprar el activo a cierto precio en una fecha futura específica. No cuesta nada (excepto los requisitos de margen, que se analizarán en el capítulo 2) participar en un contrato de futuros. Por el contrario, un inversionista debe pagar un precio por adelantado, que se conoce como *prima de la opción*, para participar en un contrato de opciones.

La bolsa más grande del mundo para negociar opciones sobre acciones es la Bolsa de Opciones de Chicago (CBOE; `www.cboe.com`). La tabla 1.2 proporciona el punto medio de las cotizaciones de demanda y oferta de algunas opciones americanas que se negociaron sobre Intel (teletipo: INTC) el 12 de septiembre de 2006. Las cotizaciones se tomaron del sitio Web de la CBOE. El precio por acción de Intel al momento de las cotizaciones era de $19.56. Los precios de ejercicio de las opciones son $15.00, $17.50, $20.00, $22.50 y $25.00. Los vencimientos son octubre de 2006, enero de 2007 y abril de 2007. Las opciones de octubre, enero y abril tienen como fecha de vencimiento el 21 de octubre de 2006, el 20 de enero de 2007 y el 21 de abril de 2007, respectivamente.

Tabla 1.2 Precios de las opciones sobre Intel, 12 de septiembre de 2006; precio de la acción = $19.56. (*Fuente*: CBOE)

	Opciones de compra			*Opciones de venta*		
Precio de ejercicio ($)	*Oct. 2006*	*Ene. 2007*	*Abr. 2007*	*Oct. 2006*	*Ene. 2007*	*Abr. 2007*
15	4.650	4.950	5.150	0.025	0.150	0.275
17.50	2.300	2.775	3.150	0.125	0.475	0.725
20.00	0.575	1.175	1.650	0.875	1.375	1.700
22.50	0.075	0.375	0.725	2.950	3.100	3.300
25.00	0.025	0.125	0.275	5.450	5.450	5.450

La tabla 1.2 ilustra varias propiedades de las opciones. El precio de una opción de compra disminuye a medida que aumenta el precio de ejercicio; el precio de una opción de venta aumenta a medida que se incrementa el precio de ejercicio. Ambos tipos de opciones aumentan en valor a medida que se incrementa su tiempo al vencimiento. Una opción de compra con un precio de ejercicio de $25 debe ejercerse inmediatamente. Por este motivo, el precio es igual para todos los vencimientos. Estas propiedades de las opciones se analizarán con más detalle en el capítulo 9.

Suponga que un inversionista da instrucciones a un intermediario de que compre un contrato de opción de compra de abril sobre Intel con un precio de ejercicio de $20.00. El intermediario transmitirá estas instrucciones a un operador de la CBOE. Entonces este operador encontrará a otro operador que desee vender un contrato de opción de compra de abril sobre Intel con un precio de ejercicio de $20.00 y acordarán un precio. Para los fines de nuestro ejemplo, ignoramos el diferencial de demanda y oferta y asumimos que el precio es de $1.65, como se indica en la tabla 1.2. Éste es el precio de una opción para comprar una acción. En Estados Unidos de América, un contrato de opción es un contrato para comprar o vender 100 acciones. Por lo tanto, el inversionista debe disponer que se remitan $165 a la bolsa a través del intermediario. Entonces, la bolsa hará que este monto se transfiera a la otra parte de la transacción.

En nuestro ejemplo, el inversionista obtuvo a un costo de $165 el derecho a comprar 100 acciones de Intel a $20.00 cada una. La otra parte de la transacción recibió $165 y acordó vender 100 acciones de Intel a $20.00 por acción si el inversionista decide ejercer la opción. Si el precio de Intel no sube por arriba de $20.00 antes del 21 de abril de 2007, la opción no se ejerce y el inversionista pierde $165. Pero si el precio de la acción de Intel aumenta y la opción se ejerce cuando es de $30, el inversionista podrá comprar 100 acciones a $20.00 por acción cuando valen $30 por acción. Esto genera una ganancia de $1,000 u $835 cuando se toma en cuenta el costo inicial de las opciones.

Una transacción alternativa para el inversionista sería la compra de un contrato de opción de venta de abril con un precio de ejercicio de $17.50. En la tabla 1.2 vemos que este contrato costaría 100 × 0.725 o $72.50. El inversionista obtendría el derecho a vender 100 acciones de Intel a $17.50 por acción antes del 21 de abril de 2007. Si el precio de la acción de Intel permanece por arriba de $17.50, la opción no se ejerce y el inversionista pierde $72.50. Pero si el inversionista la ejerce cuando el precio de la acción es de $15, obtiene una ganancia de $250 por comprar 100 acciones de Intel a $15 y venderlas a $17.50. La utilidad neta después de tomar en cuenta el costo de las opciones es de $177.50.

Las opciones que se negocian en la CBOE son americanas. La figura 1.3 muestra la utilidad del inversionista en función del precio final de la acción para las dos transacciones que hemos considerado si asumimos, para simplificar, que son europeas, de modo que se ejercen sólo a su vencimiento.

En capítulos posteriores se proporcionan detalles adicionales acerca de la operación de los mercados de opciones y de qué manera los negociantes determinan los precios, como los que se presentan en la tabla 1.2. En esta etapa observamos que hay cuatro tipos de participantes en los mercados de opciones:

1. Compradores de opciones de compra

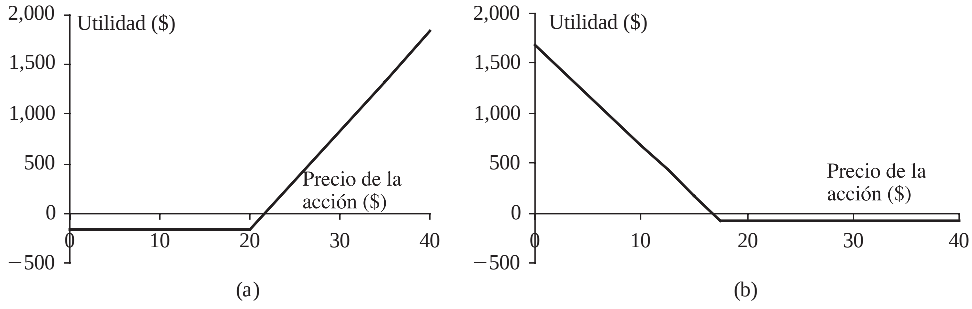
2. Vendedores de opciones de compra

3. Compradores de opciones de venta

4. Vendedores de opciones de venta

Se dice que los compradores tienen *posiciones largas* y que los vendedores tienen *posiciones cortas*. La venta de una opción se conoce también como *expedir la opción*.

Figura 1.3 Utilidad neta de: a) comprar un contrato que consiste en 100 opciones de compra de abril sobre Intel con un precio de ejercicio de $20.00 y b) comprar un contrato que consiste en 100 opciones de venta de abril sobre Intel con un precio de ejercicio de $17.50



1.6 HISTORIA DE LOS MERCADOS DE OPCIONES

Las primeras negociaciones de opciones de venta y de compra comenzaron en Europa y Estados Unidos desde el siglo XVIII. En los primeros años, el mercado se ganó una mala reputación debido a ciertas prácticas corruptas. Una de ellas involucraba a intermediarios que recibían opciones sobre determinada acción como un incentivo para que recomendaran la acción a sus clientes.

Put and Call Brokers and Dealers Association

A principios del siglo XX, un grupo de empresas estableció la Put and Call Brokers and Dealers Association (Asociación de intermediarios y agentes de opciones de compra y venta). El objetivo de esta asociación era proporcionar un mecanismo para reunir a compradores y vendedores. Los inversionistas que deseaban comprar una opción establecían contacto con una de las empresas miembro. La empresa procuraría encontrar un vendedor o suscriptor de la opción entre sus propios clientes o los de las empresas miembro. Si no encontraba un vendedor, la empresa expendería la opción misma a cambio de lo que se consideraba un precio adecuado.

El mercado de opciones de Put and Call Brokers and Dealers Association tenía dos defectos. El primero: no había un mercado secundario; el comprador de una opción no tenía el derecho de venderla a otra parte antes de su vencimiento. El segundo: no había un mecanismo que garantizara que el suscriptor de la opción cumpliría el contrato. Si el suscriptor no cumplía el acuerdo cuando se ejercía la opción, el comprador debía recurrir a costosas demandas.

Creación de bolsas de opciones

En abril de 1973, la Bolsa de Comercio de Chicago estableció una nueva bolsa, la Bolsa de Opciones de Chicago, con el propósito específico de negociar opciones sobre acciones. Desde entonces, los mercados de opciones han adquirido cada vez más popularidad entre los inversionistas. La Bolsa Americana de Valores (`www.amex.com`) y la Bolsa de Valores de Filadelfia (`www.phlx.com`) comenzaron a negociar opciones sobre acciones en 1975. La Bolsa del Pacífico (`www.pacificex.com`) hizo lo mismo en 1976. Para inicios de la década de 1980, el volumen de transacciones había crecido tan rápidamente que el número de acciones subyacentes a los contratos de opciones negociados cada día excedía al volumen diario de acciones cotizadas en la Bolsa de Valores de Nueva York. La Bolsa Internacional de Valores (`www.iseoptions.com`) inició la negociación [totalmente electrónica] de opciones en el año 2000 y la bolsa de opciones de Boston (`www.bostonoptions.com`) hizo lo mismo en 2004.

En la década de 1980, en Estados Unidos se desarrollaron mercados de opciones sobre divisas, opciones sobre índices bursátiles y opciones sobre contratos de futuros. La Bolsa de Valores de Filadelfia es la bolsa principal para negociar opciones sobre divisas. La Bolsa de Opciones de Chicago negocia opciones sobre el índice S&P 100 (OEX), el índice S&P 500 (SPX), el Índice Nasdaq 100 y el Promedio Industrial Dow Jones (DJX). La mayoría de las bolsas que hoy ofrece contratos de futuros también ofrece opciones sobres estos contratos. Así, la Bolsa de Comercio de Chicago ofrece opciones sobre futuros de maíz, la Bolsa Mercantil de Chicago ofrece opciones sobre futuros de ganado bovino en pie, etc. Actualmente hay bolsas de opciones en todo el mundo. (Vea la tabla al final de este libro).

Mercado over-the-counter de opciones

El mercado over-the-counter de opciones ha crecido con mucha rapidez desde principios de la década de 1980 y ahora es mayor que el mercado negociado en bolsa. Una ventaja de las opciones negociadas en el mercado over-the-counter es que puede adaptarse para satisfacer las necesidades particulares de un tesorero corporativo o administrador de fondos. Por ejemplo, un tesorero corporativo que desea una opción de compra europea para comprar 1.6 millones de libras esterlinas a un tipo de cambio de 1.9125 podría no encontrar exactamente el producto requerido negociado en una bolsa. Sin embargo, es probable que muchos bancos de inversión estén dispuestos a proporcionar una cotización para un contrato over-the-counter que satisfaga las necesidades precisas del tesorero.

1.7 TIPOS DE NEGOCIANTES

Los mercados de futuros, a plazo y de opciones han sido sorprendentemente exitosos. La razón principal es que han atraído a diversos tipos de negociantes y tienen mucha liquidez. Cuando un inversionista desea tomar parte en un contrato, por lo general no tiene problema para encontrar a alguien dispuesto a ser la otra parte.

Podemos identificar tres categorías generales de negociantes: coberturistas, especuladores y arbitrajistas. Los coberturistas usan los contratos de futuros, a plazo y de opciones para reducir el riesgo al que se enfrentan por cambios futuros en una variable de mercado. Los especuladores los utilizan para apostar sobre la dirección futura de un variable de mercado. Los arbitrajistas toman posiciones de compensación en dos o más instrumentos para asegurar una utilidad. Como se describe en la Panorámica de negocios 1.1, los fondos de cobertura se han convertido en grandes usuarios de derivados con tres propósitos.

En las siguientes secciones consideramos con más detalle las actividades de cada tipo de negociante.

1.8 COBERTURISTAS

En esta sección mostramos cómo los coberturistas reducen sus riesgos con contratos a plazo y opciones.

Panorámica de negocios 1.1 Fondos de cobertura

Los fondos de cobertura (hedge funds) se han convertido en importantes usuarios de derivados con fines de cobertura, especulación y arbitraje. Un fondo de cobertura es similar a un fondo de inversión en que invierte fondos a favor de los clientes. No obstante, a diferencia de los fondos de inversión, los fondos de cobertura no necesitan registrarse bajo la ley federal de valores de EUA. Esto se debe a que aceptan fondos únicamente de individuos financieramente sofisticados y no ofrecen sus títulos al público. Los fondos de inversión están sujetos a regulaciones que requieren que las acciones incluidas en los fondos lo sean de manera justa, y que las acciones sean rescatables en cualquier momento, que se divulguen las políticas de inversión, que el uso del apalancamiento sea limitado, que no se tomen posiciones cortas, etc. Los fondos de cobertura están relativamente exentos de estas regulaciones, lo que les da mucha libertad para desarrollar estrategias de inversiones complejas, poco convencionales y de propiedad exclusiva. Las comisiones que cobran los administradores de fondos de cobertura dependen del desempeño del fondo y son relativamente altas, comúnmente de 1 a 2% del monto invertido más 20% de las utilidades. Los fondos de cobertura han aumentado en popularidad, con más de $1 billón invertidos en todo el mundo. Los "fondos de fondos" se establecieron para invertir en una cartera de otros fondos de cobertura.

La estrategia de inversión que sigue un administrador de fondos de cobertura suele implicar el uso de derivados para establecer una posición especulativa o de arbitraje. Una vez que se ha definido la estrategia, el administrador de fondos de cobertura debe:

1. Evaluar los riesgos a los cuales se expone el fondo.
2. Decidir qué riesgos son aceptables y cuáles se cubrirán.
3. Diseñar estrategias (que suelen incluir derivados) para cubrir los riesgos inaceptables.

A continuación se presentan algunos ejemplos de los nombres usados para los fondos de cobertura, junto con las estrategias de negociación que siguen:

Arbitraje convertible: toma de una posición larga en un bono convertible, junto con una posición corta administrada activamente en el capital subyacente.

Valores en dificultades: compra de títulos emitidos por empresas en quiebra o próximas a la quiebra.

Mercados emergentes: inversión en la deuda y el capital de empresas de países en desarrollo o emergentes, y en la deuda de los países mismos.

Fondo de crecimiento: inversión en acciones de crecimiento, ejerciendo una cobertura con las ventas de opciones.

Macro o global: uso de derivados para especular sobre cambios de tasas de interés y tipos de cambio.

Mercado neutral: compra de títulos que se consideran subvaluados y vender títulos que se consideran sobrevaluados, de manera que la exposición a la dirección general del mercado sea de cero.

Cobertura con contratos de futuros

Suponga que es 14 de julio de 2006 y que ImportCo, una compañía con sede en Estados Unidos de América, sabe que deberá pagar 10 millones de libras el 14 de octubre de 2006 por los bienes que compró a un proveedor del Reino Unido. La tabla 1.1 muestra las cotizaciones del tipo de cambio USD/GBP que realizó una institución financiera. ImportCo podría cubrir su riesgo cambiario com-

Ejemplo 1.1 Cobertura con contratos a plazo

La fecha es 14 de julio de 2006. ImportCo debe pagar 10 millones de libras el 3 de octubre de 2006 por los bienes adquiridos del Reino Unido. Usando las cotizaciones de la tabla 1.1, compra 10 millones de libras esterlinas en el mercado a plazo a tres meses para asegurar un tipo de cambio de 1.8405 por las libras esterlinas que pagará.

ExportCo recibirá 30 millones de libras esterlinas el 14 de octubre de 2006 de un cliente en el Reino Unido. Usando las cotizaciones de la tabla 1.1, vende 30 millones de libras esterlinas en el mercado a plazo a tres meses para asegurar un tipo de cambio de 1.8400 por las libras esterlinas que recibirá.

prando libras (GBP) a la institución financiera en el mercado a plazo a tres meses a 1.8405. Esto fijaría el precio a pagar al exportador inglés en $18,405,000.

A continuación, considere otra empresa estadounidense, a la que denominaremos ExportCo, que exporta bienes al Reino Unido y que, el 14 de julio de 2006, sabe que recibirá 30 millones de libras esterlinas tres meses después. ExportCo puede cubrir su riesgo cambiario vendiendo 30 millones de libras esterlinas en el mercado a plazo a tres meses a un tipo de cambio de 1.8400. Esto tendría el efecto de asegurar los dólares estadounidenses que recibirá por las libras en $55,200,000.

El ejemplo 1.1 resume las estrategias de cobertura disponibles para ImportCo y ExportCo. Observe que sería mejor para una empresa decidir no cubrir que cubrir. Otra posibilidad es que le vaya peor. Considere a ImportCo. Si el tipo de cambio es de 1.7000 el 14 de octubre y la empresa no lo ha cubierto, los 10 millones de libras que debe pagar le costarán 17 millones de dólares, un monto menor a $18,405,000. Por otra parte, si el tipo de cambio es de 1.9000, los 10 millones de libras le costarán 19 millones de dólares, ¡y la empresa desearía haberlos cubierto! La posición de ExportCo es opuesta si no cubre. Si el tipo de cambio en septiembre resulta ser menor a 1.8400, la empresa desearía haber cubierto; si la tasa es mayor a 1.8400, estará satisfecha de no haber cubierto.

Este ejemplo ilustra un aspecto clave de la cobertura. La cobertura reduce el riesgo, pero el resultado con el uso de cobertura no necesariamente será mejor que el resultado sin el uso de la misma.

Cobertura con opciones

Las opciones también se usan como cobertura. El ejemplo 1.2 considera el caso de un inversionista que en mayo de un año específico posee 1,000 acciones de Microsoft. El precio de la acción es de $28 por acción. El inversionista está preocupado por una posible disminución del precio de

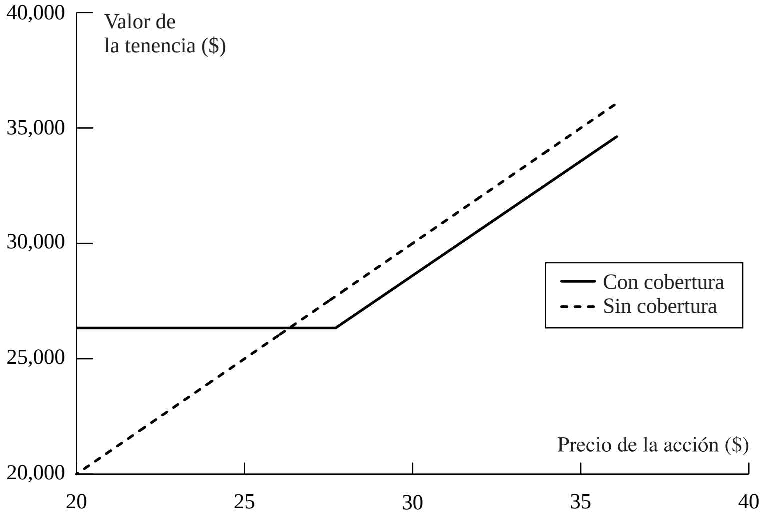
Ejemplo 1.2 Cobertura con opciones

Es el mes de mayo. Un inversionista que posee 1,000 acciones de Microsoft desea protección contra una posible disminución del precio de la acción durante los próximos dos meses. Las cotizaciones de mercado son las siguientes:

Precio actual de la acción de Microsoft: $28
Precio de la opción de venta de julio sobre Microsoft con un precio de ejercicio de 27.50: $1

El inversionista compra 10 contratos de opciones de venta a un costo total de $1,000. Esto le da el derecho a vender 1,000 acciones a $27.50 por acción durante los próximos dos meses.

Figura 1.4 Valor dentro de dos meses de la tenencia de Microsoft presentada en el ejemplo 1.2



la acción en los dos próximos meses, por lo que desea protección. El inversionista podría comprar 10 contratos de opciones de venta de julio sobre Microsoft en la Bolsa de Opciones de Chicago con un precio de ejercicio de $27.50. Esto daría al inversionista el derecho a vender un total de 1,000 acciones a un precio de $27.50. Si el precio cotizado de la opción es de $1, cada contrato de opciones costaría $100 \times \$1 = \$100$, y el costo total de la estrategia de cobertura sería de $10 \times \$100 = \$1,000$.

La estrategia cuesta $1,000, pero garantiza que las acciones se vendan por lo menos a $27.50 por acción durante la vida de la opción. Si el precio de mercado de Microsoft cae por debajo de los $27.50, las opciones se ejercen de manera que se reciban $27,500 por toda la tenencia. Cuando se toma en cuenta el costo de las opciones, el monto obtenido es de $26,500. Si el precio de mercado permanece por arriba de $27.50, las opciones no se ejercen y se vencen sin valor. Sin embargo, en este caso, el valor de la tenencia siempre excede a $27,500 (o a $26,500 cuando se toma en cuenta el costo de las opciones). La figura 1.4 muestra el valor neto de la cartera (después de tomar en cuenta el costo de las opciones) como función del precio de la acción de Microsoft dentro de dos meses. La línea punteada indica el valor de la cartera, asumiendo que no hay cobertura.

Una comparación

Hay una diferencia fundamental entre el uso de contratos a plazo y el de opciones con propósitos de cobertura. Los contratos a plazo están diseñados para neutralizar el riesgo al fijar el precio que el coberturista pagará o recibirá por el activo subyacente. Por el contrario, los contratos de opciones proporcionan seguro. Ofrecen a los inversionistas una manera de protegerse contra los cambios adversos de precios en el futuro, permitiéndoles beneficiarse de los cambios favorables de precios. A diferencia de los contratos a plazo, las opciones implican el pago de una comisión por adelantado.

1.9 ESPECULADORES

Ahora analizaremos cómo usan los especuladores los mercados de futuros y opciones. En tanto que los coberturistas desean evitar una exposición a cambios adversos en el precio de un activo, los especuladores desean tomar una posición en el mercado. Apuestan a que el precio del activo subirá o bajará.

Especulación con futuros

Considere a un especulador estadounidense que cree, en febrero, que la libra esterlina (£) se fortalecerá frente al dólar estadounidense durante los dos meses siguientes y está dispuesto a respaldar esa corazonada con un monto de £250,000. Algo que el especulador puede hacer es comprar £250,000 en el mercado al contado con la esperanza de que la libra esterlina se venda posteriormente a un precio más alto. (Una vez adquirida, la libra esterlina se deberá mantener en una cuenta que devengue intereses). Otra posibilidad es tomar una posición larga en cuatro contratos de futuros de abril sobre libras esterlinas en la CME. (Cada contrato de futuros es para comprar £62,500). La tabla 1.3 resume las dos alternativas en el supuesto de que el tipo de cambio vigente es de 1.8470 dólares por libra y que el precio de futuros de abril es de 1.8410 dólares por libra. Si el tipo de cambio resulta ser de 1.9000 dólares por libra en abril, la alternativa de los contratos de futuros permite al especulador obtener una utilidad de $(1.9000 - 1.8410) \times 250{,}000 = \$14{,}750$. La alternativa del mercado al contado da lugar a 250 mil unidades de un activo adquirido en \$1.8470 en febrero y vendido en \$1.9000 en abril, de tal manera que se obtiene una utilidad de $(1.9000 - 1.8470) \times 250{,}000 = \$13{,}250$. Si el tipo de cambio baja a 1.8000 dólares por libra, el contrato de futuros ocasiona una pérdida de $(1.8410 - 1.8000) \times 250{,}000 = \$10{,}250$, en tanto que la alternativa del mercado al contado origina una pérdida de $(1.8470 - 1.8000) \times 250{,}000 = \$11{,}750$. Al parecer, las alternativas dan lugar a utilidades y pérdidas ligeramente diferentes, pero estos cálculos no reflejan el interés ganado o pagado.

Entonces, ¿cuál es la diferencia entre las dos alternativas? La primera alternativa de comprar libras esterlinas requiere una inversión por adelantado de \$461,750. En contraste, la segunda alternativa requiere únicamente que el especulador deposite un pequeño monto de efectivo (quizá de \$20,000) en lo que se conoce como cuenta de margen. (Las cuentas de margen se explican en el capítulo 2). El mercado de futuros permite que el especulador obtenga apalancamiento. Con un desembolso inicial relativamente pequeño, el inversionista puede tomar una importante posición especulativa.

Tabla 1.3 Especulación con contratos al contado y de futuros. Un contrato de futuros es sobre £62,500. Margen inicial = \$20,000

	Transacción en febrero	
	Comprar £250,000 *Precio al contado = 1.8470*	*Comprar 4 contratos de futuros* *Precio de futuros = 1.8410*
Inversión	\$461,750	\$20,000
Utilidad si el precio al contado de abril = 1.9000	\$13,250	\$14,750
Utilidad si el precio al contado de abril = 1.8000	−\$11,750	−\$10,250

Especulación con opciones

Las opciones también se usan con fines de especulación. Suponga que es octubre y que un especulador cree que es probable que Amazon.com aumente en valor durante los dos meses siguientes. Actualmente, el precio de la acción es de \$20 y una opción de compra a dos meses con un precio de ejercicio de \$22.50 se vende en este momento a \$1. La tabla 1.4 ilustra dos alternativas posibles asumiendo que el especulador está dispuesto a invertir \$2,000. Una alternativa es la compra de 100 acciones. La otra implica la compra de 2,000 opciones de compra (es decir, 20 contratos de opciones de compra). Suponga que la corazonada del especulador es correcta y que el precio de las acciones de Amazon.com sube a \$27 para diciembre. La primera alternativa de comprar la acción genera una utilidad de

$$100 \times (\$27 - \$20) = \$700$$

No obstante, la segunda alternativa es mucho más rentable. Una opción de compra sobre Amazon.com un precio de ejercicio de \$22.50 proporciona un beneficio de \$4.50 porque permite que algo que tiene un valor de \$27 se adquiera por \$22.50. El beneficio total obtenido de las 2,000 opciones compradas bajo la segunda alternativa es

$$2{,}000 \times \$4.50 = \$9{,}000$$

Si se resta el costo original de las opciones se genera una utilidad neta de

$$\$9{,}000 - \$2{,}000 = \$7{,}000$$

Por lo tanto, la estrategia de compra de opciones es 10 veces más rentable que la estrategia de compra de la acción.

Las opciones también dan lugar a una mayor posibilidad de pérdida. Imagine que el precio de la acción baja a \$15 para diciembre. La primera alternativa de comprar la acción ocasiona una pérdida de

$$100 \times (\$20 - \$15) = \$500$$

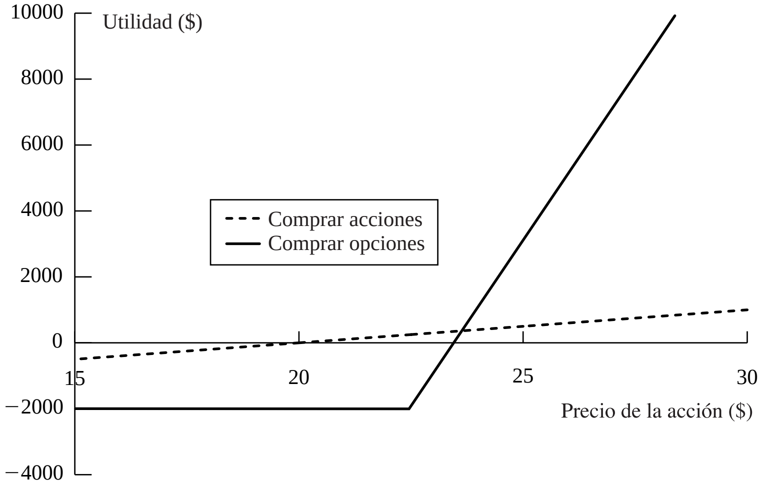
Debido a que las opciones de compra vencen sin ser ejercidas, la estrategia de compra de opciones daría lugar a una pérdida de \$2,000; es decir, el monto original pagado por las opciones. La figura 1.5 muestra la utilidad o la pérdida generada con las dos estrategias en función del precio de Amazon.com dentro de dos meses.

Las opciones, al igual que los futuros, proporcionan una forma de apalancamiento. Para una inversión determinada, el uso de opciones magnifica las consecuencias financieras. Los buenos resultados se vuelven muy buenos, en tanto que los malos ocasionan la pérdida total de la inversión inicial.

Tabla 1.4 Comparación de las utilidades (pérdidas) de dos estrategias alternativas que usan \$2,000 para especular sobre la acción de Amazon.com en octubre

	Precio de la acción en diciembre	
Estrategia del inversionista	*\$15*	*\$27*
Comprar 100 acciones	(\$500)	\$700
Comprar 2,000 opciones de compra	(\$2,000)	\$7,000

Figura 1.5 Utilidad o pérdida de dos estrategias alternativas al especular sobre el precio de la acción de Amazon.com



Una comparación

Los futuros y las opciones son instrumentos similares para los especuladores en que ambos proporcionan una manera de obtener un tipo de apalancamiento. Sin embargo, hay una diferencia importante entre los dos. Cuando un especulador usa futuros, la posibilidad tanto de pérdida como de ganancia es muy grande. Cuando se utilizan opciones no afecta qué tan mal se pongan las cosas, ya que la pérdida del especulador se limita al monto que pagó por las opciones.

1.10 ARBITRAJISTAS

Los arbitrajistas constituyen un tercer grupo importante de participantes en los mercados de futuros, a plazo y de opciones. El arbitraje implica asegurar una utilidad libre de riesgo, realizando simultáneamente transacciones en dos o más mercados. En capítulos posteriores analizaremos cómo a veces el arbitraje es posible cuando el precio de futuros de un activo difiere del precio spot (de contado). Además examinaremos de qué manera se usa el arbitraje en los mercados de opciones. Esta sección ilustra el concepto de arbitraje con un ejemplo muy sencillo.

El ejemplo 1.3 considera una acción que cotiza tanto en la Bolsa de Valores de Nueva York (`www.nyse.com`) como en la Bolsa de Valores de Londres (`www.stockex.co.uk`). Suponga que el precio de la acción es de \$182 en Nueva York y de £100 en Londres cuando el tipo de cambio es de \$1.8500 por libra. Un arbitrajista podría comprar simultáneamente 100 acciones en Nueva York y venderlas en Londres para obtener una utilidad libre de riesgo de

$$100 \times [(\$1.85 \times 100) - \$182]$$

o \$300 si no hay costos de transacción. Probablemente los costos de transacción eliminarían la utilidad de un inversionista pequeño. No obstante, un importante banco de inversión se enfrenta a

Ejemplo 1.3 Oportunidad de arbitraje

Una acción cotiza tanto en la Bolsa de Valores de Nueva York como en la Bolsa de Valores de Londres. Se obtuvieron las siguientes cotizaciones:

Bolsa de Valores de Nueva York: $182 por acción
Bolsa de Valores de Londres: £100 por acción
Valor de £1: $1.8500

Un negociante hace lo siguiente:

1. Compra 100 acciones en Nueva York
2. Vende las acciones en Londres
3. Convierte los ingresos de la venta de libras a dólares.

Esto genera una utilidad de

$$100 \times [(\$1.85 \times 100) - \$182] = \$300$$

costos de transacción muy bajos tanto en el mercado accionario como en el mercado de divisas, por lo que encontraría muy atractiva la oportunidad de arbitraje y trataría de aprovecharla al máximo.

Las oportunidades de arbitraje, como la del ejemplo 1.3, no duran mucho tiempo. A medida que los arbitrajistas compran la acción en Nueva York, las fuerzas de la oferta y la demanda ocasionan el aumento del precio del dólar. Del mismo modo, a medida que venden la acción en Londres, el precio de la libra esterlina baja. Rápidamente, ambos precios llegarán a ser equivalentes al tipo de cambio vigente. De hecho, la existencia de arbitrajistas deseosos de obtener utilidades hace improbable que, en primer lugar, alguna vez pudiera haber una gran disparidad entre el precio de la libra esterlina y el precio del dólar. Si generalizamos a partir de este ejemplo, podemos decir que la existencia misma de los arbitrajistas significa que, en la práctica, sólo se observan muy pocas oportunidades de arbitraje de los precios cotizados en la mayoría de los mercados financieros. En este libro, casi todos los argumentos relacionados con los precios de futuros, los precios a plazos y los valores de los contratos de opciones, se basarán en el supuesto de que no hay oportunidades de arbitraje.

1.11 PELIGROS

Los derivados son instrumentos muy versátiles. Como hemos visto, se usan con fines de cobertura, especulación y arbitraje. Esta misma versatilidad es la que ocasiona problemas. A veces, los negociantes que tienen la orden de cubrir riesgos o seguir una estrategia de arbitraje se convierten (consciente o inconscientemente) en especuladores. Los resultados pueden ser desastrosos. Un ejemplo de esto son las actividades de Nick Leeson de Barings Bank (vea Panorámica de negocios 1.2).[2]

Para evitar el tipo de problemas que Barings enfrentó, es muy importante para las corporaciones, tanto financieras como no financieras, establecer controles que garanticen que los derivados se usen con el propósito previsto. Es necesario establecer límites de riesgo y vigilar diariamente las actividades de los negociantes para tener la seguridad de que se apeguen a ellos.

[2] La película *Rogue Trader* presenta una buena dramatización de la quiebra de Barings Bank.

Panorámica de negocios 1.2 El desastre de Barings Bank

Los derivados son instrumentos muy versátiles que se usan con fines de cobertura, especulación y arbitraje. Uno de los riesgos a los que se enfrenta una compañía que negocia derivados es que un empleado, que tiene la orden de cubrir o buscar oportunidades de arbitraje, se convierta en especulador.

Nick Leeson, empleado de la sucursal de Singapur de Barings Bank en 1995, tenía la orden de buscar oportunidades de arbitraje entre los precios de futuros del índice Nikkei 225 en la bolsa de Singapur y la bolsa de Osaka. Con el tiempo, Leeson dejó de ser un arbitrajista para convertirse en especulador, sin que nadie de la oficina central de Barings en Londres se diera cuenta plenamente que había cambiado su manera de usar los derivados. Comenzó a incurrir en pérdidas, las cuales fue capaz de ocultar. Luego empezó a tomar mayores posiciones especulativas en un intento de recuperar las pérdidas, pero sólo logró empeorarlas.

Para el momento en que se descubrieron las actividades de Leeson, la pérdida total se aproximaba a 1,000 millones de dólares. En consecuencia, Barings (un banco con una antigüedad de 200 años) desapareció. Una de las lecciones obtenidas del caso Barings es la importancia de definir límites de riesgo perfectamente claros para los negociantes y después vigilar con gran cuidado lo que hacen para tener la seguridad de que se apeguen a ellos.

RESUMEN

En este capítulo hemos dado un primer vistazo a los mercados de futuros, a plazo y de opciones. Los contratos de futuros y a plazo son acuerdos para comprar o vender un activo en una fecha futura específica a cierto precio. Los contratos de futuros se negocian en bolsas, en tanto que los contratos a plazo se negocian en el mercado over-the-counter. Hay dos tipos de opciones: de compra y de venta. Una opción de compra otorga al tenedor el derecho a comprar un activo en una fecha específica a cierto precio. Una opción de venta otorga al tenedor el derecho a vender un activo en una fecha específica a cierto precio. Las opciones se negocian tanto en bolsas como en el mercado over-the-counter.

Los contratos de futuros, a plazo y de opciones han sido innovaciones muy exitosas. Se identifican tres tipos principales de participantes de mercado: coberturistas, especuladores y arbitrajistas. Los coberturistas están en una posición en la que se enfrentan al riesgo relacionado con el precio de un activo. Utilizan los contratos de futuros, a plazo o de opciones para reducir o eliminar este riesgo. Los especuladores apuestan sobre los cambios futuros en el precio de un activo. Los contratos de futuros, a plazo y de opciones les proporcionan apalancamiento adicional; es decir, estos contratos aumentan la posibilidad tanto de ganancias como de pérdidas en una inversión especulativa. Los arbitrajistas están en el negocio para aprovechar la discrepancia de precios en dos mercados diferentes. Por ejemplo, si ven que el precio de futuros de un activo difiere del precio spot (al contado), toman posiciones de compensación en ambos mercados para asegurar una utilidad.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Chancellor, E. *Devil Take the Hindmost—A History of Financial Speculation*. Nueva York: Farra Straus Giroux, 1999.

Merton, R. C. “Finance Theory and Future Trends: The Shift to Integration”, *Risk*, 12, 7 (julio de 1999): 48-51.
Miller, M. H. “Financial Innovation: Achievements and Prospects”, *Journal of Applied Corporate Finance*, 4 (invierno de 1992): 4-11.
Rawnsley, J. H. *Total Risk: Nick Leeson and the Fall of Barings Bank*. Nueva York: Harper Collins, 1995.
Zhang, P. G. *Barings Bankruptcy and Financial Derivatives*. Singapur: World Scientific, 1995.

Examen (respuestas al final del libro)

1.1. ¿Cuál es la diferencia entre una posición larga y una posición corta en un contrato de futuros?

1.2. Explique cuidadosamente la diferencia entre: a) cobertura, b) especulación y c) arbitraje.

1.3. ¿Cuál es la diferencia entre a) participar en un contrato de futuros largo cuando el precio de futuros es de $50 y b) tomar una posición larga en una opción de compra con un precio de ejercicio de $50?

1.4. Un inversionista toma una posición corta en un contrato a plazo para vender 100 mil libras esterlinas por dólares estadounidenses a un tipo de cambio de 1.9000 dólares estadounidenses por libra esterlina. ¿Cuánto gana o pierde el inversionista si el tipo de cambio al término del contrato es de a) 1.8900 y b) 1.9200?

1.5. Suponga que usted firma un contrato con un precio de ejercicio de $40 y una fecha de vencimiento dentro de tres meses. El precio actual de la acción es de $41 y un contrato de opciones de venta se realiza sobre 100 acciones. ¿A qué se ha comprometido? ¿Cuánto podría ganar o perder?

1.6. A usted le gustaría especular sobre un aumento en el precio de determinada acción. El precio actual de la acción es de $29 y una opción de compra a tres meses con un precio de ejercicio de $30 cuesta $2.90. Usted tiene $5,800 para invertir. Identifique dos estrategias alternativas y describa brevemente las ventajas y desventajas de cada una.

1.7. ¿Cuál es la diferencia entre el mercado over-the-counter (no inscrito) y el mercado negociado en bolsa? ¿Qué son las cotizaciones de demanda y de oferta de un creador de mercado en el mercado over-the-counter?

Preguntas y problemas

1.8. Suponga que usted posee 5,000 acciones con un valor de $25 cada una. ¿Cómo se usan las opciones de venta para que actúen como un seguro contra una disminución en el valor de su tenencia durante los próximos cuatro meses?

1.9. Cuando una acción se emite por primera vez proporciona fondos para una empresa. ¿Ocurre lo mismo con una opción sobre una acción cotizada en bolsa? Analice.

1.10. Explique por qué un contrato de futuros puede utilizarse con fines de especulación o de cobertura.

1.11. Un ganadero espera tener 120 mil libras de ganado bovino en pie para venderlas dentro de tres meses. El contrato de futuros de ganado bovino en pie de la Bolsa Mercantil de Chicago entrega 40 mil libras de ganado. ¿Cómo puede el ganadero usar el contrato con fines de cobertura? Desde el punto de vista del ganadero, ¿cuáles son las ventajas y las desventajas de la cobertura?

1.12. Imagine que estamos en el mes de julio de 2007. Una compañía minera acaba de descubrir una pequeña veta de oro y requerirá seis meses para construir la mina. Después de esto, el oro se extraerá de manera más o menos continua durante un año. Hay contratos de futuros sobre el oro disponibles en la Bolsa de Productos de Nueva York. Las entregas son bimestrales de agosto de 2007 a diciembre de 2008. Cada contrato es por la entrega de 100 onzas. Analice cómo podría usar la compañía minera los contratos de futuros como cobertura.

1.13. Suponga que una opción de compra para marzo sobre una acción con un precio de ejercicio de $50 cuesta $2.50 y que se mantiene hasta marzo. ¿En qué circunstancias el tenedor de la opción obtendrá una ganancia? ¿O bajo qué circunstancias se ejercerá la opción? Realice un diagrama que muestre de qué manera la utilidad sobre una posición larga en la opción depende del precio de la acción al vencimiento de la opción.

1.14. Imagine que una opción de venta para junio sobre una acción con un precio de ejercicio de $60 cuesta $4 y que se mantiene hasta junio. ¿En qué circunstancias el tenedor de la opción obtendrá una ganancia? ¿En qué circunstancias se ejercerá la opción? Realice un diagrama que muestre de qué manera la utilidad sobre una posición corta en la opción depende del precio de la acción al vencimiento de la opción.

1.15. Suponga que estamos en mayo y que un negociante expide una opción de compra para septiembre con un precio de ejercicio de $20. El precio de la acción es de $18 y el precio de la opción es de $2. Describa los flujos de efectivo del inversionista si la opción se mantiene hasta septiembre y el precio de la acción es de $25 en este momento.

1.16. Un inversionista expide una opción de venta para diciembre con un precio de ejercicio de 30 dólares. El precio de la opción es de 4 dólares. ¿En qué circunstancias el inversionista obtiene una ganancia?

1.17. La Bolsa de Comercio de Chicago ofrece un contrato de futuros sobre bonos del Tesoro a largo plazo. Describa a los inversionistas que probablemente usen este contrato.

1.18. Un directivo de una aerolínea argumentó: "No tiene sentido que usemos futuros de petróleo. Hay tantas posibilidades de que el precio del petróleo en el futuro sea menor que el precio de futuros como de que sea mayor que este precio". Analice el punto de vista del directivo.

1.19. "Las opciones y los futuros son juegos de suma cero". ¿Qué cree que significa esta afirmación?

1.20. Un negociante toma posición corta en un contrato a plazo sobre 100 millones de yenes. El tipo de cambio a plazo es de $0.0080 por yen. ¿Cuánto gana o pierde el negociante si el tipo de cambio al término del contrato es de a) $0.0074 por yen o de b) $0.0091 por yen?

1.21. Un negociante toma una posición corta en un contrato de futuros de algodón cuando el precio de futuros es de $0.50 por libra. El contrato es por una entrega de 50 mil libras. ¿Cuánto gana o pierde el negociante si el precio del algodón al término del contrato es de a) 48.20 centavos de dólar por libra, o de b) 51.30 centavos de dólar por libra?

1.22. Una compañía sabe que recibirá cierto monto de una divisa dentro de cuatro meses. ¿Qué tipo de contrato de opciones es adecuado como cobertura?

1.23. Una compañía estadounidense deberá pagar 1 millón de dólares canadienses dentro de seis meses. Explique cómo puede cubrirse el riesgo cambiario con el uso de a) un contrato a plazo y b) una opción.

Preguntas de tarea

1.24. Actualmente, el precio del oro es de $600 por onza. Hay contratos a plazo disponibles para comprar o vender oro a $800 para entrega dentro de un año. Un arbitrajista puede adquirir un préstamo a 10% anual. ¿Qué debe hacer el arbitrajista? Asuma que el costo de almacenamiento del oro es de cero y que este activo no proporciona ingresos.

1.25. Analice las opciones sobre divisas como cobertura en la situación descrita en el ejemplo 1.1, de manera que: a) ImportCo tenga la seguridad de que su tipo de cambio será menor a 1.8600 y b) ExportCo tenga la certeza de que su tipo de cambio será al menos de 1.8200.

1.26. El precio actual de una acción es de $94 y las opciones de compra europeas a tres meses con un precio de ejercicio de $95 se venden actualmente a $4.70. Un inversionista cree que el precio de la acción subirá y está tratando de decidir entre comprar 100 acciones y adquirir 2,000 opciones de compra (20 contratos). Ambas estrategias implican una inversión de $9,400. ¿Qué consejo le daría? ¿Qué tanto debe subir el precio de la acción para que la estrategia de compra de opciones sea más rentable?

1.27. El 12 de septiembre de 2006, un inversionista posee 100 acciones de Intel. Como indica la tabla 1.2, el precio de la acción es de $19.56 y una opción de venta para enero con un precio de ejercicio de $17.50 cuesta $0.475. El inversionista compara dos alternativas para limitar el riesgo de pérdida. La primera consiste en comprar un contrato de opciones de venta para enero con un precio de ejercicio de $17.50. La segunda implica dar instrucciones a un intermediario de que venda las 100 acciones tan pronto como el precio de Intel llegue a $17.50. Analice las ventajas y las desventajas de las dos estrategias.

1.28. Un negociante adquiere una opción de compra europea y vende una opción de venta europea. Las opciones tienen el mismo activo subyacente, precio de ejercicio y vencimiento. Describa la posición del negociante. ¿En qué circunstancias el precio de la opción de compra iguala al precio de la opción de venta?

2 CAPÍTULO Mecánica de los mercados de futuros

En el capítulo 1 explicamos que tanto los contratos de futuros como a plazo son acuerdos para comprar o vender un activo en una fecha futura a cierto precio. Los contratos de futuros se negocian en bolsas organizadas que estandarizan los términos de los contratos. Por el contrario, los contratos a plazo son acuerdos privados entre dos instituciones financieras o entre una institución financiera y uno de sus clientes.

Este capítulo aborda detalles sobre la forma en que operan los mercados de futuros. Examinamos aspectos como la especificación de los contratos, la operación de las cuentas de margen, la organización de las bolsas, la regulación de los mercados, cómo se realizan las cotizaciones y el tratamiento de las transacciones de futuros para propósitos contables y fiscales. Comparamos los contratos de futuros con los contratos a plazo y explicamos la diferencia entre los pagos que se obtienen de ellos.

2.1 APERTURA Y CIERRE DE POSICIONES DE FUTUROS

Un contrato de futuros es un acuerdo para comprar o vender un activo a un precio determinado en una fecha futura específica. Por lo general, un contrato se denomina de acuerdo con su mes de entrega. Así, un inversionista podría dar instrucciones a un corredor para que compre un contrato de futuros de petróleo de octubre. Hay un periodo durante el mes de entrega (con frecuencia todo el mes) en que ésta puede realizarse. Por lo regula, la negociación del contrato termina en algún momento durante el periodo de entrega. La parte con la posición corta elige cuándo se realiza la entrega.

El lector podría sorprenderse al saber que la gran mayoría de los contratos de futuros que se inicia no terminan en la entrega. La razón es que casi todos los inversionistas deciden cerrar sus posiciones antes del periodo de entrega especificado en el contrato. Realizar o recibir una entrega bajo los términos de un contrato de futuros es a menudo inconveniente y, en algunos casos, bastante caro. Esto ocurre incluso en el caso de un coberturista que desea comprar o vender el activo subyacente al contrato de futuros. Generalmente, este coberturista prefiere cerrar la posición de futuros y después comprar o vender el activo en la forma usual.

Cerrar una posición implica participar en una transacción opuesta a la transacción original que abrió la posición. Por ejemplo, un inversionista que compra cinco contratos de futuros de maíz de julio el 6 de mayo puede cerrar la posición el 20 de junio con la venta (es decir, vendiendo en corto) cinco contratos de futuros de maíz de julio. Un inversionista que vende (es decir, vende en corto) cinco contratos de julio el 6 de mayo puede cerrar la posición el 20 de junio mediante la compra de cinco contratos de julio. En cada caso, la ganancia o la pérdida total del inversionista la determina el cambio en el precio de futuros entre el 6 de mayo y el 20 de junio.

La entrega es tan rara que los negociantes olvidan a veces cómo funciona el proceso de entrega (ver Panorámica de negocios 2.1). Sin embargo, dedicaremos parte de este capítulo a revisar los acuerdos de entrega de los contratos de futuros porque la posibilidad de la entrega final es la que relaciona el precio de futuros con el precio spot.[1]

2.2 ESPECIFICACIÓN DE UN CONTRATO DE FUTUROS

Las principales bolsas que negocian contratos de futuros se presentan en una lista al final de este libro. Al desarrollar un nuevo contrato, la bolsa de valores debe especificar con cierto detalle la naturaleza exacta del acuerdo entre ambas partes. En particular, debe especificar el activo, el tamaño del contrato (exactamente cuánto del activo se entregará con un contrato), dónde se realizará la entrega y cuándo se hará.

En ocasiones se especifican alternativas para el grado del activo que se entregará o para los sitios de entrega. Como regla general, la parte con la posición corta (la parte que acordó vender el activo) es la que decide lo que ocurrirá cuando la bolsa especifique las alternativas. Cuando la parte con la posición corta está lista para realizar la entrega, presenta un *aviso de intención de entrega* ante la bolsa. Este aviso indica las selecciones que ha hecho con relación al grado del activo que se entregará y el sitio de entrega.

Activo

Cuando el activo es una mercancía o un bien básico (*commodity*), puede haber mucha variación en la calidad de lo que está disponible en el mercado. Por lo tanto, cuando se especifica el activo, es importante que la bolsa estipule el grado o grados del bien básico que sean aceptables. La Junta de Comercio de Nueva York (NYBOT) especificó el activo en su contrato de futuros de jugo de naranja concentrado congelado como sólidos de naranja de Florida y/o Brasil que en EUA son Grado A, con un valor Brix no menor a 62.5 grados.

En el caso de algunos bienes básicos, se pueden entregar varios grados, pero el precio recibido depende del grado que se elija. Por ejemplo, el contrato de futuros de maíz de la Bolsa de Comercio de Chicago, el grado estándar es "Amarillo Núm. 2", pero se permiten sustituciones con un ajuste de precio establecido por la bolsa. El Amarillo Núm. 1 se entrega por 1.5 centavos de dólar más por bushel que el Amarillo Núm. 2. El Amarillo Núm. 3 se entrega por 1.5 centavos de dólar menos por bushel que el Amarillo Núm. 2.

Por lo general, en los contratos de futuros los activos financieros se definen de manera adecuada y clara. Por ejemplo, no hay necesidad de especificar el grado de un yen japonés. No obstante, los contratos de futuros sobre bonos y notas del Tesoro que se negocian en la Bolsa de Comercio de Chicago tienen algunas características interesantes. El activo subyacente en el contrato sobre bonos del Tesoro es cualquier bono del Tesoro de Estados Unidos de América a largo plazo con un vencimiento mayor a 15 años y que no es redimible en un periodo de 15 años. En el contrato de futuros sobre notas del Tesoro, el activo subyacente es cualquier nota del Tesoro a largo plazo con vencimiento no menor a 6.5 años y no mayor a 10 años a partir de la fecha de entrega. En ambos

[1] Como se mencionó en el capítulo 1, el precio al contado es el precio para una entrega casi inmediata.

Panorámica de negocios 2.1 Entrega imprevista de un contrato de futuros

Esta historia (que podría ser apócrifa) la relató al autor de este libro un director de alto nivel de una institución financiera. Trata sobre un nuevo empleado de la institución financiera que no había trabajado anteriormente en el sector de finanzas. Uno de los clientes participaba regularmente en un contrato de futuros largo sobre ganado bovino en pie con propósitos de cobertura y dio instrucciones de cerrar la posición en el último día de la transacción. (Los contratos de futuros sobre ganado bovino en pie se negocian en la Bolsa Mercantil de Chicago y cada contrato se estipula sobre 40 mil libras de ganado). Al nuevo empleado se le asignó la responsabilidad de manejar la cuenta.

Cuando llegó el momento de cerrar un contrato, el empleado observó que el cliente estaba en un contrato largo y dio instrucciones a un intermediario de la bolsa para comprar (no vender) un contrato. El resultado de este error fue que la institución financiera terminó con una posición larga en dos contratos de futuros sobre ganado bovino en pie. Cuando se detectó el error, la negociación había terminado.

La institución financiera (no el cliente) fue la responsable del error. En consecuencia, comenzó a revisar los detalles de los acuerdos de entrega de los contratos de futuros sobre ganado bovino en pie, algo que nunca había hecho antes. Bajo los términos del contrato, la parte con la posición corta podía entregar el ganado en diferentes sitios de Estados Unidos durante el mes de entrega. Como faltaba mucho tiempo, la institución financiera no podía hacer nada más que esperar que una parte con una posición corta emitiera un *aviso de intención de entrega* a la bolsa y que ésta comunicara dicho aviso a la institución financiera.

Por fin la institución financiera recibió un aviso de la bolsa y se dio cuenta de que recibiría el ganado bovino en pie en un sitio ubicado a 2,000 millas de distancia el martes siguiente. Enviaron al nuevo empleado a ese sitio para hacerse cargo de las cosas. Resultó que en el sitio se efectuaba una subasta de ganado cada martes. La parte con la posición corta, que hacía la entrega, compró el ganado en la subasta y lo entregó inmediatamente. Por desgracia, el ganado no podía revenderse sino hasta la próxima subasta de ganado del próximo martes. Por lo tanto, el empleado se enfrentó con el problema de hacer los arreglos para resguardar el ganado y alimentarlo durante una semana. ¡Éste fue un gran comienzo para un primer trabajo en el sector financiero!

casos, la bolsa de valores tiene una fórmula para ajustar el precio recibido de acuerdo con el cupón y la fecha de vencimiento del bono entregado. Esto se analiza en el capítulo 6.

Tamaño del contrato

El tamaño del contrato especifica la cantidad del activo que se entregará con un contrato. Ésta es una decisión importante para la bolsa. Si el tamaño del contrato es demasiado grande, muchos inversionistas que desean cubrir exposiciones relativamente pequeñas o tomar posiciones especulativas relativamente pequeñas no podrán usar la bolsa. Por otro lado, si el tamaño del contrato es muy pequeño, la transacción puede ser costosa, ya que hay un costo relacionado con cada contrato negociado.

El tamaño correcto de un contrato depende, evidentemente, del usuario probable. En tanto que el valor de lo que se entrega bajo un contrato de futuros sobre un producto agrícola puede ser de $10,000 a $20,000, es mucho más alto para algunos futuros financieros. Por ejemplo, bajo el contrato de futuros sobre bonos del Tesoro que se negocia en la Bolsa de Comercio de Chicago, se entregan instrumentos con un valor nominal de $100,000.

En algunos casos las bolsas de valores han incluido "mini" contratos para atraer a inversionistas más pequeños. Por ejemplo, el contrato Mini Nasdaq 100 de la CME se establece sobre 20 veces el índice Nasdaq 100, en tanto que el contrato regular se establece sobre 100 veces este índice.

Acuerdos de entrega

La bolsa debe especificar el lugar donde se realizará la entrega. Esto es particularmente importante para los bienes básicos que implican costos de transporte significativos. En el caso del contrato de jugo de naranja concentrado congelado de la NYBOT, la entrega se realiza a bodegas autorizadas por la bolsa, ubicadas en Florida, Nueva Jersey o Delaware.

Cuando se especifican lugares de entrega alternativos, el precio que recibe la parte con la posición corta se ajusta, en ocasiones, de acuerdo con el lugar que eligió dicha parte. El precio tiende a ser mayor cuando los lugares de entrega están relativamente lejos de las fuentes principales del bien básico.

Meses de entrega

Un contrato de futuros se denomina de acuerdo con su mes de entrega. La bolsa debe especificar el periodo exacto del mes en que se realizará la entrega. En el caso de muchos contratos de futuros, el periodo de entrega es todo el mes.

Los meses de entrega varían de un contrato a otro y los elige la bolsa para satisfacer las necesidades de los participantes del mercado. Por ejemplo, los futuros de maíz que se negocian en la Bolsa de Comercio de Chicago tienen meses de entrega en marzo, mayo, julio, septiembre y diciembre. En cualquier momento dado, se negocian contratos para el mes de entrega más cercano y para varios meses de entrega subsiguientes. La bolsa establece cuándo comenzará la negociación de un contrato de un mes específico, así como el último día de negociación de determinado contrato. Por lo general, la negociación termina algunos días antes del último día de entrega.

Cotizaciones de precios

La bolsa define cómo se cotizarán los precios. Por ejemplo, en la Bolsa Mercantil de Nueva York, los precios del petróleo crudo se cotizan en dólares y centavos. En la Bolsa de Comercio de Chicago, los futuros sobre bonos y notas del Tesoro se cotizan en dólares y treintaidosavos de dólar.

Límites de precios y límites de posiciones

En la mayoría de los contratos, la bolsa especifica los límites de los movimientos diarios de precios. Si en un día el precio baja con relación al precio de cierre del día anterior en un monto igual al límite de precio diario, se dice que el contrato está en el *límite inferior*, y si sube en un monto igual al límite de precio diario, se dice que está en el *límite superior*. Un *movimiento límite* es un movimiento en cualquier dirección igual al límite del precio diario. Normalmente, la negociación del día termina una vez que el contrato está en su límite superior o inferior. Sin embargo, en algunos casos la bolsa tiene la autoridad de intervenir y cambiar los límites.

El propósito de los límites de precios diarios es evitar que ocurran grandes cambios de precios debido a excesos especulativos. No obstante, los límites pueden convertirse en una barrera artificial para la negociación cuando el precio del bien básico avanza o retrocede con rapidez. Hay una controversia en cuanto a si los límites de precios son, en general, buenos para los mercados de futuros.

Los límites de posiciones son el número máximo de contratos que un especulador puede mantener. El propósito de estos límites es evitar que los especuladores ejerzan una influencia indebida sobre el mercado.

2.3 CONVERGENCIA DEL PRECIO DE FUTUROS CON EL PRECIO SPOT (DE CONTADO)

A medida que se aproxima el periodo de entrega de un contrato de futuros, el precio de futuros converge con el precio spot del activo subyacente. Cuando llega el periodo de entrega, el precio de futuros es igual o está muy cercano al precio spot.

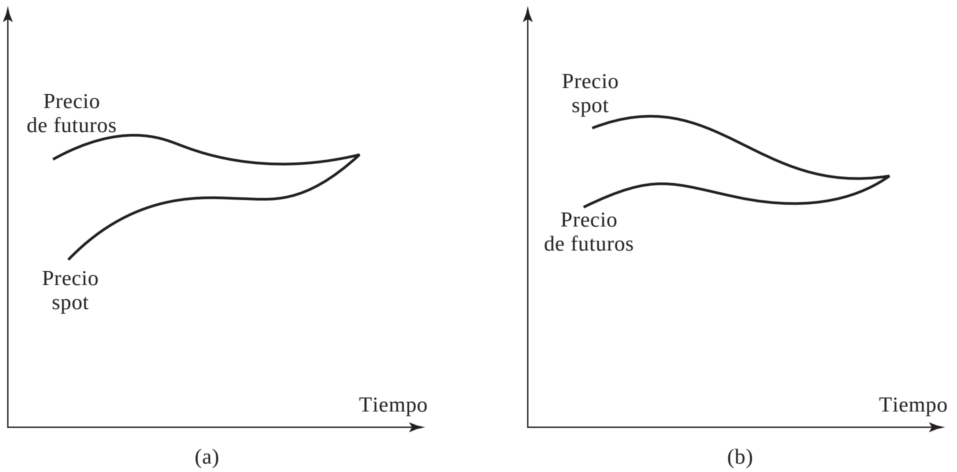
Para ver por qué ocurre esto, supongamos primero que el precio de futuros está por arriba del precio spot durante el periodo de entrega. Entonces, los negociantes tienen una clara oportunidad de arbitraje:

1. Vender (es decir, vender en corto) un contrato de futuros
2. Comprar el activo
3. Realizar la entrega

Estos pasos son seguros para generar una utilidad equivalente al monto en que el precio de futuros excede al precio spot. A medida que los negociantes aprovechen esta oportunidad de arbitraje, el precio de futuros bajará. A continuación, suponga que el precio de futuros está por debajo del precio spot durante el periodo de entrega. Las empresas que están interesadas en adquirir el activo considerarán conveniente comprar un contrato de futuros y esperar a que se realice la entrega. Al hacerlo, el precio de futuros tenderá a subir.

El resultado es que el precio de futuros está muy cercano al precio spot durante el periodo de entrega. La figura 2.1 ilustra la convergencia del precio de futuros con el precio spot. En la figura 2.1a, el precio de futuros está por arriba del precio spot antes del periodo de entrega y en la figura 2.1b, el precio de futuros está por debajo del precio spot antes del periodo de entrega. En el capítulo 5 se analizan las circunstancias en las cuales se observan estos dos patrones.

Figura 2.1 Relación entre el precio de futuros y el precio spot a medida que se aproxima el mes de entrega: a) precio de futuros por arriba del precio spot; b) precio de futuros por debajo del precio spot



2.4 OPERACIÓN DE MÁRGENES

Si dos inversionistas se reúnen y acuerdan negociar un activo en el futuro a un precio determinado, hay riesgos evidentes. Uno de los inversionistas puede arrepentirse del acuerdo y tratar de retirarse. Otra posibilidad es que el inversionista simplemente no tenga los recursos financieros para cumplir el acuerdo. Uno de los roles clave de la bolsa de valores es organizar las negociaciones de tal manera que se evite el incumplimiento de contratos. Aquí es donde entran los márgenes.

Ajuste al mercado

Para ejemplificar cómo funcionan los márgenes, pensemos en un inversionista que contacta a su intermediario el jueves 5 de junio para comprar dos contratos de futuros de oro de diciembre en la división COMEX de la Bolsa Mercantil de Nueva York. Supongamos que el precio de futuros actual es de \$600 por onza. Como el tamaño del contrato es de 100 onzas, el inversionista acordó comprar un total de 200 onzas a este precio. El intermediario pedirá al inversionista que deposite fondos en una *cuenta de margen*. El monto que debe depositarse al momento de ingresar al contrato se conoce como *margen inicial*. Supongamos que este monto es de \$2,000 por contrato, es decir, \$4,000 en total. Al final de cada día de negociación, la cuenta de margen se ajusta de tal manera que refleje la ganancia o pérdida del inversionista. Esta práctica se conoce como *ajuste al mercado* de la cuenta.

Por ejemplo, imagine que al final del 5 de junio el precio de futuros bajó de \$600 a \$597. El inversionista tiene una pérdida de \$600 ($= 200 \times \$3$) porque las 200 onzas de oro de diciembre, que el inversionista acordó comprar a \$600, ahora se venden a sólo \$597. Por lo tanto, el saldo de la cuenta de margen se reduciría en \$600 para \$3,400. De igual modo, si el precio del oro de diciembre subiera a \$603 al término del primer día, el saldo de la cuenta de margen aumentaría en \$600 para \$4,600. Primero, una negociación se ajusta al mercado al cierre del día en que se lleva a cabo; después, se ajusta al mercado al cierre de las negociaciones de cada día subsiguiente.

Observe que el ajuste al mercado no es simplemente un acuerdo entre un intermediario y un cliente. Cuando disminuye el precio de futuros de tal manera que la cuenta de margen de un inversionista con una posición larga disminuye en \$600, el intermediario del inversionista debe pagar \$600 a la bolsa y ésta transfiere el dinero al intermediario de un inversionista con una posición corta. De mismo modo, cuando el precio de futuros aumenta, los intermediarios de las partes con posiciones cortas pagan dinero a la bolsa y los intermediarios de las partes con posiciones largas reciben dinero de la bolsa. Más adelante examinaremos con más detalle el mecanismo por el que esto ocurre.

El inversionista tiene derecho a retirar cualquier saldo en la cuenta de margen que exceda al margen inicial. Para garantizar que el saldo de la cuenta de margen nunca sea negativo, se establece un *margen de mantenimiento*, el cual es un poco menor que el margen inicial. Si el saldo de la cuenta de margen cae por debajo del margen de mantenimiento, el inversionista recibe una demanda de garantía adicional con la expectativa de que incremente el saldo de la cuenta de margen hasta el nivel del margen inicial al día siguiente. Los fondos adicionales depositados se conocen como *margen de variación*. Si el inversionista no proporciona el margen de variación, el intermediario cierra la posición. En el caso que acabamos de presentamos, el cierre de la posición implicaría cancelar el contrato existente por medio de la venta de 200 onzas de oro para entrega en diciembre.

La tabla 2.1 ilustra la operación de la cuenta de margen para una posible secuencia de precios de futuros en el caso del inversionista considerado anteriormente. Se asume, para ejemplificar, que el margen de mantenimiento es de \$1,500 por contrato o \$3,000 en total. El 13 de junio, el saldo de la cuenta de margen disminuye \$340 por debajo del nivel del margen de mantenimiento. Esta

Tabla 2.1 Operación de márgenes para una posición larga en dos contratos de futuros de oro. El margen inicial es de $2,000 por contrato, o $4,000 en total, y el margen de mantenimiento es de $1,500 por contrato o $3,000 en total. El contrato se establece el 5 de junio a $600 y se cierra el 26 de junio a $592.30. Las cifras de la segunda columna, excepto la primera y la última, representan los precios de futuros al cierre de las negociaciones

Día	*Precio de futuros ($)*	*Ganancia diaria (pérdida) ($)*	*Ganancia acumulativa (pérdida) ($)*	*Saldo de la cuenta de margen ($)*	*Demanda de garantía adicional ($)*
	600.00			4,000	
5 de junio	597.00	(600)	(600)	3,400	
6 de junio	596.10	(180)	(780)	3,220	
9 de junio	598.20	420	(360)	3,640	
10 de junio	597.10	(220)	(580)	3,420	
11 de junio	596.70	(80)	(660)	3,340	
12 de junio	595.40	(260)	(920)	3,080	
13 de junio	593.30	(420)	(1,340)	2,660	1,340
16 de junio	593.60	60	(1,280)	4,060	
17 de junio	591.80	(360)	(1,640)	3,700	
18 de junio	592.70	180	(1,460)	3,880	
19 de junio	587.00	(1,140)	(2,600)	2,740	1,260
20 de junio	587.00	0	(2,600)	4,000	
23 de junio	588.10	220	(2,380)	4,220	
24 de junio	588.70	120	(2,260)	4,340	
25 de junio	591.00	460	(1,800)	4,800	
26 de junio	592.30	260	(1,540)	5,060	

disminución da lugar a una demanda de garantía adicional de $1,340 adicionales de parte del intermediario. La tabla 2.1 asume que el inversionista proporciona, de hecho, este margen al cierre de las negociaciones del 16 de junio. El 19 de junio, el saldo de la cuenta de margen disminuye nuevamente por debajo del nivel del margen de mantenimiento y se envía una demanda de garantía adicional de $1,260. El inversionista proporciona este margen al cierre de las negociaciones del 20 de junio. El 26 de junio, el inversionista decide cerrar la posición por medio de la venta de dos contratos. Ese día, el precio de futuros es de $592.30, por lo que el inversionista tiene una pérdida acumulativa de $1,540. Observe que el inversionista tuvo un margen disponible los días 16, 23, 24 y 25 de junio. La tabla 2.1 asume que el excedente no se retira.

Más detalles

Muchos intermediarios permiten a un inversionista ganar intereses sobre el saldo de una cuenta de margen. Por lo tanto, el saldo de la cuenta no representa un costo verdadero, a condición de que la tasa de interés sea competitiva con lo que se podría ganar en cualquier otra parte. Para satisfacer los requisitos de margen inicial (pero no las demandas de garantía posteriores), un inversionista puede, en ocasiones, depositar títulos con el intermediario. Las letras del Tesoro se aceptan generalmente en lugar de efectivo en alrededor de 90% de su valor nominal. Las acciones también se aceptan a veces en vez de efectivo, pero aproximadamente en 50% de su valor de mercado.

El efecto del ajuste al mercado es que un contrato de futuros se liquida diariamente en lugar de hacerlo en su totalidad al final de su vida. Al término de cada día, la ganancia (pérdida) del inversionista se suma a (resta de) la cuenta de margen, restableciendo el valor del contrato a cero. De hecho, un contrato de futuros se cierra y reelabora a un nuevo precio cada día.

La bolsa establece los niveles mínimos de los márgenes, inicial y de mantenimiento. Los intermediarios individuales pueden requerir a sus clientes márgenes mayores que los que la bolsa de valores especifica. Sin embargo, no pueden requerir márgenes menores a éstos. Los niveles de margen dependen de la variabilidad del precio del activo subyacente. Cuanto mayor sea la variabilidad, mayores serán los niveles de margen. El margen de mantenimiento es usualmente alrededor de 75% del margen inicial.

Los requisitos de margen pueden depender de los objetivos del negociante. Un coberturista honesto (de buena fe), como una empresa que produce la commodity sobre el que se suscribe el contrato, con frecuencia está sujeto a requisitos de margen más bajos que un especulador. La razón es que se cree que hay menos riesgo de incumplimiento. Las transacciones en el mismo día y las transacciones de spread dan lugar a requisitos de margen más bajos que las transacciones de cobertura. En una *transacción en el mismo día*, el negociante comunica al intermediario su intención de cerrar la posición en el mismo día. En una *transacción de spread*, el negociante compra simultáneamente (es decir, toma una posición larga) un contrato sobre un activo para un mes de vencimiento y vende (es decir, toma una posición corta) un contrato sobre el mismo activo para otra fecha de vencimiento.

Observe que los requisitos de margen son iguales en las posiciones cortas en futuros que en las posiciones largas en futuros. Es igual de fácil tomar una posición corta en futuros que tomar una posición larga. El mercado spot no tiene esta simetría. Tomar una posición larga en el mercado spot implica comprar el activo para su entrega inmediata y no representa ningún problema. Tomar una posición corta implica vender un activo que usted no posee. Ésta es una transacción más compleja que puede ser posible o no en un mercado específico y se analiza con más detalle en el capítulo 5.

Cámara de compensación y márgenes de compensación

Una *cámara de compensación* está adjunta a la bolsa y actúa como un intermediario en las transacciones de futuros. Garantiza el desempeño de las partes de cada transacción. La cámara de compensación tiene varios miembros, que deben registrar los fondos de las operaciones de la bolsa. Los intermediarios que no son miembros deben canalizar sus negocios a través de un miembro. La tarea principal de la cámara de compensación es dar seguimiento a todas las transacciones que se realizan durante un día, de tal manera que pueda calcular la posición neta de cada uno de sus miembros.

Del mismo modo que a un inversionista se le pide mantener una cuenta de margen con un intermediario, éste debe mantener una cuenta de margen con un miembro de la cámara de compensación y a su vez este miembro debe mantener una cuenta de margen con la cámara de compensación. Esta última cuenta se conoce como *margen de compensación*. Las cuentas de margen para los miembros de la cámara de compensación se ajustan en cuanto a ganancias y pérdidas al final de cada día de negociación, del mismo modo que se ajustan las cuentas de margen de los inversionistas. No obstante, en el caso del miembro de la cámara de compensación hay un margen inicial, pero no un margen de mantenimiento. Cada día, el saldo de la cuenta de cada contrato debe mantenerse en un monto igual al margen inicial por el número de contratos pendientes. Así, dependiendo de las transacciones realizadas durante el día y los movimientos de precios, el miembro de la cámara de compensación puede tener que depositar fondos en su cuenta de margen. En otro caso, puede retirar fondos de la cuenta en ese momento. Los intermediarios que no son miembros de la cámara de compensación deben mantener una cuenta de margen con un miembro de esta cámara.

Para determinar los márgenes de compensación, la cámara de compensación de la bolsa calcula el número de contratos pendientes como una cifra bruta o neta. Cuando lo hace como una cifra bruta, el número de contratos equivale a la suma de las posiciones largas y cortas; cuando lo hace como una cifra neta, estas posiciones se compensan entre sí. Suponga que un miembro de una cámara de compensación tiene dos clientes: uno con una posición larga en 20 contratos y el otro con una posición corta en 15 contratos. El cálculo del margen bruto se realiza con base en los 35 contratos y el del margen neto se efectúa con base en 5 contratos. Casi todas las bolsas usan actualmente el cálculo del margen neto.

Riesgo de crédito

El propósito integral del sistema de márgenes es garantizar que los negociantes no abandonen sus compromisos. En general, el sistema ha sido muy exitoso. Los negociantes que participan en contratos en bolsas importantes siempre han cumplido sus contratos. Una prueba para los mercados de futuros fue el 19 de octubre de 1987, cuando el índice S&P 500 cayó alrededor de 20% y los negociantes con posiciones largas en futuros sobre este índice descubrieron que tenían saldos negativos en sus cuentas de margen. Los negociantes que no cumplieron las demandas de garantía adicional cerraron sus posiciones, pero aún debían el dinero de sus intermediarios. Algunos no pagaron y, en consecuencia, algunos intermediarios quebraron porque, sin el dinero de sus clientes, fueron incapaces de cumplir las demandas de garantía adicional sobre contratos que establecieron a nombre de sus clientes. Sin embargo, las bolsas tenían fondos suficientes para garantizar que recibieran su pago todos los que tenían una posición corta en futuros sobre el índice S&P 500.

Colateralización en los mercados OTC

Tradicionalmente, el riesgo de crédito ha sido una característica de los mercados over-the-counter. Siempre existe la posibilidad de que la otra parte de una transacción *over-the-counter* no cumpla su compromiso. Es interesante ver que, en un intento por reducir el riesgo de crédito, el mercado *over-the-counter* está imitando actualmente el sistema de márgenes adoptado por las bolsas con un procedimiento conocido como *colateralización*.

Considere a dos participantes del mercado over-the-counter, la empresa A y la empresa B, con un contrato over-the-counter pendiente. Bajo un acuerdo de colateralización, valúan el contrato todos los días. Si de un día a otro el valor del contrato aumentara para la empresa A, a la empresa B se le exigiría pagar una garantía igual a este incremento y la empresa A recibiría una garantía equivalente al incremento. Del mismo modo, si el valor del contrato disminuyera para la empresa A, a ésta se le exigiría pagar una garantía igual a la disminución y la empresa B recibiría una garantía equivalente a la disminución.

La colateralización reduce de manera significativa el riesgo de crédito en los contratos over-the-counter. En la década de 1990, un fondo de cobertura (hedge fund), Long-Term Capital Management (LTCM) usó acuerdos de colateralización que le permitieron estar altamente apalancada. Los contratos sí le proporcionaron protección contra el riesgo de crédito, pero, como se describe en la Panorámica de negocios 2.2, el fuerte apalancamiento dejó al fondo vulnerable a otros riesgos.

Panorámica de negocios 2.2 Enorme pérdida de Long-Term Capital Management

Long-Term Capital Management (LTCM), un fondo de cobertura formado a mediados de la década de 1990, siempre garantizaba sus transacciones. Su estrategia de inversión se conocía como arbitraje de convergencia. Un ejemplo muy sencillo de lo que hacía es el siguiente. Buscaba dos bonos, X y Y, emitidos por la misma empresa y que prometieran los mismos pagos, siendo X menos líquido (es decir, menos negociado activamente) que Y. El mercado siempre otorga un valor a la liquidez. En consecuencia, el precio de X era menor que el precio de Y. LTCM compraba el bono X, vendía en corto el bono Y y esperaba a que los precios de ambos bonos convergieran en alguna fecha futura.

Cuando las tasas de interés aumentaban, la compañía esperaba que el precio de ambos bonos disminuyera aproximadamente en el mismo monto, de tal manera que la garantía que pagaba sobre el bono X fuera más o menos igual a la garantía que recibía por el bono Y. Del mismo modo, cuando las tasas de interés disminuían, LTCM esperaba que el precio de ambos bonos aumentara aproximadamente en el mismo monto, de tal manera que la garantía que recibía por el bono X fuera más o menos igual a la garantía que pagaba sobre el bono Y. Por lo tanto, esperaba que no hubiera una salida importante de fondos a consecuencia de sus acuerdos de colateralización.

En agosto de 1998, Rusia no cumplió su deuda y esto dio lugar a lo que se denomina "huida hacia la calidad" en los mercados de capital. Un resultado fue que los inversionistas dieron un valor más alto de lo usual a los instrumentos líquidos y los diferenciales entre los precios de los instrumentos líquidos e ilíquidos incluidos en la cartera de LTCM se incrementaron considerablemente. Los precios de los bonos que LTCM compró se cayeron y los precios de los que vendió en corto aumentaron, por lo que se le requirió que pagara una garantía sobre ambos. La compañía estaba altamente apalancada y era incapaz de realizar los pagos requeridos bajo los acuerdos de colateralización. El resultado fue que las posiciones tuvieron que cerrarse y LTCM perdió alrededor de $4 mil millones. Si la compañía hubiera estado menos apalancada, probablemente habría sido capaz de sobrevivir a la huida hacia la calidad y podría haber esperado que los precios de los bonos líquidos e ilíquidos se aproximaran nuevamente entre sí.

2.5 COTIZACIONES EN PERIÓDICOS

Muchos periódicos anuncian los precios de futuros. La tabla 2.2 muestra los precios de commodities, como se publicaron en el *Wall Street Journal* el jueves, 9 de enero de 2007. Los precios se refieren a las transacciones que se realizaron el día anterior (es decir, el lunes, 8 de enero de 2007). Los precios de los futuros sobre índices, divisas y tasas de interés se proporcionan en los capítulos 3, 5 y 6, respectivamente.

El *Wall Street Journal* sólo presenta las cotizaciones de contratos con vencimientos relativamente cortos. En el caso de la mayoría de las commodities, se negocian contratos con vencimientos mucho mayores que los mostrados. No obstante, el volumen de transacciones tiende a disminuir a medida que aumentan los vencimientos de los contratos.

El activo subyacente al contrato de futuros, la bolsa en la que se negocia el contrato, el tamaño del contrato y cómo se cotiza el precio se muestran en la parte superior de cada sección de la tabla 2.2. El primer activo es el cobre, negociado en COMEX (una división de la Bolsa Mercantil de Nueva York). El tamaño del contrato es de 25 mil libras y el precio se cotiza en centavos por libra. El mes de vencimiento del contrato se presenta en la primera columna.

Tabla 2.2 Cotizaciones de futuros de commodities obtenidas del *Wall Street Journal* el 9 de enero de 2007. (Las columnas muestran el mes, el precio de apertura, el precio máximo, el precio mínimo, el precio de liquidación, el cambio y el interés abierto, respectivamente)

From platinum to orange juice: futures contracts

Commodity futures prices, including open interest, or the number of contracts outstanding. Nearby-month contracts are listed first. Most-active contracts are also listed, plus other notable months.

KEY TO EXCHANGES: CBT: Chicago Board of Trade; **CME:** Chicago Mercantile Exchange; **CMX:** Comex; **KC:** Kansas City Board of Trade; **MPLS:** Minneapolis Grain Exchange; **NYBOT:** New York Board of Trade; **NYM:** New York Mercantile Exchange, or Nymex

Metal & Petroleum Futures

	Open	High	Contract hi lo	Low	Settle	Chg	Open interest
Copper-High (CMX)-25,000 lbs.; cents per lb.							
Jan	255.65	256.50		252.00	**251.45**	-0.80	2,527
March	253.50	258.95		247.00	**252.80**	-0.70	46,809
Gold (CMX)-100 troy oz.; $ per troy oz.							
Jan	—	—		—	**607.50**	2.60	514
Feb	609.30	612.40		605.00	**609.40**	2.50	179,246
April	616.30	617.30		611.90	**615.40**	2.50	36,615
June	622.10	623.50		615.80	**621.20**	2.50	31,616
Oct	634.80	635.00		633.50	**632.70**	2.50	19,436
Dec	638.90	640.50		638.00	**638.30**	2.50	42,082
Platinum (NYM)-50 troy oz.; $ per troy oz.							
Jan	—	—		—	**1119.40**	10.40	14
April	1114.00	1132.90		1111.50	**1126.90**	14.90	8,043
Silver (CMX)-5,000 troy oz.; cnts per troy oz.							
Jan	1225.0	1225.0		1225.0	**1226.0**	13.0	115
March	1222.0	1242.5		1209.5	**1236.0**	13.0	60,566
Crude Oil, Light Sweet (NYM)-1,000 bbls.; $ per bbl.							
Feb	56.24	57.72		55.10	**56.09**	-0.22	297,617
March	57.56	58.85		56.38	**57.36**	-0.03	189,021
April	58.30	59.81		57.40	**58.38**	0.01	63,918
June	60.20	61.33		59.08	**60.01**	0.18	78,744
Dec	62.78	64.00		62.10	**62.94**	0.28	143,083
Dec'08	65.25	65.25		63.53	**64.18**	0.33	70,370
Heating Oil No. 2 (NYM)-42,000 gal.; $ per gal.							
Feb	1.5800	1.6020		1.5475	**1.5571**	-.0087	84,979
March	1.6135	1.6385		1.5855	**1.5950**	-.0083	51,391
Gasoline-NY RBOB (NYM)-42,000 gal.; $ per gal.							
Feb	1.5072	1.5185	▼	1.4530	**1.4685**	-.0246	58,858
March	1.5345	1.5654	▼	1.5020	**1.5160**	-.0201	35,902
Natural Gas (NYM)-10,000 MMBtu.; $ per MMBtu.							
Feb	6.370	6.560		6.325	**6.378**	.194	78,114
March	6.547	6.690		6.496	**6.548**	.201	140,874
April	6.600	6.768		6.580	**6.637**	.190	108,520
May	6.750	6.857		6.680	**6.712**	.175	44,710
Oct	7.300	7.350		7.190	**7.237**	.150	39,416
March'08	8.735	8.780		8.600	**8.682**	.110	39,031

Agriculture Futures

	Open	High	Contract hi lo	Low	Settle	Chg	Open interest
Corn (CBT)-5,000 bu.; cents per bu.							
March	369.00	369.75		361.25	**363.50**	-4.75	570,439
Dec	365.00	367.00		359.50	**364.75**	-.50	158,645
Ethanol (CBT)-29,000 gal.; $ per gal.							
Feb	2.249	2.249		2.249	**2.249**	-.011	56
Oats (CBT)-5,000 bu.; cents per bu.							
March	263.00	268.00		260.00	**266.75**	-1.00	8,412
Dec	232.50	233.00		232.50	**233.00**	—	4,039
Soybeans (CBT)-5,000 bu.; cents per bu.							
Jan	664.50	668.25		662.00	**665.00**	-3.00	5,812
March	682.75	684.00		674.50	**677.25**	-4.25	218,149
Soybean Meal (CBT)-100 tons; $ per ton.							
Jan	190.00	191.80		189.60	**190.60**	-.40	2,614
March	195.70	196.70		194.10	**195.10**	-.80	74,207
Soybean Oil (CBT)-60,000 lbs.; cents per lb.							
Jan	28.18	28.18		27.97	**28.12**	-.28	1,696
March	28.80	28.88		28.34	**28.49**	-.31	144,012
Rough Rice (CBT)-2,000 cwt.; cents per cwt.							
Jan	1024.50	1038.00	▲	1017.00	**1035.00**	14.00	248
March	1048.00	1063.00	▲	1042.00	**1059.50**	13.00	10,406
Wheat (CBT)-5,000 bu.; cents per bu.							
March	470.00	471.25		455.50	**464.00**	-6.25	238,277
July	477.25	478.75		465.00	**473.50**	-3.50	83,574
Wheat (KC)-5,000 bu.; cents per bu.							
March	481.25	481.50		475.00	**479.00**	-2.25	60,413
July	485.00	486.00		479.50	**483.50**	-2.75	32,604
Wheat (MPLS)-5,000 bu.; cents per bu.							
March	487.25	487.25		478.00	**482.25**	-4.75	22,412
Dec	502.00	506.00		501.00	**504.00**	-2.50	8,571
Cattle-Feeder (CME)-50,000 lbs.; cents per lb.							
Jan	98.800	99.500		98.625	**98.875**	.225	4,530
March	97.750	98.500		97.500	**97.850**	.200	14,509
Cattle-Live (CME)-40,000 lbs.; cents per lb.							
Feb	92.600	93.650	▲	92.600	**93.250**	.675	124,905
April	94.300	94.975	▲	94.100	**94.450**	.325	71,613
Hogs-Lean (CME)-40,000 lbs.; cents per lb.							
Feb	60.400	60.900		60.000	**60.300**	-.100	82,727
April	64.250	64.725		63.750	**63.950**	-.300	45,227
Coffee (NYBOT)-37,500 lbs.; cents per lb.							
March	120.25	120.90		119.20	**120.30**	-.35	82,758
May	123.25	123.80		122.00	**123.30**	-.40	20,411
Sugar-World (NYBOT)-112,000 lbs.; cents per lb.							
March	11.29	11.32		11.09	**11.16**	.07	263,326
May	11.23	11.32		11.14	**11.21**	.10	90,874
Sugar-Domestic (NYBOT)-112,000 lbs.; cents per lb.							
March	19.95	19.95		19.95	**19.95**	-.04	3,468
May	19.90	19.90		19.90	**19.89**	-.01	2,592
Cotton (NYBOT)-50,000 lbs.; cents per lb.							
March	54.15	54.80		54.15	**54.53**	.11	108,541
May	55.10	55.55		55.10	**55.58**	.27	24,645
Orange Juice (NYBOT)-15,000 lbs.; cents per lb.							
Jan	201.95	203.40		200.00	**201.90**	-.05	430
March	196.90	197.25		195.50	**196.80**	-.15	21,427

Fuente: reimpreso con permiso de Dow Jones, Inc., a través de Copyright Clearance Center, Inc.,

Precios

Las tres primeras cifras de cada fila muestran el precio de apertura, así como los precios máximo y mínimo logrados en las negociaciones del día. El precio de apertura representa los precios a los que se negociaban los contratos inmediatamente después de la apertura del mercado. El 8 de enero de 2007 el precio de apertura del contrato de futuros de cobre de marzo de 2007 fue de 253.50 centavos de dólar por bushel y, durante el día, el precio se negoció entre 247.00 y 258.95 centavos de dólar.

Precio de liquidación

La cuarta cifra es el *precio de liquidación*. Éste es el precio que se usa para calcular las ganancias y pérdidas diarias, así como los requisitos de margen. En general se calcula como el precio al que se negocia el contrato inmediatamente antes de que la campana indique el cierre de las negociaciones del día. La quinta cifra es el cambio en el precio de liquidación con relación al día anterior. El precio de liquidación del contrato de futuros de cobre de marzo de 2007 fue de 252.80 centavos de dólar el 8 de enero de 2007, es decir, 0.70 centavos de dólar menos con relación al día de negociación anterior.

En el caso de los futuros de marzo de 2007, un inversionista con una posición larga en un contrato descubriría que el saldo de su cuenta de margen disminuyó \$175.00 ($= 25{,}000 \times 0.70$ centavos de dólar) el 8 de enero de 2007. Del mismo modo, un inversionista con una posición corta en un contrato descubriría que el saldo de su cuenta de margen aumentó \$175.00 en esa fecha.

Interés abierto

La última columna de la tabla 2.2 muestra el *interés abierto* de cada contrato. Éste es el total de contratos pendientes. El interés abierto es el número de posiciones largas o, de manera equivalente, el número de posiciones cortas. El interés abierto del contrato de futuros de cobre de marzo de 2007 es de 48,809 contratos. Observe que el interés abierto del contrato de enero de 2007 es mucho menor porque casi todos los negociantes que mantenían posiciones largas o cortas en ese contrato ya las han cerrado.

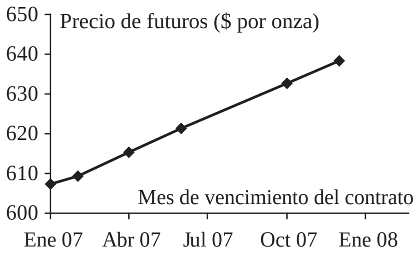
En ocasiones, el volumen de transacciones de un contrato en un día es mayor que el interés abierto al final del día. Esto indica un gran número de transacciones en el mismo día.

Patrones de precios de futuros

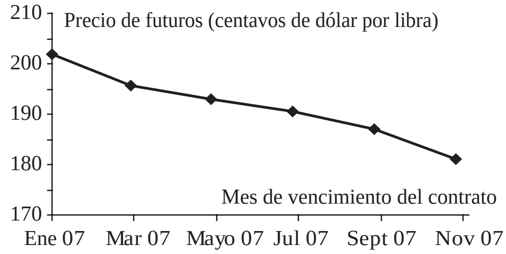
Los precios de futuros presentan diversos patrones. En la tabla 2.2, el oro, el petróleo crudo y el gas natural tienen precios de liquidación que aumentan con el vencimiento del contrato. Esto se conoce como *mercado normal*. La tabla 2.2 muestra que los precios de liquidación de los contratos de futuros de jugo de naranja de enero y marzo fueron de 201.90 y 195.80 centavos de dólar, respectivamente. Otros datos muestran que, el 8 de enero de 2007, los contratos de mayo, julio, septiembre y noviembre de 2007 tuvieron precios de liquidación de 193.00, 190.50, 187.00 y 181.00 centavos de dólar, respectivamente. Por lo tanto, el precio de futuros de jugo de naranja disminuyó con relación al vencimiento del 8 de enero de 2007. Esto se conoce como *mercado invertido*. La figura 2.2 ilustra el precio de liquidación en función del vencimiento del oro y del jugo de naranja del 8 de enero de 2007.

Los precios de futuros pueden mostrar una combinación de mercados normales e invertidos. Un ejemplo es el del ganado bovino el 8 de enero de 2007. Como indica la tabla 2.2, el precio de futuros de abril fue más alto que el de febrero. Sin embargo, el precio de futuros de junio (no mostrado) fue más bajo que el precio de futuros de abril. En el caso de vencimientos posteriores, el precio de futuros siguió disminuyendo, después aumentó y nuevamente disminuyó en función del vencimiento.

Figura 2.2 Precio de liquidación de futuros en función del vencimiento del contrato el 8 de enero de 2007 para: a) oro y b) jugo de naranja



a) Oro



b) Jugo de naranja

2.6 ENTREGA

Como se mencionó anteriormente en este capítulo, muy pocos de los contratos de futuros que se inician terminan en la entrega del activo subyacente, ya que casi todos se cierran de manera anticipada. No obstante, la posibilidad de una entrega eventual es la que determina el precio de futuros. Por lo tanto, es importante comprender los procedimientos de entrega.

La bolsa de valores define el periodo durante el cual puede realizarse la entrega, que varía de un contrato a otro. La decisión de cuándo se realizará la entrega la toma la parte con la posición corta, que llamaremos inversionista A. Cuando el inversionista A decide realizar la entrega, su intermediario emite un aviso de intención de entrega a la cámara de compensación de la bolsa. Este aviso establece cuántos contratos se entregarán y, en el caso de commodities, también especifica dónde se realizará la entrega y qué grado se entregará. Entonces, la bolsa elige una parte con una posición larga para que acepte la entrega.

Suponga que el inversionista B era la otra parte del contrato de futuros del inversionista A, cuando éste se inició. Es importante señalar que no hay ninguna razón para esperar que sea el inversionista B el que reciba la entrega. El inversionista B puede haber cerrado su posición al negociar con el inversionista C, éste puede haber cerrado su posición al negociar con el inversionista D, etc. La regla usual que elige la bolsa es comunicar el aviso de intención de entrega a la parte con la posición larga pendiente más antigua. Las partes con posiciones largas deben aceptar los avisos de entrega. Sin embargo, si los avisos son transferibles, los inversionistas con una posición larga tienen un corto periodo, generalmente de media hora, para encontrar otra parte con una posición larga que esté dispuesta a aceptar el aviso de entrega.

En el caso de una commodity, recibir la entrega suele significar la aceptación de un recibo de almacenamiento a cambio de un pago inmediato. Entonces, la parte que acepta la entrega es responsable de todos los costos de almacenamiento. En el caso de futuros de ganado en pie, puede haber costos relacionados con la alimentación y el cuidado de los animales. En el caso de futuros financieros, la entrega se realiza usualmente mediante transferencia por cable. En todos los contratos, el precio que se paga es por lo general el precio de liquidación más reciente. Si la bolsa lo especifica, este precio se ajusta según el grado, el lugar de entrega, etc. Todo el procedimiento de entrega, desde la emisión del aviso de intención de entrega hasta la entrega misma, requiere generalmente de dos a tres días.

Hay tres días decisivos para un contrato. Éstos son el primer día de aviso, el último día de aviso y el último día de negociación. El *primer día de aviso* es el primer día en el que puede presentarse ante la bolsa un aviso de intención de entrega. El *último día de aviso* es el último en que puede realizarse este mismo procedimiento. Por lo general, el *último día de negociación* ocurre algunos días antes del último día de aviso. Para evitar el riesgo de tener que aceptar una entrega, un inversionista con una posición larga debe cerrar sus contratos antes del primer día de aviso.

Liquidación en efectivo

Algunos futuros financieros, como los futuros sobre índices bursátiles se liquidan en efectivo porque es inconveniente o imposible entregar el activo suficiente. Por ejemplo, en el caso del contrato de futuros sobre el índice S&P 500, la entrega del activo subyacente implicaría entregar una cartera de 500 acciones. Cuando un contrato se liquida en efectivo, todos los contratos pendientes se declaran cerrados en un día predeterminado. El precio de liquidación final se establece de tal manera que sea igual al precio spot del activo subyacente a la apertura o al cierre de las negociaciones de ese día. Por ejemplo, en el contrato de futuros sobre el índice S&P 500 que se negocia en la Bolsa Mercantil de Chicago, el día predeterminado es el tercer viernes del mes de entrega y la liquidación final corresponde al precio de apertura.

2.7 TIPOS DE NEGOCIANTES Y TIPOS DE ÓRDENES

Hay dos tipos principales de negociantes que ejecutan transacciones: los corredores a comisión y los locales. Los *corredores a comisión* siguen las instrucciones de sus clientes y cobran una comisión por hacerlo; los *locales* negocian por su propia cuenta.

Los individuos que toman posiciones, ya sean locales o clientes de corredores a comisión, se clasifican como coberturistas, especuladores o arbitrajistas, como se analiza en el capítulo 1. Los especuladores se clasifican en especuladores para ganancias pequeñas, operadores del día o negociantes de posición. Los *especuladores para ganancias pequeñas* vigilan las tendencias a muy corto plazo y tratan de obtener utilidades de pequeños cambios en el precio del contrato; por lo general, mantienen sus posiciones sólo durante algunos minutos. Los *operadores del día* mantienen sus posiciones durante menos de un día de negociación, ya que no están dispuestos a correr el riesgo de que ocurran acontecimientos negativos durante la noche. Los *negociantes de posición* mantienen sus posiciones durante periodos mucho más largos y esperan obtener utilidades significativas de movimientos importantes en los mercados.

Órdenes

El tipo más sencillo de orden que se emite con un corredor es una *orden de mercado*, que es una solicitud de ejecutar inmediatamente una transacción al mejor precio disponible en el mercado. No obstante, hay muchos otros tipos de órdenes. Analizaremos los que se usan con más frecuencia.

Una *orden limitada* especifica un precio en particular. La orden puede ejecutarse sólo a este precio o a uno más favorable para el inversionista. Por lo tanto, si el precio límite es de $30 para un inversionista que desea comprar, la orden se ejecutará sólo a un precio de $30 o menos. Por supuesto, no existe ninguna garantía de que la orden se ejecute en absoluto porque es posible que nunca se alcance el precio límite.

Una *orden con precio tope* u *orden de pérdida limitada* también especifica un precio en particular. La orden se ejecuta al mejor precio disponible una vez que se realiza una demanda u oferta a ese precio en particular o a un precio menos favorable. que se emite una orden de pérdida limitada de venta a $30 dólares cuando el precio de mercado es de $35. Se convierte en una orden de venta si el precio baja a $30. De hecho, una orden de pérdida limitada se vuelve una orden de mercado tan pronto como se alcanza el precio específico. Generalmente, el propósito de una orden de pérdida limitada es cerrar una posición si ocurren movimientos de precios desfavorables, ya que limita la pérdida en que el inversionista pueda incurrir.

Una *orden limitada con precio tope* es una combinación de una orden de pérdida limitada y una orden limitada. La orden se convierte en una orden limitada tan pronto como se realiza una demanda u oferta a un precio igual o menos favorable que el precio tope. Deben especificarse dos precios en una orden limitada con precio tope: el precio tope y el precio límite. Suponga que, cuando el precio de mercado es de $35, se emite una orden limitada con precio tope de compra, con un precio tope de $40 y un precio límite de $41. Tan pronto se realice una demanda u oferta a $40, la orden limitada con precio tope se convierte en una orden limitada a $41. Si el precio tope y el precio límite son iguales, la orden se denomina en ocasiones *orden de precio tope y límite*.

Una *orden de compra o venta (market-if-touched)* (MIT) se ejecuta al mejor precio disponible después de que se realiza una transacción a un precio específico o a un precio más favorable que el precio específico. De hecho, una orden MIT se convierte en una orden de mercado una vez que se alcanza el precio específico. Una orden MIT también se conoce como *board order*, u orden de límite. Considere a un inversionista que tiene una posición larga en un contrato de futuros y emite instrucciones que darían lugar al cierre del contrato. Una orden con precio tope está diseñada para limitar la pérdida que pudiera ocurrir en el caso de que se presentaran movimientos de precios desfavorables. Por el contrario, una orden de compra o venta si se alcanza un precio está diseñada para garantizar la obtención de utilidades si ocurren movimientos de precios suficientemente favorables.

Una *orden discrecional* u *orden market-not-held* se negocia como una orden de mercado, con excepción de que su ejecución puede retrasarse a discreción del intermediario en un intento por obtener un mejor precio.

Algunas órdenes especifican condiciones de tiempo. A menos de que se establezca de otro modo, una orden es una orden del día y vence al final del día de negociación. Una *orden time-of-day* especifica un periodo determinado del día en el que la orden puede ejecutarse. Una *orden abierta* o *válida hasta su revocación* está vigente hasta que se ejecuta o hasta el término de la negociación del contrato específico. Una *orden de ejecución inmediata*, como su nombre lo indica, debe ejecutarse inmediatamente al recibirla o no ejecutarla en absoluto.

2.8 REGULACIÓN

En Estados Unidos de América, la Comisión de Comercio de Futuros de Materias Primas (CFTC, por sus siglas en inglés, Commodity Futures Trading Commission; `www.cftc.gov`), establecida en 1974, regula actualmente a nivel federal los mercados de futuros. Este organismo es responsable de autorizar las bolsas de futuros y aprobar los contratos. La CFTC debe aprobar todos los nuevos contratos y los cambios realizados a los contratos existentes. Para ser aprobado, el contrato debe tener algún propósito económico útil. Por lo general, esto significa que debe satisfacer las necesidades tanto de coberturistas como de especuladores.

La CFTC vela por el interés público. Tiene la responsabilidad de garantizar que los precios se comuniquen el público y que los negociantes de futuros reporten sus posiciones pendientes si están por arriba de ciertos niveles. Además, la CFTC certifica a todas las personas que ofrecen al público sus servicios de negociación de futuros. Se investigan sus antecedentes y se proponen los requisitos de capital mínimos. La CFTC atiende las quejas presentadas por el público y asegura que se tomen medidas disciplinarias contra esas personas cuando sea pertinente. Tiene la autoridad de obligar a las bolsas a tomar medidas disciplinarias contra los miembros que violen las reglas bursátiles.

Con la creación de la Asociación Nacional de Futuros (NFA, por sus siglas en inglés; `www.nfa.futures.org`) en 1982, algunas de las responsabilidades de la CFTC se transfirieron a la industria de futuros misma. La NFA es una organización de personas que participan en la industria de futuros, cuyo objetivo es evitar el fraude y garantizar que el mercado opere en beneficio del público en general. Tiene la autorización de vigilar las negociaciones y tomar medidas disciplinarias cuando se requiera. La asociación estableció un sistema eficiente para el arbitraje de disputas entre las personas y sus miembros.

Ocasionalmente, otros organismos, como la Comisión de Valores y Bolsas (SEC, por sus siglas en inglés; www.sec.gov), la Junta de la Reserva Federal (www.federalreserve.gov) y el Departamento del Tesoro de Estados Unidos de América (www.treas.gov), han exigido derechos jurisdiccionales sobre algunos aspectos de la negociación de futuros. Estos organismos están preocupados por los efectos de la negociación de futuros sobre los mercados spot de valores, como acciones, letras del Tesoro y bonos del Tesoro. En la actualidad, la SEC mantiene un veto eficaz sobre la aprobación de nuevos contratos de futuros sobre índices de acciones o bonos. Sin embargo, la responsabilidad básica de todos los futuros y opciones sobre futuros corresponde a la CFTC.

Irregularidades en las negociaciones

Las más de las veces, los mercados de futuros operan de manera eficiente y en beneficio del interés público. No obstante, en ocasiones surgen irregularidades en las negociaciones. El tipo de irregularidad ocurre cuando un grupo de inversionistas trata de "acaparar el mercado".[2] El grupo de inversionistas toma una enorme posición larga en contratos de futuros y también trata de ejercer cierto control sobre la oferta de la commodity subyacente. A medida que se aproxima el vencimiento de los contratos de futuros, el grupo de inversionistas no cierra su posición, por lo que el número de contratos de futuros pendientes excede a la cantidad de la commodity disponible para la entrega. Los tenedores de las posiciones cortas se dan cuenta de que tendrán dificultades para realizar la entrega y se apresuran a cerrar sus posiciones. El resultado es un aumento importante de los precios de futuros y precios spot. Generalmente, los reguladores manejan este tipo de abuso del mercado incrementando los requisitos de margen, imponiendo límites de posiciones más estrictos, prohibiendo negociaciones que aumenten la posición abierta de un especulador, o exigiendo a los participantes del mercado que cierren sus posiciones.

Otros tipos de irregularidades en las negociaciones involucran a los negociantes del piso de la bolsa de valores. Estas irregularidades recibieron cierta publicidad a principios de 1989 cuando se anunció que el FBI había llevado a cabo una investigación durante dos años, utilizando agentes encubiertos, sobre las negociaciones realizadas en la Bolsa de Comercio de Chicago y la Bolsa Mercantil de Chicago. La investigación se inició debido a las quejas que presentó una importante empresa agrícola. Los supuestos delitos incluían cobrar en exceso a los clientes, no pagarles el producto total de las ventas, y que algunos negociantes usaban información sobre las órdenes de sus clientes para negociar primero en su propio beneficio. (Esto último se conoce como *front running*).

2.9 CONTABILIDAD E IMPUESTOS

Los detalles completos del tratamiento contable y fiscal de los contratos de futuros están más allá del objetivo de este libro. Un negociante que desee información detallada sobre este tema debe consultar a expertos. En esta sección proporcionamos alguna información general.

[2] Posiblemente, el mejor ejemplo más conocido sobre esto se relaciona con las actividades de los hermanos Hunt en el mercado de la plata en 1979-1980. Entre mediados de 1979 y principios de 1980, sus actividades dieron lugar a un incremento del precio de $9 a $50 por onza.

Contabilidad

Las normas de contabilidad requieren que se reconozcan los cambios en el valor de mercado de un contrato de futuros cuando éstos ocurren, a menos que el contrato califique como cobertura. Si el contrato califica como una cobertura, las ganancias o pérdidas se reconocen generalmente con propósitos contables en el mismo periodo en el que se reconocen las ganancias o pérdidas del activo que se está cubriendo. Este último tratamiento se conoce como *contabilidad de cobertura*.

El ejemplo 2.1 considera a una empresa cuyo fin de año ocurre en diciembre. En septiembre de 2007 la empresa compra un contrato de futuros de maíz de marzo de 2008 y cierra la posición a fines de febrero de 2008. Suponga que los precios de futuros son de 250 centavos de dólar por bushel al ingresar al contrato, de 270 centavos de dólar por bushel a fines de 2007 y de 280 centavos de dólar por bushel al cierre del contrato. El contrato estipula una entrega de 5,000 bushels. Si el contrato no califica como una cobertura, las ganancias con propósitos fiscales son

$$5{,}000 \times (2.70 - 2.50) = \$1{,}000$$

en 2007, y

$$5{,}000 \times (2.80 - 2.70) = \$500$$

en 2008. Si la empresa está cubriendo la compra de 5,000 bushels de maíz de febrero de 2008 de manera que el contrato califique para contabilidad de cobertura, toda la ganancia de $1,500 se recibe en 2008 con propósitos contables.

El tratamiento de la cobertura de las ganancias y pérdidas es razonable. Si la empresa está cubriendo la compra de 5,000 bushels de maíz de febrero de 2008, el efecto del contrato de futuros es asegurar que el precio pagado se aproxime a 250 centavos de dólar por bushel. El tratamiento contable refleja que este precio se paga en 2008. La transacción de futuros no afecta las cuentas de 2007 de la compañía.

En junio de 1998, la Junta de Normas Contables Financieras emitió la Declaración FASB No. 133, Contabilización de Instrumentos Derivados y Actividades de Cobertura (FAS 133). La FAS 133 se aplica a todos los tipos de derivados (incluyendo futuros, contratos a plazo, swaps y opciones), y requiere que todos los derivados se incluyan en el balance general a un precio de mercado justo.[3] La FAS 133 aumenta los requisitos de divulgación y también da a las empresas mucho menos libertad que antes para usar la contabilidad de cobertura. Para que ésta se use, el

Ejemplo 2.1 Trato contable de una transacción de futuros

Una empresa compra 5,000 bushels de maíz de marzo en septiembre de 2007 a 250 centavos de dólar por bushel y cierra la posición en febrero de 2008 a 280 centavos de dólar por bushel. El precio del maíz de marzo el 31 de diciembre de 2007, el fin de año de la empresa, es de 280 centavos de dólar por bushel.

Si el contrato no es una cobertura, el tratamiento de estas transacciones da lugar a:

Beneficio contable en 2007 = 5,000 × 20 centavos de dólar = $1,000.
Beneficio contable en 2008 = 5,000 × 10 centavos de dólar = $500.

Si el contrato cubre una compra de maíz de 2008, el resultado es:

Beneficio contable en 2007 = $0.
Beneficio contable en 2008 = 5,000 × 30 centavos de dólar = $1,500.

[3]Anteriormente, en algunas situaciones, el atractivo de los derivados era que estaban “fuera del balance general”.

instrumento de cobertura debe ser muy eficaz para compensar las exposiciones y se requiere una evaluación de su eficacia cada tres meses. La Junta Internacional de Normas Contables emitió una norma similar, la IAS 39.

Impuestos

Bajo las reglas fiscales estadounidenses, dos aspectos importantes son la naturaleza de una ganancia o pérdida gravable y el momento del reconocimiento de la ganancia o pérdida. Las ganancias o pérdidas se clasifican como ganancias o pérdidas de capital o como parte de los ingresos ordinarios.

En el caso de un contribuyente corporativo, las ganancias de capital se gravan a la misma tasa que los ingresos ordinarios y se limita su capacidad para deducir pérdidas. Las pérdidas de capital son deducibles sólo en la medida de las ganancias de capital. Una corporación puede imputar una pérdida de capital a un ejercicio anterior durante tres años, e imputarla al ejercicio siguiente hasta por cinco años. En el caso de un contribuyente no corporativo, las ganancias de capital a corto plazo se gravan a la misma tasa que los ingresos ordinarios, pero las ganancias de capital a largo plazo se gravan a una tasa más baja que los ingresos ordinarios. (Las ganancias de capital a largo plazo son ganancias obtenidas de la venta de un activo de capital mantenido durante más de un año; las ganancias de capital a corto plazo son las ganancias obtenidas de la venta de un activo de capital mantenido durante un año o menos). La Ley de desgravación fiscal para el contribuyente de 1997 amplió el diferencial de tasas entre los ingresos ordinarios y las ganancias de capital a largo plazo. En el caso de un contribuyente no corporativo, las pérdidas de capital son deducibles en la medida de las ganancias de capital más los ingresos ordinarios hasta un monto de $3,000 y pueden imputarse al ejercicio siguiente de manera indefinida.

Por lo general, las posiciones en contratos de futuros se manejan como si se cerraran el último día del año fiscal. En el caso del contribuyente no corporativo, esto genera ganancias y pérdidas de capital que se consideran como 60% a largo plazo y 40% a corto plazo, independientemente del periodo de tenencia. Esto se conoce como la regla “60/40”. Un contribuyente no corporativo puede decidir imputar un ejercicio anterior durante tres años cualquier pérdida neta con base en la regla 60/40 para compensar cualquier ganancia reconocida bajo esta regla en los tres años anteriores.

Las transacciones de cobertura están exentas de esta regla. La definición de una transacción de cobertura con propósitos fiscales es diferente de su definición con propósitos contables. Las regulaciones fiscales definen una transacción de cobertura como una transacción en la que se participa, en un curso normal de negocios, sobre todo por una de las siguientes razones:

1. Para reducir el riesgo de cambios de precio o de fluctuaciones monetarias con respecto a la propiedad que mantiene o mantendrá el contribuyente con la finalidad de producir ingresos ordinarios.
2. Para disminuir el riesgo de cambios de precio, de cambios en la tasa de interés o de fluctuaciones monetarias con respecto a los préstamos adquiridos por el contribuyente.

En un periodo de 35 días después de participar en una transacción de cobertura, ésta debe identificarse formalmente con una cobertura. Las ganancias o pérdidas de las transacciones de cobertura se manejan como ingresos ordinarios. El momento del reconocimiento de las ganancias por pérdidas de las transacciones de cobertura, por lo común, coincide con el momento del reconocimiento de los ingresos o la deducción de los activos cubiertos.

Se aplican reglas especiales a las transacciones de futuros sobre divisas. Un contribuyente puede tomar una decisión obligatoria de manejar las ganancias y pérdidas de todos los contratos de futuros en todas las monedas extranjeras como ingresos ordinarios, independientemente de si participa en los contratos con propósitos de cobertura o especulativos. Si un contribuyente no toma esta decisión, las transacciones de futuros sobre divisas se manejan del mismo modo que otras transacciones de futuros.

2.10 CONTRATOS A PLAZO FRENTE A CONTRATOS DE FUTUROS

Como se explicó en el capítulo 1, los contratos a plazo son similares a los contratos de futuros en que son acuerdos para comprar o vender un activo en una fecha futura específica a un precio determinado. En tanto que los contratos de futuros se negocian en una bolsa, los contratos a plazo se negocian en el mercado over-the-counter. Comúnmente, en estos contratos participan dos instituciones financieras o una institución financiera y uno de sus clientes.

Una de las partes de un contrato a plazo asume una *posición larga* y acuerda comprar el activo en una fecha específica a cierto precio. La otra parte asume una *posición corta* y acuerda vender el activo en esa misma fecha al mismo precio. Los contratos a plazo no se apegan a los estándares de una bolsa en particular. La fecha de entrega del contrato puede ser cualquier fecha mutuamente conveniente para ambas partes. En los contratos a plazo se especifica generalmente una sola fecha de entrega, mientras que en los contratos de futuros hay diversas fechas de entrega posibles.

A diferencia de los contratos de futuros, los contratos a plazo no se ajustan al mercado diariamente. Ambas partes acuerdan liquidar en la fecha de entrega específica. En tanto que la mayoría de los contratos de futuros se cierra antes de la entrega, casi todos los contratos a plazo dan lugar a la entrega del activo físico o a la liquidación en efectivo. La tabla 2.3 resume las diferencias principales entre los contratos a plazo y de futuros.

Utilidades generadas de los contratos a plazo y de futuros

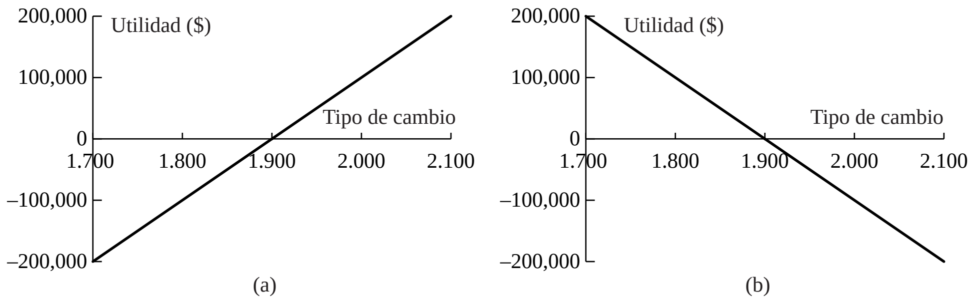
Suponga que el tipo de cambio de la libra esterlina para un contrato a plazo a 90 días es de 1.9000 dólares por libra y que esta tasa es también el precio de futuros de un contrato que se entregará exactamente en 90 días. Bajo el contrato a plazo, toda la ganancia o pérdida se obtiene al final de la vida del contrato. Bajo el contrato de futuros, la ganancia o pérdida se obtiene cada día debido a los procedimientos de liquidación diarios. La figura 2.3 muestra la utilidad neta en función del tipo de cambio para posiciones largas y cortas en contratos a plazo o de futuros a 90 días sobre £1 millón (libras).

El ejemplo 2.2 considera la situación en la que el inversionista A toma una posición larga en un contrato a plazo a 90 días por £1 millón y el inversionista B toma una posición larga en contratos de futuros a 90 días por £1 millón. (Cada contrato de futuros estipula la compra o venta de

Tabla 2.3 Comparación de los contratos a plazo y de futuros

A plazo	*De futuros*
Contrato privado entre dos partes	Se negocia en una bolsa de valores
No estandarizado	Contrato estandarizado
Generalmente tiene una fecha de entrega específica	Diversas fechas de entrega
Se liquida al término del contrato	Se liquida diariamente
La entrega o la liquidación final en efectivo ocurre usualmente	El contrato se cierra generalmente antes de su vencimiento
Algún riesgo de crédito	Prácticamente no hay riesgo de crédito

Figura 2.3 Utilidad obtenida de una posición a) larga y b) corta en contratos a plazo o de futuros por £1 millón



£62,500, por lo que el inversionista B compró un total de 16 contratos). Asuma que el tipo de cambio spot dentro de 90 días resulta ser de 2.0000 dólares por libra. El inversionista A obtiene una ganancia de $100,000 en el 90º día. El inversionista B obtiene la misma ganancia, pero repartida durante el periodo de 90 días. Algunos días, el inversionista B tiene una pérdida, en tanto que otros días obtiene una ganancia. Sin embargo, en total, cuando las pérdidas se balancean contra las ganancias, hay una ganancia de 100 mil dólares durante el periodo de 90 días.

Cotizaciones de divisas

Los contratos a plazo y de futuros se negocian activamente en monedas extranjeras. No obstante, hay una diferencia en la manera en que se cotizan los tipos de cambio en ambos mercados. Los precios de futuros siempre se cotizan como la cantidad de dólares estadounidenses por unidad de moneda extranjera o como la cantidad de centavos de dólar por unidad de moneda extranjera. Los precios a plazo se cotizan igual que los precios spot. Esto significa que para la libra esterlina, el euro, el dólar australiano y el dólar neozelandés, las cotizaciones a plazo muestran la cantidad de dólares estadounidenses por unidad de moneda extranjera y son directamente comparables con las cotizaciones de futuros. En el caso de otras monedas importantes, las cotizaciones a plazo muestran la cantidad de unidades de moneda extranjera por dólar estadounidense (USD). Considere al dólar canadiense (CAD). La cotización de un precio de futuros de 0.8500 USD por CAD corresponde a la cotización de un precio a plazo de 1.1765 CAD por USD (1.1765 = 1/0.8500).

Ejemplo 2.2 Contratos de futuros frente a contratos a plazo

El inversionista A toma una posición larga en un contrato a plazo a 90 días por £1 millón. El precio a plazo es de 1.9000 dólares por libra. El inversionista B toma una posición larga en contratos de futuros a 90 días por £1 millón. El precio de futuros es también de 1.9000 dólares por libra. Al término de los 90 días, el tipo de cambio resulta ser de 2.0000.

En consecuencia, los inversionistas A y B obtienen una ganancia total de

$$(2.000 - 1.9000) \times 1{,}000{,}000 = \$100{,}000$$

La ganancia del inversionista A se obtiene en su totalidad el 90º día. La ganancia del inversionista B se obtiene cada día durante el periodo de 90 días. Algunos días, el inversionista B tiene una pérdida, en tanto que otros días obtiene una ganancia.

RESUMEN

Una proporción muy alta de los contratos de futuros que se negocian no terminan en la entrega del contrato subyacente, sino que se cierran antes de que llegar al periodo de entrega. Sin embargo, la posibilidad de la entrega final es la que guía la determinación del precio de futuros. Para cada contrato de futuros hay una serie de días durante los cuales se puede realizar la entrega, así como un procedimiento bien definido. Algunos contratos, como los contratos sobre índices accionarios, se liquidan en efectivo en vez de hacerlo mediante la entrega del activo subyacente.

La especificación de los contratos es una actividad importante de una bolsa de futuros. Ambas partes de cualquier contrato deben saber lo que puede entregarse, así como dónde y cuándo puede realizarse la entrega. Incluso, necesitan conocer los detalles sobre las horas de negociación, cómo se cotizarán los precios, los cambios máximos de precios diarios, etc. La Comisión de Comercio de Futuros de Materias Primas debe aprobar los nuevos contratos antes de que se inicie la negociación.

Los márgenes son aspectos importantes de los mercados de futuros. Un inversionista mantiene una cuenta de margen con su intermediario. La cuenta se ajusta diariamente para reflejar las ganancias o las pérdidas y, ocasionalmente, el intermediario puede requerir que se incremente el saldo de la cuenta si ocurren movimientos negativos de precios. El intermediario debe ser un miembro de la cámara de compensación o mantener una cuenta de margen con un miembro de esta cámara. Cada miembro de la cámara de compensación mantiene una cuenta de margen con la cámara de compensación de la bolsa. El saldo de la cuenta se ajusta diariamente para reflejar las ganancias y las pérdidas de los negocios que están bajo la responsabilidad del miembro de la cámara de compensación.

Las bolsas de valores reúnen de manera sistemática información sobre los precios de futuros, que se transmite en cuestión de segundos a los inversionistas de todo el mundo. Muchos periódicos importantes, como el *Wall Street Journal*, publican un resumen de las negociaciones del día anterior.

Los contratos a plazo difieren de los contratos de futuros en muchos aspectos. Los contratos a plazo son acuerdos privados entre dos partes, en tanto que los contratos de futuros se negocian en bolsas. Por lo general, hay una sola fecha de entrega en un contrato a plazo, en tanto que los contratos de futuros implican con frecuencia una serie de fechas. Como no se negocian en bolsas, los contratos a plazo no requieren estandarización. Comúnmente, un contrato a plazo no se liquida sino hasta el final de su vida y casi todos los contratos dan lugar, de hecho, a la entrega del activo subyacente o a una liquidación en efectivo en ese momento.

En los capítulos siguientes examinaremos con más detalle la manera de usar los contratos a plazo y de futuros con fines de cobertura. Además, analizaremos cómo se determinan los precios a plazo y de futuros.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Duffie, D. *Futures Markets*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1989.

Gastineau, G.L., D.J. Smith y R. Todd. *Risk Management, Derivatives, and Financial Analysis under SFAS No. 133*. The Research Foundation of AIMR and Blackwell Series in Finance, 2001.

Jorion, P. "Risk Management Lessons from Long-Term Capital Management", *European Financial Management*, 6, 3 (septiembre de 2000): 277-300.

Kawaller, I.G. y P.D. Koch. "Meeting the Highly Effective Expectation Criterion for Hedge Accounting", *Journal of Derivatives*, 7, 4 (verano de 2000): 79-87.

Lowenstein, R. *When Genius Failed: The Rise and Fall of Long-Term Capital Management*. Nueva York: Random House, 2000.

Warwick, B., F.J. Jones y R.J. Teweles. *The Futures Game*. 3ª. edición. Nueva York: McGraw-Hill, 1998.

Examen (respuestas al final del libro)

2.1. Distinga entre los términos *interés abierto* y *volumen de transacciones*.

2.2. ¿Cuál es la diferencia entre un *local* y un *corredor a comisión*?

2.3. Siponga que usted toma una posición corta en un contrato de futuros para vender plata de julio a $10.20 por onza en la Bolsa de Productos de Nueva York. El tamaño del contrato es de 5,000 onzas. El margen inicial es de $4,000 y el margen de mantenimiento es de $3,000. ¿Qué cambio en el precio de futuros dará lugar a una demanda de garantía adicional? ¿Qué ocurre si usted no cumple la demanda de garantía adicional?

2.4. Suponga que en septiembre de 2007 una empresa toma una posición larga en un contrato de futuros de petróleo crudo de mayo de 2008. La empresa cierra su posición en marzo de 2008. El precio de futuros (por barril) es de $68.30 cuando ingresa al contrato, de $70.50 cuando cierra la posición y de $69.10 al fines de diciembre de 2007. Un contrato estipula la entrega de 1,000 barriles. ¿Cuál es la utilidad de la empresa? ¿Cuando la obtiene? ¿Cómo se grava la empresa si ésta actúa como a) coberturista y b) especuladora? Asuma que la empresa tiene como fin de año el 31 de diciembre.

2.5. ¿Qué significa una orden con precio tope para vender a 2 dólares? ¿De qué manera podría utilizarse? ¿Qué significa una orden limitada para vender a 2 dólares? ¿Cómo podría usarse?

2.6. ¿Cuál es la diferencia entre la operación de las cuentas de margen administradas por una cámara de compensación y las que administra un intermediario?

2.7. ¿Qué diferencias hay en la manera de cotizar los precios en el mercado de futuros sobre divisas, el mercado spot de divisas y el mercado a plazo de divisas?

Preguntas y problemas

2.8. La parte con una posición corta en un contrato de futuros tiene a veces opciones en cuanto al activo preciso que se entregará, dónde se llevará a cabo la entrega, cuándo ocurrirá la entrega, etc. ¿Estas opciones aumentan o disminuyen el precio de futuros? Explique su argumento.

2.9. ¿Cuáles son los aspectos más importantes del diseño de un nuevo contrato de futuros?

2.10. Explique cómo protegen los márgenes a los inversionistas contra la posibilidad de incumplimiento.

2.11. Un inversionista participa en dos contratos de futuros de julio sobre jugo de naranja, tomando posiciones largas. Cada contrato estipula la entrega de 15,000 libras. El precio de futuros actual es de 160 centavos de dólar por libra, el margen inicial es de $6,000 por contrato y el margen de mantenimiento es de $4,500 dólares por contrato. ¿Qué cambio de precio daría lugar a una demanda de garantía adicional? ¿En qué circunstancias podría retirar $2,000 de la cuenta de margen?

2.12. Muestre que hay una oportunidad de arbitraje si el precio de futuros de una commodity es mayor que el precio spot durante el periodo de entrega. ¿Existe una oportunidad de arbitraje si el precio de futuros es menor que el precio spot? Explique su respuesta.

2.13. Explique la diferencia entre una orden de compra o venta (market-if-touched) y una orden con precio tope.

2.14. Explique qué significa una orden de pérdida limitada de venta a 20.30 con un precio límite de 20.10.

2.15. Al final de un día, un miembro de una cámara de compensación tiene una posición larga en 100 contratos y el precio de liquidación es de $50,000 por contrato. El margen inicial es de $2,000 por contrato. Al día siguiente, el miembro adquiere la responsabilidad de compensar 20 contratos largos adicionales, pactando un precio de $51,000 por contrato. El precio de liquidación al final de este día es de $50,200. ¿Cuánto tuvo que depositar el miembro en la cuenta de margen que mantiene con la cámara de compensación de la bolsa?

2.16. El 1 de julio de 2007, una empresa estadounidense participa en un contrato a plazo para comprar 10 millones de libras esterlinas el 1 de enero de 2008. El 1 de septiembre de 2007 participa en un contrato a plazo para vender 10 millones de libras esterlinas el 1 de enero de 2008. Describa la utilidad o la pérdida en dólares que la empresa obtendrá en función de los tipos de cambio a plazo del 1 de julio de 2007 y del 1 de septiembre de 2007.

2.17. El precio a plazo del franco suizo para entrega en 45 días se cotiza en 1.2500. El precio de futuros de un contrato que se entregará en 45 días es de 0.7980. Explique estas dos cotizaciones. ¿Cuál es la más favorable para un inversionista que desee vender francos suizos?

2.18. Suponga que llama a su intermediario y emite instrucciones para vender un contrato de cerdos de julio. Describa lo que ocurre.

2.19. "La especulación en los mercados de futuros es un mero juego de apuestas. No beneficia al interés público permitir que los especuladores negocien en una bolsa de futuros". Analice este punto de vista.

2.20. Identifique las dos commodities cuyos contratos de futuros tienen el interés abierto más alto en la tabla 2.2.

2.21. ¿Qué cree que sucedería si una bolsa comenzara a negociar un contrato en el que la calidad del activo subyacente estuviera especificada de manera incompleta?

2.22. "Cuando un contrato de futuros se negocia en el piso de la bolsa, podría ocurrir que el interés abierto aumentara en uno, permaneciera igual o disminuyera en uno". Explique esta afirmación.

2.23. Suponga que el 24 de octubre de 2007 una empresa vende un contrato de futuros sobre ganado bovino en pie de abril de 2008. Cierra su posición el 21 de enero de 2008. El precio de futuros (por libra) es de 91.20 centavos de dólar cuando ingresa al contrato, de 88.30 centavos de dólar cuando cierra la posición y de 88.80 centavos de dólar al final de diciembre de 2007. Un contrato estipula la entrega de 40 mil libras de ganado. ¿Cuál es la utilidad? ¿Cómo se grava si la compañía actúa como a) coberturista y b) especuladora? Asuma que la compañía tiene como fin de año el 31 de diciembre.

Preguntas de tarea

2.24. Una compañía toma una posición corta en un contrato de futuros para vender 5,000 bushels de trigo a 450 centavos de dólar por bushel. El margen inicial es de $3,000 y el margen de mantenimiento es de $2,000. ¿Qué cambio de precio daría lugar a una demanda de garantía adicional? ¿En qué circunstancias podría retirar $1,500 de la cuenta de margen?

2.25. Suponga que no hay costos de almacenamiento para el petróleo crudo y que la tasa de interés por prestar o adquirir un préstamo es de 5% anual. ¿De qué manera podría ganar dinero el 8 de enero de 2007, negociando contratos de petróleo crudo de junio de 2007 y de diciembre de 2007? Use la tabla 2.2.

2.26. ¿Qué posición es equivalente a un contrato a plazo largo para comprar un activo en K en cierta fecha y una opción de venta para venderlo en K en esa misma fecha?

2.27. El sitio Web del autor (`www.rotman.utoronto.ca/˜hull/data`) contiene los precios de cierre diarios del contrato de futuros de petróleo crudo y del contrato de futuros de oro. (Ambos contratos se negocian en NYMEX). Usted debe descargar los datos y responder lo siguiente:

a. ¿Qué tan altos deben ser los niveles de margen de mantenimiento para que haya una probabilidad de 1% de que un inversionista con un saldo ligeramente por arriba del nivel de margen de mantenimiento en un día específico tenga un saldo negativo dos días después? ¿Qué tan altos deben ser para que haya una probabilidad de 0.1%? Asuma que los cambios diarios de precio se distribuyen normalmente con una media de cero. Explique por qué NYMEX podría interesarse en este cálculo.

b. Imagine a un inversionista que inicia con una posición larga en el contrato de petróleo al inicio del periodo cubierto por los datos y que mantiene el contrato durante todo este periodo. Se han retirado los saldos de margen que exceden al margen inicial. Use el margen de mantenimiento que calculó en el inciso a) para un nivel de riesgo de 1% y asuma que el margen de mantenimiento es 75% del margen inicial. Calcule el número de demandas de garantía adicional y el número de veces que el inversionista tiene un saldo de margen negativo. Asuma que todas las demandas de garantía adicional se cumplen según sus cálculos. Repita los cálculos para un inversionista que inicia con una posición corta en el contrato de oro.

CAPÍTULO 3

Estrategias de cobertura con contratos de futuros

Muchos de los participantes en los mercados de futuros son coberturistas. Su objetivo es usar los mercados de futuros para reducir un riesgo específico al que se enfrentan. Este riesgo podría relacionarse con el precio del petróleo, un tipo de cambio, el nivel del mercado accionario o alguna otra variable. Una *cobertura perfecta* es la que elimina completamente el riesgo. Las coberturas perfectas son raras. Por lo tanto, en gran parte, un estudio de la cobertura con contratos de futuros es un estudio de las maneras de crear coberturas para que funcionen del modo más perfecto posible.

En este capítulo consideramos varios aspectos generales relacionados con la forma en que se establecen las coberturas. ¿Cuándo es adecuada una posición corta en un contrato de futuros? ¿Cuándo es apropiada una posición larga en un contrato de futuros? ¿Qué contrato de futuros se debe usar? ¿Cuál es el tamaño óptimo de la posición en un contrato de futuros para reducir el riesgo? En esta etapa centramos nuestra atención en lo que podría denominarse estrategias *hedge-and-forget* (cubrir y olvidarse). Asumimos que no se realiza ningún intento por ajustar la cobertura una vez que se ha establecido. El coberturista simplemente toma una posición en un contrato de futuros al inicio de la vida de la cobertura y cierra la posición al final de la vida de la misma. En el capítulo 15 examinaremos las estrategias dinámicas de cobertura en las que la cobertura se vigila de cerca y se realizan ajustes frecuentes.

Inicialmente, el capítulo trata los contratos de futuros como contratos a plazo (es decir, ignora la liquidación diaria). Posteriormente, explica un ajuste conocido como “tailing” (seguir de cerca) que toma en cuenta la diferencia entre los contratos de futuros y a plazo.

3.1 PRINCIPIOS BÁSICOS

Cuando un individuo o una empresa eligen usar los mercados de futuros para cubrir un riesgo, por lo común su objetivo es tomar una posición que lo neutralice en la medida de lo posible. Piense en una empresa que sabe que ganará $10,000 por cada centavo de dólar de incremento del precio de un commodity durante los tres meses siguientes y que perderá $10,000 por cada centavo de dólar que baje el precio durante el mismo periodo. Para hacer una cobertura, el tesorero de la empresa debe tomar una posición corta en un contrato de futuros que esté diseñada para contrarrestar este riesgo. La posición en el contrato de futuros debe generar una pérdida de $10,000 por cada centavo de dólar de incremento del precio del commodity durante los tres meses y una ganancia de $10,000 por cada centavo de dólar que disminuya el precio durante este periodo. Si el precio del commodity baja, la ganancia obtenida de la posición en el contrato de futuros contrarresta la pérdida experimentada en el resto del negocio de la empresa. Si el precio del commodity sube, la pérdida sufrida en la posición del contrato de futuros se contrarresta con la ganancia obtenida en el resto del negocio de la empresa.

Coberturas cortas

Una *cobertura corta* es aquella, como la que acabamos de describir, que implica una posición corta en contratos de futuros. Una cobertura corta es adecuada cuando el coberturista ya conoce un activo y espera venderlo en alguna fecha futura. Por ejemplo, una cobertura corta podría usarla un ganadero que posee algunos cerdos y sabe que estarán listos para su venta en el mercado local en dos meses. Una cobertura corta también puede usarse cuando no se posee el activo en el momento presente, pero se tendrá en alguna fecha futura. Por ejemplo, piense en un exportador estadounidense que sabe que recibirá euros dentro de tres meses. El exportador obtendrá una ganancia si el valor del euro aumenta con relación al dólar estadounidense y soportará una pérdida si el valor del euro disminuye con relación a la misma moneda. Una posición corta en un contrato de futuros genera una pérdida si el valor del euro aumenta, y una ganancia si disminuye. El efecto de esta posición es contrarrestar el riesgo del exportador.

Usaremos el ejemplo 3.1 para ilustrar de manera más detallada la operación de una cobertura corta: hoy es 15 de mayo y un productor de petróleo acaba de negociar un contrato para vender 1 millón de barriles de petróleo crudo. Se acordó que el precio que tendrá validez en el contrato es el precio de mercado del 15 de agosto. Por lo tanto, el productor de petróleo está en una posición en la que ganará $10,000 por cada centavo de dólar de aumento en el precio del petróleo durante los tres meses siguientes y perderá $10,000 por cada centavo de dólar que baje el precio durante este periodo. El precio spot del 15 de mayo es de $60 por barril y el precio de futuros de petróleo crudo para entrega en agosto en la Bolsa Mercantil de Nueva York (NYMEX) es de $59 por barril. Puesto que cada contrato de futuros negociado en NYMEX estipula la entrega de 1,000 barriles, la empresa puede cubrir su exposición vendiendo en corto 1,000 contratos de futuros. Si el productor de petróleo cierra su posición el 15 de agosto, el efecto de la estrategia debe ser asegurar un precio cercano a $59 por barril.

Para ejemplificar lo que podría ocurrir, suponga que el precio spot del 15 de agosto resulta ser de $55 por barril. La empresa obtiene $55 millones por el petróleo con su contrato de venta. Como agosto es el mes de entrega del contrato de futuros, el precio de futuros del 15 de agosto

Ejemplo 3.1 Cobertura corta

Hoy es 15 de mayo. Un productor de petróleo negoció un contrato para vender 1 millón de barriles de petróleo crudo. El precio en el contrato de venta es el precio spot del 15 de agosto. Cotizaciones:

Precio spot de petróleo crudo: $60 por barril
Precio de futuros de petróleo de agosto: $59 por barril

El productor de petróleo puede cubrir con las siguientes transacciones:

15 de mayo: vender en corto 1,000 contratos de futuros de petróleo crudo de agosto
15 de agosto: cerrar la posición de los contratos de futuros

Después de tomar en cuenta las ganancias o pérdidas obtenidas de los contratos de futuros, el precio que recibe la empresa es cercano a $59 por barril.

debe ser muy cercano al precio spot de $55 en esa fecha. Por lo tanto, la empresa gana aproximadamente

$$\$59 - \$55 = \$4$$

por barril, o $4 millones en total de la posición corta en los contratos de futuros. Por consiguiente, el monto total obtenido tanto de la posición en los contratos de futuros como del contrato de venta es aproximadamente de $59 por barril o $59 millones en total.

Para obtener un resultado alternativo, suponga que el 15 de agosto el precio del petróleo resulta ser de $65 por barril. La empresa obtiene $65 por el petróleo y pierde aproximadamente

$$\$65 - \$59 = \$6$$

por barril por la posición corta en los contratos de futuros. De nuevo, el monto total obtenido es aproximadamente de $59 millones. Es fácil ver que, en todos los casos, la empresa termina con un monto aproximado de $59 millones.

Coberturas largas

Las coberturas que implican tomar una posición larga en un contrato de futuros se conocen como *coberturas largas*. Una cobertura larga es adecuada cuando una empresa sabe que deberá comprar cierto activo en el futuro y desea asegurar un precio en este momento.

Esto se ilustra en el ejemplo 3.2, en el que un fabricante de cobre sabe que requerirá 100 mil libras de cobre el 15 de mayo. El precio de futuros para entrega en mayo es de $3.20 por libra. El fabricante puede cubrir su posición tomando una posición larga en cuatro contratos de futuros negociados en la división COMEX de NYMEX y cerrando su posición el 15 de mayo. Cada contrato estipula la entrega de 25 mil libras de cobre. El efecto de esta estrategia es asegurar el precio de la cantidad requerida de cobre aproximadamente en $3.20 por libra.

Suponga que el precio del cobre del 15 de mayo resulta ser de $3.25 por libra. Como mayo es el mes de entrega del contrato de futuros, este precio debe ser muy cercano al precio de futuros. Por lo tanto, el fabricante gana alrededor de

$$100{,}000 \times (\$3.25 - \$3.20) = \$5{,}000$$

por los contratos de futuros. Paga $100{,}000 \times \$3.25 = \$325{,}000$ por el cobre, siendo el costo total alrededor de $\$325{,}000 - \$5{,}000 = \$320{,}000$. Para obtener un resultado alternativo, supon-

Ejemplo 3.2 Cobertura larga

Hoy es 15 de enero. Un fabricante de cobre sabe que requerirá 100 mil libras de cobre el 15 de mayo para cumplir con un contrato determinado. El precio spot del cobre es de $3.40 por libra y el precio de futuros de mayo es de $3.20 por libra.

El fabricante de cobre puede cubrir con las transacciones siguientes:

15 de enero: tomar una posición larga en cuatro contratos de futuros de cobre de mayo
15 de mayo: cerrar la posición

Después de tomar en cuenta las ganancias o pérdidas obtenidas de los contratos de futuros, el precio pagado por la empresa es cercano a $3.20 por libra.

ga que el 15 de mayo el precio es de \$3.05 por libra. Entonces, el fabricante pierde aproximadamente

$$100{,}000 \times (\$3.20 - \$3.05) = \$15{,}000$$

por el contrato de futuros y paga $100{,}000 \times \$3.05 = \$305{,}000$ por el cobre. De nuevo, el costo total es aproximadamente de \$320.000, o \$3.20 por libra.

Observe que es mejor para la empresa usar contratos de futuros que comprar el cobre el 15 de enero en el mercado al contado. Si hace esto último, pagará \$3.40 por libra en vez de \$3.20 por libra e incurrirá en costos tanto de intereses como de almacenamiento. En el caso de una empresa que usa el cobre de manera regular, esta desventaja se compensaría con la conveniencia de tener el cobre disponible.[1] Sin embargo, en el caso de una empresa que sabe que no requerirá el cobre hasta el 15 de mayo, es preferible la alternativa del contrato de futuros.

Las coberturas largas se pueden usar para manejar una posición corta existente. Piense en un inversionista que ha vendido en corto cierta acción. (Vea la sección 5.2 para conocer un análisis de las ventas en corto). Parte del riesgo al que se enfrenta el inversionista se relaciona con el desempeño del mercado accionario en general. El inversionista puede contrarrestar este riesgo con una posición larga en contratos de futuros sobre índices. Más adelante analizaremos con mayor detalle este tipo de estrategia de cobertura.

En los ejemplos 3.1 y 3.2 asumimos que la posición en los contratos de futuros se cierra en el mes de entrega. La cobertura tiene el mismo efecto básico si se permite que ocurra la entrega. No obstante, realizar o recibir la entrega puede ser costoso e inconveniente. Esto hace que por lo común la entrega no se realice aunque el coberturista mantenga el contrato de futuros hasta el mes de entrega. Como se analizará posteriormente, los coberturistas con posiciones largas suelen evitar cualquier posibilidad de tener que recibir la entrega cerrando sus posiciones antes del periodo de entrega.

En ambos ejemplos hemos asumido que un contrato de futuros es igual a un contrato a plazo. En la práctica, la liquidación diaria sí tiene un pequeño efecto en el desempeño de una cobertura. Como se explicó en el capítulo 2, esto significa que el pago obtenido de un contrato de futuros se recibe cada día a lo largo de la vida de la cobertura en lugar de recibirlo todo al final.

3.2 ARGUMENTOS A FAVOR Y EN CONTRA DE LA COBERTURA

Los argumentos a favor de la cobertura son tan evidentes que difícilmente necesitan mencionarse. Casi todas las empresas están en el negocio de la manufactura, las ventas al detalle o al mayoreo, así como la provisión de un servicio. No tienen habilidades o destrezas específicas para predecir variables como tasas de interés, tipos de cambio y precios de commodities. Tiene sentido para las empresas cubrir los riesgos relacionados con estas variables a medida que surgen. Entonces, las empresas pueden enfocarse en sus actividades principales, para las cuales probablemente sí posean habilidades y destrezas específicas. Por medio de la cobertura se evitan sorpresas desagradables, como incrementos rápidos del precio de un commodity.

En la práctica, muchos riesgos se quedan sin cubrir. En el resto de esta sección exploraremos algunas de las razones.

[1] Vea el capítulo 5 para un análisis de los rendimientos de conveniencia.

Cobertura y accionistas

Un argumento que a veces se plantea es que los accionistas pueden, si lo desean, realizar la cobertura por sí mismos; no necesitan que la empresa lo haga por ellos. Sin embargo, este argumento es cuestionable, pues asume que los accionistas tienen tanta información sobre los riesgos a que se enfrenta la compañía como la administración de ésta. En la mayoría de los casos, esto no es así. Además, este argumento ignora las comisiones y otros costos de transacción, los cuales son más baratos por dólar de cobertura para las transacciones grandes que para las pequeñas. Por lo tanto, es más probable que la cobertura sea menos costosa cuando la lleva a cabo la empresa que cuando la realizan accionistas individuales. De hecho, el tamaño de los contratos de futuros impide en muchas situaciones que accionistas individuales realicen la cobertura.

Algo que los accionistas pueden hacer con mayor facilidad que una corporación es diversificar el riesgo. Un accionista con una cartera bien diversificada puede ser inmune a muchos de los riesgos a los que se enfrenta una corporación. Por ejemplo, además de mantener acciones de una empresa que utiliza cobre, un accionista bien diversificado podría mantener acciones de un productor de cobre, de tal manera que haya muy poca exposición general al precio del cobre. Si las empresas actúan en función de los mejores intereses de accionistas bien diversificados, se puede argumentar que en muchos casos no se requiere la cobertura. No obstante, el grado en que los administradores reciben en la práctica la influencia de este tipo de argumento es dudoso.

Cobertura y competidores

Si la cobertura no es la norma en una determinada industria, no tiene sentido que una empresa específica decida ser diferente de todas las demás. Las presiones competitivas dentro de la industria pueden ser tales que los precios de los bienes y servicios producidos por ésta fluctúen para reflejar los costos de las materias primas, las tasas de interés, los tipos de cambio, etc. Una empresa que no realiza cobertura espera que sus márgenes de utilidades sean más o menos constantes. Sin embargo, ¡una empresa que sí realiza cobertura espera que sus márgenes de utilidades fluctúen!

Para ilustrar este punto, considere a dos productores de joyería de oro, SafeandSure Company y TakeaChance Company. Asumimos que la mayoría de las empresas de la industria no realiza cobertura contra los cambios de precio del oro y que TakeaChance Company no es la excepción. Con todo, SafeandSure Company decidió ser diferente a sus competidores y usar contratos de futuros para cubrir su compra de oro durante los 18 meses siguientes. Si el precio del oro sube, las presiones económicas darán lugar a un incremento correspondiente del precio mayorista de la joyería, de tal manera que no se afecta el margen de utilidades de TakeaChance Company. Por el contrario, el margen de utilidades de SafeandSure Company aumentará después de que se hayan tomado en cuenta los efectos de la cobertura. Si el precio del oro baja, las presiones económicas ocasionarán una disminución correspondiente del precio mayorista de la joyería. De nuevo, no se afecta el margen de utilidades de TakeaChance Company. Sin embargo, el margen de utilidades de SafeandSure Company baja. En condiciones extremas, ¡el margen de utilidades de esta empresa podría volverse negativo como consecuencia de la “cobertura” que llevó a cabo! La situación se resume en la tabla 3.1.

Este ejemplo destaca la importancia de observar el panorama completo al realizar una cobertura. Al diseñar una estrategia de cobertura para protegerse en contra de los cambios de precios, deben tomarse en cuenta todas las implicaciones de dichos cambios sobre la rentabilidad de una empresa.

Tabla 3.1 Peligros que se corren al hacer una cobertura cuando los competidores no la hacen

Cambio de precio del oro	*Efecto en el precio de la joyería de oro*	*Efecto en las utilidades de TakeaChance Company*	*Efecto en las utilidades de SafeandSure Company*
Aumento	Aumento	Ninguno	Aumento
Disminución	Disminución	Ninguno	Disminución

La cobertura puede llevar a un resultado peor

Es importante reconocer que una cobertura con contratos de futuros puede ocasionar una disminución o un incremento de las utilidades de una empresa con relación a su posición sin una cobertura. En el ejemplo 3.1, si el precio del petróleo baja, la empresa pierde dinero con su venta de 1 millón de barriles de petróleo y su posición en los contratos de futuros da lugar a una ganancia compensatoria. El tesorero puede felicitarse por haber tenido la previsión de implementar la cobertura. Evidentemente, la empresa se encuentra mejor de lo que estaría sin una cobertura y se espera que los demás ejecutivos de la organización aprecien la contribución del tesorero. Pero si el precio del petróleo sube, la empresa gana con su venta de petróleo y su posición en los contratos de futuros da lugar a una pérdida compensatoria, de modo que la empresa está peor que si no tuviera la cobertura. Aunque la decisión de cubrir era perfectamente lógica, en la práctica el tesorero tendrá dificultades para justificarla. Suponga que, en el ejemplo 3.1, el 15 de agosto el precio del petróleo es de $69, de modo que la empresa pierde $10 por barril con el contrato de futuros. Ya podemos imaginarnos una conversación entre el presidente y el tesorero, como la siguiente:

PRESIDENTE: ¡Esto es terrible! Hemos perdido $10 millones en el mercado de futuros en un periodo de tres meses. ¿Cómo pudo haber sucedido esto? Quiero una explicación detallada.

TESORERO: El propósito de los contratos de futuros era cubrir nuestra exposición al precio del petróleo, no ganar una utilidad. No olvide que en nuestro negocio ganamos alrededor de $10 millones debido al efecto favorable de los incrementos del precio del petróleo.

PRESIDENTE: ¿Qué importancia tiene eso? Es como decir que no necesitamos preocuparnos de que nuestras ventas bajen en California porque están aumentando en Nueva York.

TESORERO: Si el precio del petróleo hubiera bajado...

PRESIDENTE: No me interesa lo que hubiera ocurrido si el precio del petróleo hubiera bajado. El hecho es que subió. En realidad, no sé qué hace usted participando en los mercados de futuros de esta manera. Nuestros accionistas esperan resultados particularmente buenos este trimestre. Tendré que explicarles que lo que usted hizo redujo las utilidades en $10 millones. Temo que esto significa que no habrá bono para usted este año.

TESORERO: Eso no es justo. Yo sólo...

PRESIDENTE: ¡No es justo! Tiene suerte de no ser despedido. Usted perdió $10 millones.

TESORERO: Eso depende de cómo lo vea...

Panorámica de negocios 3.1 Cobertura realizada por compañías mineras de oro

Es natural que una compañía minera de oro considere la cobertura contra cambios en el precio del oro. Comúnmente se requieren varios años para extraer todo el oro de una mina. Una vez que una compañía minera de oro decide seguir adelante con la producción en una mina específica, tiene una enorme exposición al precio del oro. De hecho, una mina que parece rentable al principio podría volverse poco rentable si el precio del oro cae.

Las compañías mineras de oro tienen cuidado de explicar sus estrategias de cobertura a los posibles accionistas. Algunas no cubren, sino que su tendencia es atraer accionistas que compran acciones de oro porque desean obtener un beneficio cuando el precio del oro suba y están preparados para aceptar el riesgo de una pérdida por una baja en el precio. Otras deciden cubrir. Calculan cuántas onzas producirá cada mes durante los años siguientes e ingresan en contratos de futuros o a plazo para asegurar el precio que se recibirá.

Suponga que usted es Goldman Sachs y que acaba de ingresar a un contrato a plazo con una compañía minera mediante el cual acuerda comprar una gran cantidad de oro a un precio fijo. ¿Cómo cubre su riesgo? La respuesta es que usted pide prestado oro a un banco central y lo vende al precio del mercado actual. (Los bancos centrales de muchos países mantienen grandes cantidades de oro). Al final de la vida del contrato a plazo, usted compra oro a la compañía minera en los términos del contrato a plazo y lo usa para hacer el reembolso al banco central. Éste cobra una comisión (quizá de 1.5% anual), conocida como tasa de arrendamiento del oro, por prestar su oro de esta manera.

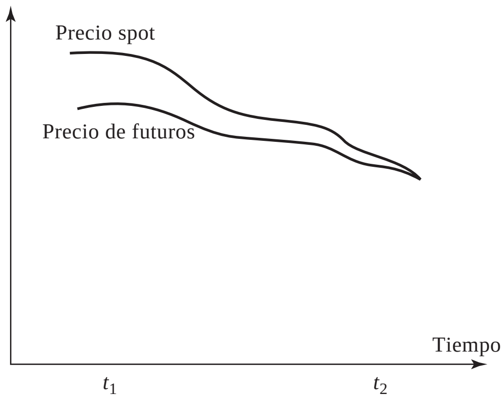
¡Es fácil ver por qué muchos tesoreros se niegan a cubrir! La cobertura reduce el riesgo para la empresa. No obstante, puede aumentar los riesgos para el tesorero si los demás no entienden completamente lo que se está haciendo. La única solución real a este problema consiste en asegurarse de que todos los directores de alto nivel de la organización entiendan por completo la naturaleza de la cobertura antes de implantar un programa de este tipo. En teoría, el consejo administrativo de la empresa es el que establece las estrategias de cobertura, las cuales se comunican claramente tanto a la administración de la empresa como a sus accionistas. (Vea la Panorámica de negocios 3.1 para un análisis de la cobertura que realizan las compañías mineras de oro).

3.3 RIESGO BASE

Las coberturas de los ejemplos considerados hasta ahora han sido demasiado buenas para ser verdad. El coberturista fue capaz de identificar la fecha futura precisa en la que se compraría o vendería un activo y después pudo usar los contratos de futuros para eliminar casi todo el riesgo relacionado con el precio del activo en esa fecha. En la práctica, realizar una cobertura no es tan sencillo. Algunas de las razones son las siguientes:

1. El activo cuyo precio se deberá cubrir puede no ser exactamente igual al activo subyacente al contrato de futuros.
2. El coberturista puede no estar seguro de la fecha exacta en que se comprará o venderá el activo.
3. La cobertura puede requerir que el contrato de futuros se cierre antes de su mes de entrega.

Figura 3.1 Variación de la base con el paso del tiempo



Estos problemas dan lugar a lo que se denomina *riesgo base*. A continuación se explicará este concepto.

La base

La *base* en una situación de cobertura es como sigue:[2]

$$\text{Base} = \text{precio spot del activo a cubrir} - \text{precio de futuros del contrato utilizado}$$

Si el activo a cubrir y el activo subyacente al contrato de futuros son iguales, la base debe ser de cero al vencimiento del contrato de futuros. Antes del vencimiento, la base puede ser positiva o negativa. El precio spot debe ser igual al precio de futuros en el caso de un contrato con vencimiento muy corto. En la tabla 2.2 y en la figura 2.2 vemos que en el 8 de enero de 2007 la base era negativa para el oro y positiva para el jugo de naranja.

Cuando el precio spot aumenta más que el precio de futuros, la base se incrementa. Esto se conoce como *fortalecimiento de la base*. Cuando el precio de futuros aumenta más que el precio spot, la base declina. Esto se conoce como *debilitamiento de la base*. La figura 3.1 ilustra cómo podría cambiar una base con el paso del tiempo en una situación en la que la base es positiva antes del vencimiento del contrato de futuros.

Para analizar la naturaleza del riesgo base, usaremos la siguiente notación:

S_1: precio spot en la fecha t_1
S_2: precio spot en la fecha t_2
F_1: precio de futuros en la fecha t_1
F_2: precio de futuros en la fecha t_2
b_1: base en la fecha t_1
b_2: base en la fecha t_2

[2] Ésta es la definición usual. Sin embargo, a veces se usa la definición alternativa

$$\text{Base} = \text{precio de futuros} - \text{precio spot}$$

sobre todo cuando es un contrato de futuros sobre un activo financiero.

Asumiremos que se implanta una cobertura en la fecha t_1 y que se cierra en la fecha t_2. Como ejemplo, consideraremos el caso donde los precios spot y de futuros al momento de iniciar la cobertura son de \$2.50 y \$2.20, respectivamente, y que al momento de cerrar la cobertura son de \$2.00 y \$1.90, respectivamente. Esto significa que $S_1 = 2.50$, $F_1 = 2.20$, $S_2 = 2.00$ y $F_2 = 1.90$. A partir de la definición de la base,

$$b_1 = S_1 - F_1 \text{ y } b_2 = S_2 - F_2$$

de tal manera que, en nuestro ejemplo, $b_1 = 0.30$ y $b_2 = 0.10$.

Considere primero la situación de un coberturista que sabe que el activo se venderá en la fecha t_2 y toma una posición corta en un contrato de futuros en la fecha t_1. El precio obtenido por el activo es S_2 y la utilidad sobre la posición en el contrato de futuros es $F_1 - F_2$. Por lo tanto, el precio real obtenido por el activo con la cobertura es

$$S_2 + F_1 - F_2 = F_1 + b_2$$

En nuestro ejemplo, éste es de \$2.30. El valor de F_1 se conoce en la fecha t_1. Si b_2 se conociera también en esta fecha, esto daría lugar a una cobertura perfecta. El riesgo de cobertura es de incertidumbre relacionada con b_2 y se conoce como *riesgo base*. A continuación, considere una situación en la que una empresa sabe que comprará el activo en la fecha t_2 e inicia una cobertura larga en la fecha t_1. El precio pagado por el activo es S_2 y la pérdida por la cobertura es $F_1 - F_2$. Por lo tanto, el precio real pagado con la cobertura es

$$S_2 + F_1 - F_2 = F_1 + b_2$$

Ésta es la misma expresión que la anterior y es de \$2.30 en el ejemplo. El valor de F_1 se conoce en la fecha t_1 y el término b_2 representa el riesgo base.

Observe que el riesgo base puede mejorar o empeorar la posición de un coberturista. Piense en una cobertura corta. Si la base se fortalece de manera imprevista, la posición del coberturista mejora; pero si la base se debilita inesperadamente, la posición del coberturista empeora. En el caso de una cobertura larga ocurre lo contrario: si la base se fortalece de manera impresiva, la posición del coberturista empeora; y si la base se debilita (sin haberlo considerado así), la posición del coberturista mejora.

En ocasiones, el activo que genera la exposición del coberturista es diferente del activo subyacente a la cobertura. En este caso, el riesgo base suele ser mayor. Defina S_2^* como el precio del activo subyacente al contrato de futuros en la fecha t_2. Al igual que antes, S_2 es el precio del activo que se cubre en la fecha t_2. Al hacer la cobertura, una compañía asegura que el precio que se pagará (o recibirá) por el activo sea

$$S_2 + F_1 - F_2$$

Lo cual se puede expresar como

$$F_1 + (S_2^* - F_2) + (S_2 - S_2^*)$$

Los términos $S_2^* - F_2$ y $S_2 - S_2^*$ representan los dos componentes de la base. El término $S_2^* - F_2$ es la base que habría si el activo que se cubre fuera el mismo que el activo subyacente al contrato de futuros. El término $S_2 - S_2^*$ es la base que surge de la diferencia entre los dos activos.

Elección del contrato

Un factor importante que afecta el riesgo base es la elección del contrato de futuros que se usará para realizar la cobertura. Esta elección tiene dos componentes:

1. La elección del activo subyacente al contrato de futuros
2. La elección del mes de entrega

Si el activo que se cubre concuerda exactamente con el activo subyacente a un contrato de futuros, en general la primera elección es bastante fácil. En otras circunstancias, es necesario llevar a cabo un análisis cuidadoso para determinar cuál de los contratos de futuros disponibles tiene precios de futuros que se correlacionen más con el precio del activo que se ha de cubrir.

La elección del mes de entrega recibe la influencia de varios factores. En los ejemplos anteriores de este capítulo asumimos que, cuando el vencimiento de la cobertura concuerda con el mes de entrega, se elige el contrato con ese mes de entrega. De hecho, en estas circunstancias se suele elegir un contrato con un mes de entrega posterior. La razón es porque en algunos casos los precios de futuros son bastante erráticos durante el mes de entrega. Además, un coberturista con una posición larga corre el riesgo de tener que recibir la entrega del activo físico si el contrato se mantiene durante el mes de entrega. La recepción de la entrega puede ser costosa e inconveniente.

En general, el riesgo base aumenta a medida que se incrementa la diferencia de tiempo entre el vencimiento de la cobertura y el mes de entrega. Por lo tanto, una regla de oro es elegir un mes de entrega lo más cercano posible, pero que sea posterior, al vencimiento de la cobertura. Suponga que los meses de entrega son marzo, junio, septiembre y diciembre para futuros sobre un activo específico. Para vencimientos de coberturas en diciembre, enero y febrero, se elegirá el contrato de marzo; para vencimientos de coberturas en marzo, abril y mayo, se elegirá el contrato de junio, etc. Esta regla de oro asume que hay suficiente liquidez en todos los contratos para satisfacer las necesidades del coberturista. En la práctica, la liquidez tiende a ser mayor en contratos de futuros con vencimientos cortos. Por lo tanto, el coberturista puede, en algunas situaciones, preferir el uso de contratos con vencimientos cortos y renovarlos continuamente. Páginas adelante analizaremos esta estrategia.

Ejemplos

El ejemplo 3.3 mostrará algunos de los puntos abordados hasta ahora en esta sección. Hoy es 1 de marzo. Una empresa estadounidense espera recibir 50 millones de yenes japoneses a fines de julio. Los contratos de futuros sobre yenes que se negocian en la Bolsa Mercantil de Chicago tienen meses de entrega de marzo, junio, septiembre y diciembre. Un contrato estipula la entrega de 12.5 millones de yenes.

Ejemplo 3.3 Riesgo base en una cobertura corta

Hoy es 1 de marzo. Una empresa estadounidense espera recibir 50 millones de yenes japoneses a fines de julio. El precio de futuros de septiembre de los yenes es actualmente de 0.7800 centavos de dólar por yen. La estrategia de cobertura de la empresa es la siguiente:

1. Vender en corto cuatro contratos de futuros de septiembre sobre yenes el 1 de marzo a un precio de futuros de 0.7800
2. Cerrar el contrato cuando reciba los yenes a fines de julio

Un resultado posible es:

Precio spot a fines de julio = 0.7200
Precios de futuros de septiembre a fines de julio = 0.7250
Base a fines de julio = -0.0050

Hay dos formas alternativas de calcular el tipo de cambio neto después de realizar la cobertura:

Precio spot en julio + ganancia obtenida de los futuros = 0.7200 + 0.0550 = 0.7750
Precio de futuros en marzo + base en julio = 0.7800 − 0.0050 = 0.7750

Los criterios mencionados anteriormente para la elección de un contrato sugieren que se elija el contrato de septiembre con fines de cobertura.

La empresa vende en corto cuatro contratos de futuros de septiembre sobre yenes el 1 de marzo. Cuando reciba los yenes a fines de julio, cerrará su posición. El riesgo base surge de la incertidumbre acerca de la diferencia entre el precio de futuros y el precio spot en este momento. Suponemos que el 1 de marzo el precio de futuros en centavos de dólar por yen es de 0.7800 y que los precios spot y de futuros cuando el contrato se cierra son 0.7200 y 0.7250, respectivamente. La base es de −0.0050 y la ganancia obtenida de los contratos de futuros es de 0.0550. El precio real obtenido en centavos por yen es el precio spot más la ganancia obtenida de los futuros:

$$0.7200 + 0.0550 = 0.7750$$

Esto también se expresa como el precio de futuros inicial más la base:

$$0.7800 + (-0.0050) = 0.7750$$

La empresa recibe un total de 50×0.00775 millones de dólares o $387,500.

El ejemplo 3.4 considera una cobertura larga. Hoy es 8 de junio y una empresa sabe que necesitará comprar 20 mil barriles de petróleo crudo en alguna fecha de octubre o noviembre. Los contratos de futuros de petróleo se negocian actualmente en NYMEX, con entrega cada mes, y el tamaño del contrato es de 1,000 barriles. Siguiendo los criterios indicados, la empresa decide usar el contrato de diciembre con fines de cobertura. El 8 de junio toma una posición larga en 20 contratos de diciembre. En ese momento, el precio de futuros es de $68.00 por barril. La empresa encuentra que está lista para comprar el petróleo crudo el 10 de noviembre, por lo tanto, cierra su contrato de futuros en esa fecha. El riesgo base surge de la incertidumbre en cuanto a cuál será la base el día en que se cierre el contrato. Supongamos que el 10 de noviembre el precio spot y el precio de futuros son de $75 y $72 por barril, respectivamente. Por consiguiente, la base es de $3 y el precio real pagado es de $71 por barril o $1,420,000 en total.

Ejemplo 3.4 Riesgo base en una cobertura larga

Hoy es 8 de junio. Una empresa sabe que necesitará comprar 20,000 barriles de petróleo crudo en alguna fecha de octubre o noviembre. El precio actual de futuros de petróleo de diciembre es de $68.00 por barril. La estrategia de cobertura de la empresa es la siguiente:

1. Tomar el 8 de junio una posición larga en contratos de futuros de petróleo del 20 de diciembre a un precio de futuros de $68
2. Cerrar el contrato cuando esté lista para comprar el petróleo

Un resultado posible es:

La empresa está lista para comprar el petróleo el 10 de noviembre
Precio spot el 10 de noviembre = $75
Precio de futuros de diciembre el 10 de noviembre = $72
Base el 10 de noviembre = $3

Hay dos formas alternativas de calcular el costo neto del petróleo después de realizar la cobertura:

Precio spot el 10 de noviembre + ganancia obtenida de los futuros = $75 − $4 = $71
Precio de futuros el 8 de junio + base el 10 de noviembre = $68 + $3 = $71

3.4 COBERTURA CRUZADA

En los ejemplos 3.1 a 3.4, el activo subyacente al contrato de futuros es el mismo que el activo cuyo precio se cubre. La *cobertura cruzada* ocurre cuando los dos activos son diferentes. Por ejemplo, piense en una aerolínea preocupada por el precio futuro del combustible que utiliza. Como no hay un contrato de futuros sobre combustible de aviación, podría decidirse a usar contratos de futuros sobre diesel para cubrir su exposición.

La *razón de cobertura* es la relación entre el tamaño de la posición tomada en los contratos de futuros y el tamaño de la exposición. Cuando el activo subyacente al contrato de futuros es el mismo que el activo que se cubre, es natural usar una razón de cobertura de 1.0. Ésta es la razón de cobertura que hemos usado en los ejemplos considerados hasta ahora. En el ejemplo 3.4, la exposición del coberturista era sobre 20 mil barriles de petróleo y se establecieron contratos de futuros para entregar exactamente esta cantidad de petróleo.

Cuando se usa la cobertura cruzada, establecer una razón de cobertura igual a 1.0 no siempre es lo mejor. El coberturista debe elegir un valor para la razón de cobertura que minimice la varianza del valor de la posición cubierta. Ahora veamos cómo puede hacer esto el coberturista.

Cálculo de la razón de cobertura de varianza mínima

Usaremos la siguiente notación:

ΔS: cambio del precio spot, S, durante un periodo igual a la vida de la cobertura
ΔF: cambio del precio de futuros, F, durante un periodo igual a la vida de la cobertura
σ_S: desviación estándar de ΔS
σ_F: desviación estándar de ΔF
ρ: coeficiente de correlación entre ΔS y ΔF
h^*: razón de cobertura que minimiza la varianza de la posición del coberturista

En el Apéndice al final de este capítulo, mostramos que

$$h^* = \rho \frac{\sigma_S}{\sigma_F} \tag{3.1}$$

Figura 3.2 Dependencia de la varianza de la posición del coberturista de la razón de cobertura

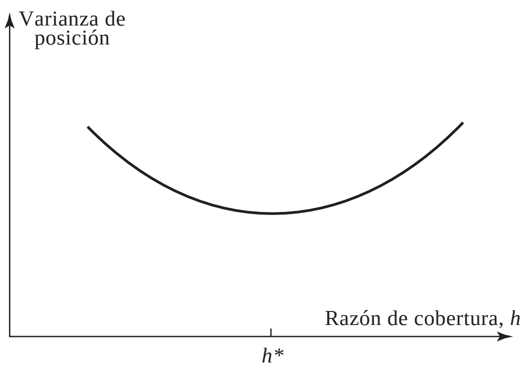
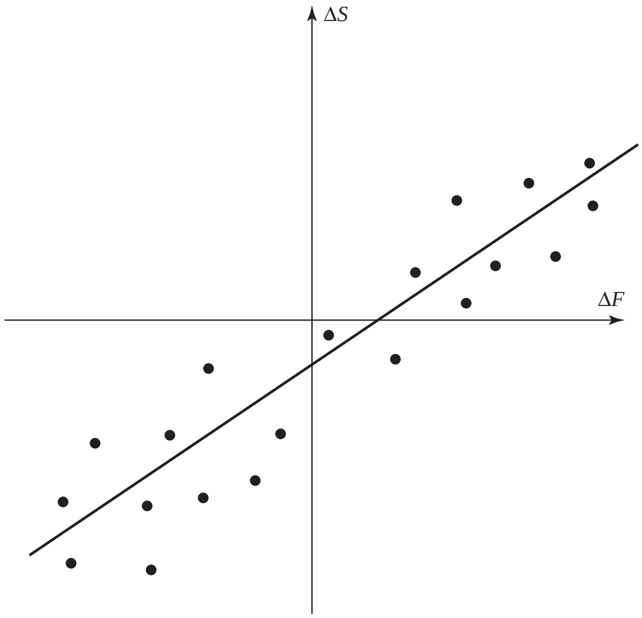


Figura 3.3 Regresión del cambio del precio spot frente al cambio del precio de futuros



La razón de cobertura óptima es el producto del coeficiente de correlación entre ΔS y ΔF y la relación entre la desviación estándar de ΔS y la desviación estándar de ΔF. La figura 3.2 muestra cómo la varianza del valor de la posición del coberturista depende de la razón de cobertura elegida.

Si $\rho = 1$ y $\sigma_F = \sigma_S$, la razón de cobertura, h^*, es de 1.0. Este resultado se esperaba porque, en este caso, el precio de futuros es exactamente igual al precio spot. Si $\rho = 1$ y $\sigma_F = 2\sigma_S$, la razón de cobertura, h^*, es de 0.5. Este resultado también se esperaba porque, en este caso, el precio de futuros siempre cambia nada menos que el doble del precio spot.

La razón de cobertura óptima, h^*, es la pendiente de la línea de ajuste óptimo cuando ΔS se regresa sobre ΔF, como se indica en la figura 3.3. Esto es intuitivamente razonable porque requerimos que h^* concuerde con la relación entre los cambios de ΔS y los cambios de ΔF. La *eficacia de cobertura* se define como la proporción de la varianza que se elimina por medio de la cobertura. Ésta es la R^2 de la regresión de ΔS sobre ΔF y es igual a ρ^2, o

$$h^{*2}\frac{\sigma_F^2}{\sigma_S^2}$$

Los parámetros ρ, σ_F y σ_S en la ecuación (3.1) se calculan generalmente a partir de datos históricos sobre ΔS y ΔF. (El supuesto implícito es que el futuro será en cierto sentido igual que el pasado). Se eligen varios intervalos de tiempo iguales, que no se superpongan entre sí, y se observan los valores de ΔS y ΔF de cada uno de los intervalos. Idealmente, la duración de cada intervalo de tiempo es igual a la duración del intervalo de tiempo en el que la cobertura permanece vigente. En la práctica, esto limita seriamente el número de observaciones disponibles, por lo que se usa un intervalo de tiempo más corto.

Ejemplo 3.5 Cálculo de la razón de cobertura de varianza mínima

Una aerolínea espera comprar dos millones de galones de combustible de aviación dentro de un mes y decide usar futuros sobre diesel con fines de cobertura. Supongamos que, durante 15 meses sucesivos, la tabla 3.2 proporciona datos sobre el cambio, ΔS, del precio por galón del combustible de aviación y sobre el cambio correspondiente, ΔF, del precio de futuros del contrato sobre diesel que se usaría para cubrir los cambios de precio que ocurrieran durante el mes. En este caso,

$$\sum x_i = -0.013, \qquad \sum x_i^2 = 0.0138$$
$$\sum y_i = 0.003, \qquad \sum y_i^2 = 0.0097$$
$$\sum x_i y_i = 0.0107$$

de tal manera que $\sigma_F = 0.0313$, $\sigma_S = 0.0263$ y $\rho = 0.928$. Por lo tanto, con base en la ecuación (3.1), la razón de cobertura de varianza mínima, h^*, es

$$0.928 \times \frac{0.0263}{0.0313} = 0.780$$

Suponga que hay n observaciones. Defina x_i y y_i como la i^{ma} observación sobre ΔF y ΔS, respectivamente. Las fórmulas estadísticas estándar calculan σ_F como

$$\sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n-1} - \frac{\left(\sum x_i\right)^2}{n(n-1)}}$$

El cálculo de σ_S es

$$\sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n-1} - \frac{\left(\sum y_i\right)^2}{n(n-1)}}$$

El cálculo de ρ es

$$\frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\left[n\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2\right]\left[n\sum y_i^2 - \left(\sum y_i\right)^2\right]}}$$

El ejemplo 3.5 presenta la aplicación de estas fórmulas a la cobertura de la compra de combustible de aviación que realiza una aerolínea.[3]

Número óptimo de contratos

Para calcular el número de contratos que deben usarse en una cobertura, defina:

Q_A: tamaño de la posición que se cubre (unidades)
Q_F: tamaño de un contrato de futuros (unidades)
N^*: número óptimo de contratos de futuros para realizar la cobertura

[3] Respecto de una anécdota de cómo Delta Airlines usó diesel para cubrir sus compras futuras de combustible de aviación, vea A. Ness, "Delta Wins on Fuel", *Risk*, junio de 2001, p. 8.

Tabla 3.2 Datos para calcular la razón de cobertura de varianza mínima cuando se usa un contrato de futuros sobre diesel para cubrir la compra de combustible de aviación

Mes i	*Cambio del precio de futuros por galón* ($= x_i$)	*Cambio del precio del combustible por galón* ($= y_i$)
1	0.021	0.029
2	0.035	0.020
3	−0.046	−0.044
4	0.001	0.008
5	0.044	0.026
6	−0.029	−0.019
7	−0.026	−0.010
8	−0.029	−0.007
9	0.048	0.043
10	−0.006	0.011
11	−0.036	−0.036
12	−0.011	−0.018
13	0.019	0.009
14	−0.027	−0.032
15	0.029	0.023

Con base en la ecuación (3.1), los contratos de futuros utilizados deben tener un valor nominal de h^*Q_A. Por lo tanto, el número requerido de contratos de futuros está dado por

$$N^* = \frac{h^* Q_A}{Q_F} \tag{3.2}$$

En el ejemplo 3.5, la razón de cobertura óptima, h^*, es 0.78. Cada contrato sobre diesel negociado en NYMEX se estipula sobre 42 mil galones de diesel. Con base en la ecuación (3.2), el número óptimo de contratos es

$$\frac{0.78 \times 2{,}000{,}000}{42{,}000} = 37.14$$

o, redondeando al número entero más cercano, 37.

Seguimiento de la cobertura

Cuando se usan futuros con fines de cobertura, puede realizarse un pequeño ajuste, conocido como *seguir de cerca la cobertura (tailing)*, para tomar en cuenta el impacto de la liquidación diaria. En la práctica, esto significa que la ecuación (3.2) se convierte en

$$N^* = \frac{h^* V_A}{V_F} \tag{3.3}$$

donde V_A es el valor en dólares de la posición que se cubre y V_F es el valor en dólares de un contrato de futuros (el precio de futuros por Q_F). Suponga que, en el ejemplo 3.5, el precio de futuros y el precio spot son de \$1.94 y \$1.99 por galón. Entonces, $V_A = 2{,}000{,}000 \times 1.94 = 3{,}880{,}000$, en tanto que $V_F = 42{,}000 \times 1.99 = 83{,}580$, de tal manera que el número óptimo de contratos es

$$\frac{0.78 \times 3{,}880{,}000}{83{,}550} = 36.22$$

Si redondeamos este resultado al número entero más cercano, el número óptimo de contratos es ahora de 36 en vez de 37. El efecto de seguir de cerca la cobertura es multiplicar la razón de cobertura de la ecuación (3.2) por la relación entre el precio spot y el precio de futuros. Idealmente, la posición en los contratos de futuros usada con fines de cobertura debe ajustarse a medida que cambian V_A y V_F, pero, en la práctica, esto no es generalmente viable.

3.5 FUTUROS SOBRE ÍNDICES BURSÁTILES

Ahora consideraremos los futuros sobre índices bursátiles y cómo se utilizan para cubrir o manejar las exposiciones a los precios de las acciones.

Un *índice accionario* da seguimiento a los cambios del valor de una cartera hipotética de acciones. El valor de una acción incluida en la cartera equivale a la proporción de la cartera invertida en la acción. El incremento porcentual del índice accionario durante un pequeño intervalo de tiempo se establece en un valor igual al incremento porcentual del valor de la cartera hipotética. Por lo general, los dividendos no están incluidos en el cálculo, por lo que el índice da seguimiento a la ganancia o pérdida de capital obtenida por invertir en la cartera.[4]

Si la cartera hipotética de acciones permanece fija, los valores asignados a las acciones individuales de la cartera no. Cuando el precio de una acción específica de la cartera aumenta más rápidamente que el de otras, se asigna automáticamente más valor a esa acción. Algunos índices se construyen con base en una cartera hipotética integrada por varias acciones. Los valores asignados a las acciones son proporcionales a sus precios de mercado, realizando ajustes cuando hay splits. Otros índices se construyen de tal manera que los valores sean proporcionales a la capitalización de mercado (precio de la acción × número de acciones en circulación). Entonces, la cartera subyacente se ajusta automáticamente para reflejar splits, dividendos en acciones y nuevas emisiones de acciones.

Índices accionarios

La tabla 3.3 muestra los precios de futuros de contratos sobre diferentes índices accionarios, según se publicaron en el *Wall Street Journal* el 9 de enero de 2007. Los precios se refieren al cierre de las negociaciones del 8 de enero de 2007.

El *Promedio Industrial Dow Jones* se basa en una cartera que consiste en 30 acciones de primera clase en Estados Unidos de América. Los valores asignados a las acciones son proporcionales a sus precios. La Bolsa de Comercio de Chicago negocia dos contratos sobre el índice. Uno se establece sobre \$10 multiplicados por el índice. El otro (el Promedio Industrial Mini DJ) se establece sobre \$5 multiplicados por el índice.

El *Índice Standard & Poor's 500* (S&P 500) se basa en una cartera de 500 acciones diferentes: 400 industriales, 40 de servicios públicos, 20 empresas de transportes y 40 instituciones financie-

[4] Una excepción a esto es un *índice de rendimiento total*. Éste se calcula asumiendo que los dividendos sobre la cartera hipotética se reinvierten en la cartera.

Tabla 3.3 Cotizaciones de futuros sobre índices obtenidos del *Wall Street Journal* el 9 de enero de 2007: las columnas muestran el mes, precio de apertura, precio máximo, precio mínimo, precio de liquidación, cambio e interés abierto, respectivamente

Index Futures

DJ Industrial Average (CBT)-$10 x index						
March	12457	12519	12405	**12492**	42	64,772
June	12580	12591	12525	**12591**	42	46
Mini DJ Industrial Average (CBT)-$5 x index						
March	12460	12514	12405	**12492**	42	106,556
June	12570	12577	12540	**12591**	42	21
S&P 500 Index (CME)-$250 x index						
March	1417.90	1424.50	1413.00	**1422.50**	6.10	601,897
June	1426.10	1437.00	1426.10	**1435.30**	6.20	13,062
Mini S&P 500 (CME)-$50 x index						
March	1417.25	1424.50	1413.00	**1422.50**	6.00	1,525,979
June	1430.50	1437.00	▼1425.50	**1435.25**	6.25	13,716
Nasdaq 100 (CME)-$100 x index						
March	1797.50	1812.50	1792.00	**1803.50**	6.25	45,550
Mini Nasdaq 100 (CME)-$20 x index						
March	1798.0	1812.3	1792.3	**1803.5**	6.5	328,990
June	1819.8	1833.3	1814.3	**1825.0**	6.5	92
Russell 1000 (NYBOT)-$500 x index						
March	770.75	773.50	769.15	**773.00**	3.10	70,440
U.S. Dollar Index (NYBOT)-$1,000 x index						
March	84.43	84.62	84.27	**84.37**	-.03	24,181
June	84.10	84.30	84.01	**84.12**	-.03	2,029

Fuente: reimpreso con permiso de Dow Jones, Inc., a través de Copyright Clearance Center, Inc., © 2007 Dow Jones & Company, Inc. Derechos reservados mundialmente.

ras. Los valores de las acciones incluidas en la cartera en un momento dado son proporcionales a sus capitalizaciones de mercado. Este índice representa 80% de la capitalización de mercado de todas las acciones cotizadas en la Bolsa de Valores de Nueva York. La Bolsa Mercantil de Chicago (CME) negocia dos contratos sobre el índice S&P 500. Uno se establece sobre $250 multiplicados por el índice; el otro (el contrato sobre el índice Mini S&P 500) se establece sobre $50 multiplicados por el índice.

El *Nasdaq 100* se basa en 100 acciones que usan el Sistema de Cotizaciones Automatizadas de la Asociación Nacional de Agentes de Valores. La CME negocia dos contratos. Uno se establece sobre $100 multiplicados por el índice; el otro (el contrato sobre el índice Mini Nasdaq 100) se establece sobre $20 multiplicados por el índice.

El *Índice Russell 1000* es un índice basado en los precios de las 1,000 acciones estadounidenses de mayor capitalización. El *Índice del dólar estadounidense* es un índice ponderado según la balanza comercial de los valores de seis divisas (el euro, el yen, la libra, el dólar canadiense, la corona sueca y el franco suizo).

Como se mencionó en el capítulo 2, los contratos de futuros sobre índices bursátiles se liquidan en efectivo, no con la entrega del activo subyacente. Todos los contratos se ajustan al mercado al precio de apertura o al precio de cierre del índice en el último día de negociación y entonces las posiciones se consideran para su cierre. Por ejemplo, los contratos sobre el índice S&P 500 se cierran al precio de apertura del índice S&P 500 del tercer viernes del mes de entrega.

Cobertura de una cartera de acciones

Los futuros sobre índices bursátiles se pueden usar para cubrir una cartera de acciones bien diversificada. Defina:

P: valor actual de la cartera

F: valor actual de un contrato de futuros (el precio de futuros por el tamaño del contrato)

Si la cartera refleja el índice, una razón de cobertura de 1.0 es la apropiada, y la ecuación (3.3) muestra que el número de contratos de futuros que deben venderse en corto es

$$N^* = \frac{P}{F} \tag{3.4}$$

Por ejemplo, suponga que una cartera con un valor de $3 millones refleja el S&P 500. El precio actual de los contratos de futuros sobre el índice es de 1,200 y cada contrato de futuros se establece sobre $250 multiplicados por el índice. En este caso, $P = 3{,}000{,}000$ y $F = 300{,}000$, por lo que deben venderse en corto diez contratos para cubrir la cartera.

Cuando la cartera no refleja exactamente el índice, podemos usar el parámetro beta (β) del modelo de valuación de activos de capital para determinar el número adecuado de contratos que se deben vender en corto. La beta es la pendiente de la línea de ajuste óptimo obtenida cuando el rendimiento sobre la cartera que excede a la tasa libre de riesgo se recupera sobre el rendimiento del mercado que excede a la tasa libre de riesgo. Cuando $\beta = 1.0$, el rendimiento sobre la cartera tiende a reflejar el rendimiento del mercado; cuando $\beta = 2.0$, el rendimiento adicional sobre la cartera tiende a ser el doble del rendimiento adicional sobre el mercado; cuando $\beta = 0.5$, tiende a ser la mitad, etcétera.

Una cartera con una β de 2.0 es dos veces más sensible a los movimientos del mercado que una cartera con una beta de 1.0; por lo tanto, es necesario usar el doble de contratos para cubrirla. Del mismo modo, una cartera con una beta de 0.5 es la mitad de sensible a los movimientos del mercado que una cartera con una beta de 1.0 y, por lo tanto, debemos usar la mitad de los contratos para cubrirla. En general, ajustamos la ecuación (3.4) para una cartera con una beta distinta a 1.0, de la manera siguiente:

$$N^* = \beta \frac{P}{F} \tag{3.5}$$

Esta fórmula asume que el vencimiento del contrato de futuros se aproxima al vencimiento de la cobertura.[5]

Mostramos, mediante un ejemplo, que esta fórmula da buenos resultados. Considere la siguiente situación en la que se usa un contrato de futuros con cuatro meses a su vencimiento para cubrir el valor de una cartera durante los tres meses siguientes:

Índice S&P 500 = 1,000
Precio de futuros sobre el índice S&P 500 = 1,010
Valor de la cartera = $5,050,000
Tasa de interés libre de riesgos = 4% anual
Rendimiento de dividendos sobre el índice = 1% anual
Beta de la cartera = 1.5

Un contrato de futuros se estipula para la entrega de $250 multiplicados por el índice. Se deduce que $F = 250 \times 1{,}010 = 252{,}500$ y, con base en la ecuación (3.5), el número de contratos de futuros que se deben vender en corto para cubrir la cartera es

$$1.5 \times \frac{5{,}050{,}000}{252{,}500} = 30$$

[5] Si se usa un contrato a plazo (sin ninguna liquidación diaria), no debe haber seguimiento de la cobertura y la ecuación (3.5) debe modificarse de tal manera que F se reemplace con el valor en dólares de los activos subyacentes al contrato de futuros. Esto concuerda con la ecuación (3.2).

Suponga que el índice resulta ser de 900 en tres meses y que el precio de futuros es de 902. Entonces, la ganancia obtenida de la posición corta en los contratos de futuros es

$$30 \times (1{,}010 - 902) \times 250 = \$810{,}000$$

La pérdida sobre el índice es de 10%. El índice paga un dividendo de 1% anual, o 0.25% trimestral. Por lo tanto, cuando se toman en cuenta los dividendos, un inversionista en el índice ganaría −9.75% en el periodo de tres meses. La tasa de interés libre de riesgo es aproximadamente de 1% trimestral. El modelo de valuación de activos de capital nos da

$$\begin{aligned}&\text{Rendimiento esperado sobre la cartera} - \text{tasa de interés libre de riesgo}\\&\qquad = 1.5 \times (\text{rendimiento sobre el índice} - \text{tasa de interés libre de riesgo})\end{aligned}$$

Se deduce que el rendimiento esperado (%) sobre la cartera durante los tres meses es

$$1.0 + [1.5 \times (-9.75 - 1.0)] = -15.125$$

Por lo tanto, el valor esperado de la cartera (incluyendo los dividendos) al término de los tres meses es

$$\$5{,}050{,}000 \times (1 - 0.15125) = \$4{,}286{,}187$$

Se deduce que el valor esperado de la posición del coberturista, incluyendo la ganancia obtenida de la cobertura, es

$$\$4{,}286{,}187 + \$810{,}000 = \$5{,}096{,}187$$

La tabla 3.4 resume estos cálculos junto con cálculos similares de otros valores del índice al vencimiento. Vemos que el valor total de la posición del coberturista dentro de tres meses es casi independiente del valor del índice.

Algo que no hemos abordado en este ejemplo es la relación entre los precios de futuros y los precios spot. En el capítulo 5 veremos que los $1,010 asumidos como el precio de futuros hoy es aproximadamente igual al que esperaríamos dada la tasa de interés y los dividendos que hemos supuesto. Lo mismo es cierto para los precios de futuros dentro de tres meses presentados en la tabla 3.4.[6]

Razones para cubrir una cartera de acciones

La tabla 3.4 muestra que el plan de cobertura genera un valor para la posición del coberturista al final de los tres meses aproximadamente 1% mayor que al inicio de los tres meses. Esto no es ninguna sorpresa. La tasa libre de riesgo es de 4% anual o 1% trimestral. La cobertura da lugar a una posición del inversionista que crece a la tasa libre de riesgo.

Es natural preguntar por qué el coberturista debe molestarse en usar contratos de futuros. Para ganar la tasa de interés libre de riesgo, el coberturista puede simplemente vender la cartera e invertir el producto en instrumentos libres de riesgo, como letras del Tesoro.

Una respuesta a esta pregunta es que la cobertura se justifica si el coberturista considera que se eligieron bien las acciones incluidas en la cartera. En estas circunstancias, el coberturista podría no estar seguro del desempeño del mercado en general, pero confiar en que las acciones incluidas en la cartera superarán el desempeño del mercado (después de haber realizado los ajustes adecua-

[6] Los cálculos de la tabla 3.4 asumen que el rendimiento de dividendos sobre el índice es previsible, que la tasa de interés libre de riesgo permanece constante y que el rendimiento sobre el índice durante el periodo de tres meses se correlaciona perfectamente con el rendimiento sobre la cartera. En la práctica, estos supuestos no se sostienen a la perfección y la cobertura no funciona tan bien como se indica en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Desempeño de una cobertura con futuros sobre un índice bursátil

Valor del índice dentro de tres meses:	900	950	1,000	1,050	1,100
Precio de futuros del índice el día de hoy:	1,010	1,010	1,010	1,010	1,010
Precio de futuros del índice dentro de tres meses:	902	952	1,003	1,053	1,103
Ganancia obtenida de la posición en los contratos de futuros ($):	810,000	435,000	52,500	−322,500	−697,500
Rendimiento sobre el mercado:	−9.750%	−4.750%	0.250%	5.250%	10.250%
Rendimiento esperado sobre la cartera:	−15.125%	−7.625%	−0.125%	7.375%	14.875%
Valor esperado de la cartera dentro de tres meses, incluyendo los dividendos ($):	4,286,187	4,664,937	5,043,687	5,422,437	5,801,187
Valor total de la posición dentro de tres meses ($):	5,096,187	5,099,937	5,096,187	5,099,937	5,103,687

dos de la beta de la cartera). Una cobertura que usa futuros sobre un índice elimina el riesgo que surge de los movimientos del mercado y deja al coberturista expuesto únicamente al desempeño de la cartera con relación al mercado. Otra razón para cubrir podría ser que el coberturista planee mantener una cartera durante un largo periodo y requiera protección a corto plazo en una situación de mercado incierta. La estrategia alternativa de vender la cartera y readquirirla posteriormente podría implicar costos de transacción excesivamente altos.

Cambio de la beta de una cartera

En el ejemplo de la tabla 3.4, la beta de la cartera del coberturista se reduce a cero. En ocasiones, los contratos de futuros se usan para cambiar la beta de una cartera a algún valor diferente de cero. Continuando con nuestro ejemplo anterior:

Índice S&P 500 = 1,000
Precio de futuros sobre el índice S&P 500 = 1,010
Valor de la cartera = $5,050,000
Beta de la cartera = 1.5

Como antes, $F = 252{,}500$ y una cobertura completa requiere

$$1.5 \times \frac{5{,}050{,}000}{252{,}500} = 30$$

contratos vendidos en corto. Para reducir la beta de la cartera de 1.5 a 0.75, el número de contratos vendidos en corto debe ser de 15 en vez de 30; para aumentar la beta de la cartera a 2.0, debe tomarse una posición larga en 10 contratos, etc. En general, el cambio de la beta de la cartera de β a β^*, donde $\beta > \beta^*$, se requiere una posición corta en

$$(\beta - \beta^*)\frac{P}{F}$$

los contratos. Cuando $\beta < \beta^*$, se requiere una posición larga en

$$(\beta^* - \beta)\frac{P}{F}$$

los contratos.

Exposición al precio de una acción individual

Algunas bolsas sí negocian contratos de futuros sobre acciones individuales, pero, en la mayoría de los casos, una posición en una acción puede cubrirse únicamente con un contrato de futuros sobre un índice bursátil.

La cobertura de una exposición al precio de una acción individual con contratos de futuros sobre índices es similar a cubrir una cartera. El número de contratos de futuros sobre un índice que el coberturista debe vender en corto se obtiene por medio de $\beta P/F$, donde β es la beta de la acción, P es el valor total de las acciones que se poseen y F es el valor actual de un contrato de futuros sobre el índice. Observe que aunque el número de contratos iniciados se calcula en la misma forma que cuando se cubre una cartera de acciones, el desempeño de la cobertura es mucho peor. La cobertura proporciona protección sólo contra el riesgo que surge de los movimientos del mercado y este riesgo es una proporción relativamente pequeña del riesgo total debido a los cambios de precios de acciones individuales. La cobertura es adecuada cuando un inversionista considera que la acción superará al desempeño del mercado, pero no está seguro del desempeño del mercado. También puede utilizarla un banco de inversión que haya suscrito una nueva emisión de la acción y desee protección contra los movimientos del mercado en general.

Piense en un inversionista que en junio mantiene 20 mil acciones de IBM, cada una con un valor de 100. El inversionista cree que la volatilidad del mercado será muy alta el próximo mes, pero que IBM tiene una buena posibilidad de superar al mercado. El inversionista decide usar el contrato de futuros de agosto sobre el índice S&P 500 para cubrir la posición durante el periodo de un mes. Se calcula que la β de IBM es de 1.1. El precio de futuros actual del contrato de agosto sobre el índice S&P 500 es de 900. Cada contrato se estipula para la entrega de $250 multiplicados por el índice. En este caso, $P = 20{,}000 \times 100 = 2{,}000{,}000$ y $F = 900 \times 250 = 225{,}000$. Por lo tanto, el número de contratos que deben venderse en corto es

$$1.1 \times \frac{2{,}000{,}000}{225{,}000} = 9.78$$

Si redondeamos este resultado al entero más cercano, el coberturista vende en corto 10 contratos, cerrando la posición un mes después. Imagine que el precio de la acción de IBM sube a $125 durante el mes y que el precio de futuros sobre el índice S&P 500 sube a 1080. El inversionista gana $20{,}000 \times (\$125 - \$100) = \$500{,}000$ con la acción de IBM, en tanto que pierde $10 \times 250 \times (1080 - 900) = \$450{,}000$ con los contratos de futuros.

En este ejemplo, la cobertura compensa una ganancia obtenida del activo subyacente con una pérdida generada por los contratos de futuros. La compensación podría parecer contraproducente. Sin embargo, no podemos dejar de destacar que el propósito de una cobertura es reducir el riesgo. Una cobertura hace que los resultados desfavorables no lo sean tanto y que los resultados favorables sean menos favorables.

3.6 RENOVACIÓN CONTINUA DE LA COBERTURA

En ocasiones, la fecha de vencimiento de la cobertura es posterior a las fechas de entrega de todos los contratos de futuros que se pueden utilizar. Entonces, el coberturista debe renovar la cobertura de manera continua cerrando el contrato de futuros y tomando la misma posición en un contrato de futuros con una fecha de entrega posterior. Las coberturas pueden renovarse muchas veces. Piense en una empresa que desea usar una cobertura corta para reducir el riesgo relacionado con el precio que se recibirá por un activo en la fecha T. Si hay contratos de futuros 1, 2, 3..., n (no todos necesariamente vigentes en el momento actual) con fechas de entrega posteriores y progresivas, la empresa puede aplicar la siguiente estrategia:

Fecha t_1: vender en corto el contrato de futuros 1
Fecha t_2: cerrar el contrato de futuros 1
vender en corto el contrato de futuros 2
Fecha t_3: cerrar el contrato de futuros 2
vender en corto el contrato de futuros 3
⋮
Fecha t_n: cerrar el contrato de futuros $n - 1$
vender en corto el contrato de futuros n
Fecha T: cerrar el contrato de futuros n

Suponga que, en abril de 2007, una empresa sabe que tendrá 100 mil barriles de petróleo para venderlos en junio de 2008 y decide cubrir su riesgo con una razón de cobertura de 1.0. (En este ejemplo no realizamos el ajuste de seguimiento, “tailing”, descrito en la sección 3.4). El precio spot actual es de $69. Aunque los contratos de futuros se negocian con vencimientos que se extienden varios años en el futuro, suponemos que únicamente los primeros seis meses de entrega tienen suficiente liquidez para satisfacer las necesidades de la empresa. Por lo tanto, ésta vende en corto 100 contratos de octubre de 2007. En septiembre de 2007 renueva la cobertura con el contrato de marzo de 2008. En febrero de 2008 renueva la cobertura una vez más con el contrato de julio de 2008.

La tabla 3.5 muestra un posible resultado. El contrato de octubre de 2007 se vende en corto a $68.20 por barril y se cierra en $67.40 por barril, obteniendo una utilidad de $0.80 por barril; el contrato de marzo de 2008 se vende en corto a $67.00 por barril y se cierra en $66.50 por barril, obteniendo una utilidad de $0.50 por barril. El contrato de julio de 2008 se vende en corto a $66.30 por barril y se cierra en $65.90 por barril, obteniendo una utilidad de $0.40 por barril. El precio spot final es de $66.

La ganancia en dólares por barril de petróleo obtenida de la posición corta en los contratos de futuros es

$$(68.20 - 67.40) + (67.00 - 66.50) + (66.30 - 65.90) = 1.70$$

El precio del petróleo disminuyó de $69 a $66. El hecho de recibir sólo una compensación de $1.70 por barril por una disminución de precio de $3.00 puede parecer poco satisfactorio. Sin embargo,

Tabla 3.5 Datos del ejemplo sobre la renovación continua de la cobertura de un contrato de futuros de petróleo

Fecha	*Abr. 2007*	*Sept. 2007*	*Feb. 2008*	*Jun. 2008*
Precio de futuros, oct. 2007	68.20	67.40		
Precio de futuros, mar. 2008		67.00	66.50	
Precio de futuros, jul. 2008			66.30	65.90
Precio spot	69.00			66.00

Panorámica de negocios 3.2 Metallgesellschaft: una cobertura que no funcionó

En ocasiones, la renovación continua de las coberturas puede ocasionar presiones de flujo de efectivo. Este problema se ilustró drásticamente con las actividades de una empresa alemana, Metallgesellschaft (MG), a principios de la década de 1990.

MG vendió a sus clientes un gran volumen de contratos para suministrar diesel y gasolina durante 5 a 10 años, con un precio fijo de $0.06 a $0.08 por arriba de los precios de mercado. Cubrió su exposición con posiciones largas en contratos de futuros a corto plazo que se renovaban continuamente. Resultó que el precio del petróleo cayó y se presentaron demandas de garantía adicional sobre las posiciones en los contratos de futuros. MG sufrió fuertes presiones de flujo de efectivo a corto plazo. Los miembros de la empresa que diseñaron la estrategia de cobertura argumentaban que estas salidas de efectivo a corto plazo se compensarían con los flujos de efectivo positivos que obtendrían finalmente con los contratos de precio fijo a largo plazo. No obstante, los directivos de la empresa y sus banqueros se preocuparon por la enorme fuga de efectivo. En consecuencia, la empresa cerró todas las posiciones de cobertura y acordó con sus clientes que abandonaría los contratos de precio fijo. El resultado fue una pérdida para MG de $1,330 millones.

no podemos esperar una compensación total por una disminución de precio cuando los precios de futuros están por debajo de los precios spot. Lo mejor que podemos esperar es asegurar el precio de futuros que se aplicaría a un contrato de junio de 2008 si éste se negociara activamente.

La liquidación diaria de los contratos de futuros puede ocasionar una discordancia entre la fecha de los flujos de efectivo sobre la cobertura y la fecha de los flujos de efectivo obtenidos de la posición que se ha de cubrir. En situaciones en las que la cobertura se renueva continuamente durante mucho tiempo, esto puede dar lugar a graves problemas (vea Panorámica de negocios 3.2).

RESUMEN

Este capítulo analizó diversas formas en las que una empresa puede tomar una posición en contratos de futuros para contrarrestar la exposición al precio de un activo. Si la exposición es tal que la empresa gana cuando el precio del activo sube y pierde cuando baja, es conveniente una cobertura corta. Si la exposición ocurre de la manera contraria (es decir, la empresa gana cuando el precio del activo baja y pierde cuando sube), lo adecuado es una cobertura larga.

La cobertura es una forma de reducir el riesgo. Por lo tanto, debe ser aceptada por la mayoría de los directivos. En realidad, hay muchas razones teóricas y prácticas por las que las empresas no cubren. A nivel teórico, podemos argumentar que los accionistas, al mantener carteras bien diversificadas, eliminan muchos de los riesgos que enfrenta una empresa, por lo que no requieren que ésta cubra dichos riesgos. A nivel práctico, una empresa puede descubrir que la cobertura aumenta el riesgo en vez de disminuirlo si ninguno de sus competidores la lleva a cabo. Además, un tesorero puede temer a la crítica de otros directivos si la empresa obtiene una ganancia de los movimientos de precios del activo subyacente, pero pierde con la cobertura.

Un concepto importante de la cobertura es el riesgo base. La base es la diferencia entre el precio spot de un activo y su precio de futuros. El riesgo base tiene su origen en la incertidumbre de un coberturista en cuanto a cuál será la base al vencimiento de la cobertura.

La razón de cobertura es la relación entre el tamaño de la posición tomada en los contratos de futuros y el tamaño de la exposición. Usar una razón de cobertura de 1.0 no siempre es lo mejor.

Si el coberturista desea minimizar la varianza de una posición, una razón de cobertura diferente de 1.0 puede ser la adecuada. La razón de cobertura óptima es la pendiente de la línea de ajuste óptimo que se obtiene cuando los cambios del precio spot giran sobre los cambios del precio de futuros.

Los futuros sobre índices bursátiles se usan para cubrir el riesgo sistemático de una cartera de acciones. El número requerido de contratos de futuros es la beta de la cartera multiplicada por la relación entre el valor de la cartera y el valor de un contrato de futuros. Los futuros sobre índices bursátiles también se usan para modificar la beta de una cartera sin cambiar las acciones que la integran.

Cuando no hay un contrato de futuros líquido que venza después del vencimiento de la cobertura, es conveniente una estrategia conocida como renovación continua de la cobertura. Esto consiste en participar en una secuencia de contratos de futuros. Cuando el primer contrato de futuros se aproxima a su vencimiento, se cierra y el coberturista ingresa a un segundo contrato con un mes de entrega posterior. Cuando el segundo contrato se aproxima a su vencimiento, se cierra y el coberturista ingresa a un tercer contrato con un mes de entrega posterior, y así sucesivamente. El resultado de todo esto es la creación de un contrato de futuros a largo plazo por medio de la negociación de una serie de contratos a corto plazo.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Allayannis, G. y J. Weston. “The Use of Foreign Currency Derivatives and Firm Market Value”, *Review of Financial Studies*, 14, 1 (primavera de 2001), pp. 243-276.

Bodnar, G.M., G.S. Hayt y R.C. Marston. “1998 Wharton Survey of Financial Risk Management by U.S. Non-Financial Firms”, *Financial Management* 2, 4 (1998), pp. 70-91.

Brown, G.W. “Managing Foreign Exchange Risk with Derivatives”, *Journal of Financial Economics*, 60 (2001), pp. 401-448.

Culp, C. y M. Miller. “Metallgesellschaft and the Economics of Synthetic Storage”, *Journal of Applied Corporate Finance* 7, 4 (invierno de 1995), pp. 62-76.

Ederington, L.H. “The Hedging Performance of the New Futures Market”, *Journal of Finance* 34 (marzo de 1979), pp. 157-170.

Edwards, F.R. y M.S. Canter. “The Collapse of Metallgesellschaft: Unhedgeable Risks, Poor Hedging Strategy, or Just Bad Luck?” *Journal of Applied Corporate Finance*, 8, 1 (primavera de 1995), pp. 86-105.

Geczy, C., B.A. Minton y C. Schrand. “Why Firms Use Currency Derivatives”, *Journal of Finance*, 52, 4 (1997), pp. 1323-1354.

Graham, J.R. y C.W. Smith Jr. “Tax Incentives to Hedge”, *Journal of Finance*, 54, 6 (1999), pp. 2241-2262.

Haushalter, G.D. “Financing Policy, Basis Risk, and Corporate Hedging: Evidence from Oil and Gas Producers”, *Journal of Finance*, 55, 1 (2000), pp. 107-152.

Mello, A.S. y J.E. Parsons. “Hedging and Liquidity”, *Review of Financial Studies*, 13 (primavera de 2000), pp. 127-153.

Neuberger, A. J. “Hedging Long-Term Exposures with Multiple Short-Term Futures Contracts”, *Review of Financial Studies*, 12 (1999), pp. 429-459.

Petersen, M.A. y S.R. Thiagarajan, “Risk Management and Hedging: With and Without Derivative”, *Financial Management*, 29, 4 (invierno de 2000), pp. 5-30.

Rendleman, R. “A Reconciliation of Potentially Conflicting Approaches to Hedging with Futures”, *Advances in Futures and Options*, 6 (1993), pp. 81-92.

Stulz, R.M. “Optimal Hedging Policies”, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 19 (junio de 1984), pp. 127-140.

Tufano, P. "Who Manages Risk? An Empirical Examination of Risk Management Practices in the Gold Mining Industry", *Journal of Finance*, 51, 4 (1996), pp. 1097-1138.

Tufano, P. "The Determinants of Stock Price Exposure: Financial Engineering and the Gold Mining Industry", *Journal of Finance*, 53, 3 (1998), pp. 1015-1052.

Examen (respuestas al final del libro)

3.1. ¿En qué condiciones son convenientes a) una cobertura corta y b) una cobertura larga?

3.2. Explique lo que significa *riesgo base* cuando se usan contratos de futuros con fines de cobertura.

3.3. Explique lo que significa una *cobertura perfecta*. ¿Produce siempre un mejor resultado una cobertura perfecta que una imperfecta? Explique su respuesta.

3.4. ¿En qué circunstancias una cartera con una razón de cobertura de varianza mínima no da lugar a ninguna cobertura en absoluto?

3.5. Dé tres razones por las que el tesorero de una empresa podría no cubrir la exposición de ésta a un riesgo específico.

3.6. Suponga que la desviación estándar de los cambios trimestrales de los precios de un commodity es de $0.65, que la desviación estándar de los cambios trimestrales de un precio de futuros sobre el commodity es de $0.81 y que el coeficiente de correlación entre ambos cambios es de 0.8. ¿Cuál es la razón de cobertura óptima de un contrato trimestral y qué significa?

3.7. Una empresa tiene una cartera de $20 millones con una beta de 1.2 y desea usar contratos de futuros sobre el índice S&P 500 para cubrir su riesgo. El precio de futuros sobre el índice es actualmente de 1,080 y cada contrato estipula la entrega de $250 multiplicados por el índice. ¿Cuál es la cobertura que minimiza el riesgo? ¿Qué debe hacer la empresa si desea reducir la beta de la cartera a 0.6?

Preguntas y problemas

3.8. En el contrato de futuros de maíz de la Bolsa de Comercio de Chicago, están disponibles los siguientes meses de entrega: marzo, mayo, julio, septiembre y diciembre. Mencione el contrato que se debe usar para cubrir cuando el vencimiento de la cobertura esté en

a. Junio

b. Julio

c. Enero

3.9. ¿Logra siempre tener éxito una cobertura perfecta al asegurar el precio spot actual de un activo para una transacción futura? Explique su respuesta.

3.10. Explique por qué la posición corta de un coberturista mejora cuando la base se fortalece súbitamente y empeora cuando la base se debilita de manera inesperada.

3.11. Imagine que usted es el tesorero de una empresa japonesa que exporta equipo electrónico a Estados Unidos de América. Analice cómo diseñaría una estrategia de cobertura de tipo de cambio y los argumentos que usaría para venderla a sus colegas ejecutivos.

3.12. Suponga que, en el ejemplo 3.4, la empresa decide usar una razón de cobertura de 0.8. ¿Cómo influye esta decisión en la manera de implementar la cobertura y en el resultado?

3.13. "Si la razón de cobertura de varianza mínima calculada es de 1.0, la cobertura debe ser perfecta". ¿Es cierta esta afirmación? Explique su respuesta.

3.14. "Si no hay riesgo base, la razón de cobertura de varianza mínima es siempre de 1.0". ¿Es cierta esta afirmación? Explique su respuesta.

3.15. "En el caso de un activo cuyos precios de futuros son generalmente menores que sus precios spot, las coberturas largas pueden ser particularmente atractivas". Explique esta afirmación.

3.16. La desviación estándar de los cambios mensuales del precio spot de ganado bovino en pie es (en centavos de dólar por libra) de 1.2. La desviación estándar de los cambios mensuales del precio de futuros de ganado bovino en pie para el contrato más próximo es de 1.4. La correlación entre los cambios del precio de futuros y los cambios del precio spot es de 0.7. Hoy es 15 de octubre. Un productor de carne de res tiene el compromiso de comprar 200 mil libras de ganado bovino en pie el 15 de noviembre. El productor desea usar los contratos de futuros de ganado bovino en pie de diciembre para cubrir su riesgo. Cada contrato estipula la entrega de 40 mil libras de ganado bovino. ¿Qué estrategia debe seguir el productor de carne de res?

3.17. Un productor de maíz argumenta: "Yo no uso contratos de futuros como cobertura. Mi riesgo real no es el precio del maíz, sino que toda mi cosecha se pierda por el clima". Analice este punto de vista. ¿Debe el agricultor calcular su producción esperada de maíz y cubrir con el propósito de asegurar un precio para la producción esperada?

3.18. El 1 de julio, un inversionista mantiene 50 mil acciones de cierta empresa. El precio de mercado es de $30 por acción. El inversionista está interesado en cubrir contra los movimientos del mercado durante el próximo mes y decide usar el contrato de futuros sobre el índice Mini S&P 500 de septiembre. El precio de futuros sobre el índice es de 1,500 y un contrato estipula la entrega de $50 multiplicados por el índice. La beta de la acción es de 1.3. ¿Qué estrategia debe seguir el inversionista?

3.19. Suponga que, en la tabla 3.5, la empresa decide usar una razón de cobertura de 1.5. ¿Cómo influye esta decisión en la manera de implementar la cobertura y en el resultado?

3.20. Un contrato de futuros se usa con fines de cobertura. Explique por qué el ajuste al mercado del contrato puede ocasionar problemas de flujo de efectivo.

Preguntas de tarea

3.21. Hoy es 16 de julio. Una empresa tiene una cartera de acciones con un valor de $100 millones. La beta de la cartera es de 1.2. La empresa desea usar el contrato de futuros de diciembre sobre el índice S&P 500 que se negocia en la CME para cambiar la beta de la cartera a 0.5 durante el periodo del 16 de julio al 16 de noviembre. El precio de futuros sobre el índice es de 1,000 y cada contrato se estipula sobre $250 multiplicados por el índice.

a. ¿Qué posición debe tomar la empresa?
b. Suponga que la empresa cambia de opinión y decide aumentar el beta de la cartera de 1.2 a 1.5. ¿Qué posición debe tomar en los contratos de futuros?

3.22. La tabla siguiente proporciona datos sobre los cambios mensuales del precio spot y del precio de futuros de cierto commodity. Use los datos para calcular una razón de cobertura de varianza mínima.

Cambio del precio spot	+0.50	+0.61	−0.22	−0.35	+0.79
Cambio del precio de futuros	+0.56	+0.63	−0.12	−0.44	+0.60
Cambio del precio spot	+0.04	+0.15	+0.70	−0.51	−0.41
Cambio del precio de futuros	−0.06	+0.01	+0.80	−0.56	−0.46

3.23. Es el mes de octubre de 2007. Una empresa anticipa que comprará un millón de libras de cobre cada mes, en febrero y agosto de 2008 y en febrero y agosto de 2009. La empresa decidió usar los contratos de futuros que se negocian en la división COMEX de la Bolsa Mercantil de Nueva York para cubrir su riesgo. Un contrato se estipula para la entrega de 25 mil libras de cobre. El margen inicial es de $2,000 por contrato y el margen de mantenimiento es de $1,500 por contrato. La política de la empresa es cubrir 80% de su exposición. Se considera que los contratos con vencimientos hasta de 13 meses en el futuro tienen suficiente liquidez para satisfacer las necesidades de la empresa. Diseñe una estrategia de cobertura para la empresa. (No realice el ajuste del seguimiento "tailing" descrito en la sección 3.4).

Asuma que los precios de mercado (en centavos de dólar por libra) de hoy y de fechas futuras son los que se presentan a continuación. ¿Cuál es el efecto de la estrategia que usted propone en el precio que la empresa paga por el cobre? ¿Cuál es el requisito de margen inicial en octubre de 2007? ¿Está la empresa sujeta a alguna demanda de garantía adicional?

Fecha	*Oct. 2007*	*Feb. 2008*	*Ago. 2008*	*Feb. 2009*	*Ago. 2009*
Precio spot	372.00	369.00	365.00	377.00	388.00
Precio de futuros, mar. 2008	372.30	369.10			
Precio de futuros, sept. 2008	372.80	370.20	364.80		
Precio de futuros, mar. 2009		370.70	364.30	376.70	
Precio de futuros, sept. 2009			364.20	376.50	388.20

3.24. Un administrador de fondos posee una cartera con un valor de $50 millones y una beta de 0.87. El administrador está preocupado por el desempeño que tendrá el mercado durante los dos meses siguientes y planea usar contratos de futuros a tres meses sobre el índice S&P 500 para cubrir el riesgo. El nivel actual del índice es de 1,250, un contrato se estipula sobre $250 multiplicados por el índice, la tasa libre de riesgo es de 6% anual y el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 3% anual. El precio actual de los contratos de futuros a tres meses es de 1,259.

a. ¿Qué posición debe tomar el administrador de fondos para cubrir la exposición al mercado durante los dos meses siguientes?

b. Calcule el efecto de su estrategia en los rendimientos del administrador de fondos si el índice dentro de dos meses es de 1,000, 1,100, 1,200, 1,300 y 1,400. Asuma que el precio de futuros a un mes es 0.25% más alto que el nivel del índice en este momento.

APÉNDICE

Prueba de la fórmula de la razón de cobertura de varianza mínima

Suponga que esperamos vender N_A unidades de un activo en la fecha t_2 y decidimos cubrir en la fecha t_1 por medio de la venta en corto de contratos de futuros sobre N_F unidades de un activo similar. La razón de cobertura, que representaremos como h, es

$$h = \frac{N_F}{N_A} \tag{3A.1}$$

Representaremos como Y el monto total obtenido del activo cuando se toma en cuenta la utilidad o la pérdida como consecuencia de la cobertura, de tal manera que

$$Y = S_2 N_A - (F_2 - F_1) N_F$$

o

$$Y = S_1 N_A + (S_2 - S_1) N_A - (F_2 - F_1) N_F \tag{3A.2}$$

donde S_1 y S_2 son los precios del activo en las fechas t_1, y t_2 y F_1 y F_2 son los precios de futuros en las fechas t_1 y t_2. Con base en la ecuación (3A.1), la expresión de Y en la ecuación (3A.2) se puede representar como

$$Y = S_1 N_A + N_A (\Delta S - h \Delta F) \tag{3A.3}$$

donde

$$\Delta S = S_2 - S_1$$

$$\Delta F = F_2 - F_1$$

Como S_1 y N_A son valores conocidos en la fecha t_1, la varianza de Y en la ecuación (3A.3) se minimiza cuando se minimiza la varianza de D$S - h$ DF. La varianza de D$S - h$ DF es igual a

$$\sigma_S^2 + h^2 \sigma_F^2 - 2h\rho\sigma_S\sigma_F$$

Esto se puede representar como

$$(h\sigma_F - \rho\sigma_S)^2 + \sigma_S^2 - \rho^2\sigma_S^2$$

Los términos segundo y tercero no incluyen a h. Por lo tanto, la varianza se minimiza cuando $(h\sigma_F - \rho\sigma_S)^2$ es de cero, es decir, cuando $h = \rho\sigma_S/\sigma_F$.

CAPÍTULO 4 Tasas de interés

Las tasas de interés son un factor en la valuación de prácticamente todos los derivados y destacarán de manera prominente en gran parte del material presentado en el resto de este libro. En este capítulo abordamos algunos temas fundamentales relacionados con la manera de medir y analizar las tasas de interés. Explicamos la frecuencia de composición que se usa para definir una tasa de interés y el significado de las tasas de interés compuestas continuamente, que se usan con mucha frecuencia en el análisis de derivados. Se analizan las tasas cero, el rendimiento a la par, las curvas de rendimiento y la valuación de bonos. Describimos un procedimiento que usa comúnmente una mesa de negociación de derivados para calcular las tasas de interés cupón cero del Tesoro. Además, abordamos las tasas a plazo y los acuerdos de interés futuro y revisamos las diferentes teorías de la estructura temporal de las tasas de interés.

El capítulo 6 examinará los futuros sobre tasas de interés y su duración. Para facilitar la exposición, en este capítulo ignoramos las convenciones de contar los días. La naturaleza de estas convenciones y su efecto en los cálculos se analizarán en los capítulos 6 y 7.

4.1 TIPOS DE TASAS

Una tasa de interés en una situación específica define la cantidad de dinero que un prestatario promete pagar al prestamista. Por lo común, para una divisa determinada se cotizan diversos tipos de tasas de interés. Estos tipos incluyen tasas hipotecarias, tasas de depósito, tasas pasivas preferenciales, etc. Las tasas de interés aplicables en una situación dependen del riesgo de crédito. Éste es el riesgo de que haya incumplimiento de parte del prestamista de los fondos, de tal manera que no se paguen los intereses ni el principal prometidos al prestamista. Cuanto mayor es el riesgo de crédito, más alta es la tasa de interés que promete el prestatario.

Tasas del Tesoro

Las tasas del Tesoro son las tasas que un inversionista gana sobre letras y bonos del Tesoro. Éstos son los instrumentos que usa un gobierno para adquirir préstamos en su propia moneda. Las tasas del Tesoro de Japón son las tasas a las que el gobierno japonés adquiere préstamos en yenes; las tasas del Tesoro de Estados Unidos de América son las tasas a las que el gobierno estadounidense adquiere préstamos en dólares estadounidenses, etc. Por lo general se asume que no hay posibilidad de que un gobierno incumpla una obligación denominada en su propia moneda. Por lo tanto, las tasas del Tesoro son tasas totalmente libres de riesgo en el sentido de que un inversionista que compra una letra o un bono del Tesoro tiene la seguridad de que los pagos de los intereses y del principal se realizarán según lo prometido.

Las tasas del Tesoro son importantes porque se usan para valuar los bonos del Tesoro y, en ocasiones, para definir el pago de un derivado. Sin embargo, los negociantes de derivados (sobre todo los que participan en el mercado OTC, *over-the-counter*) no usan, por lo general, las tasas del Tesoro como tasas libres de riesgo, sino las tasas LIBOR.

LIBOR

LIBOR es la abreviatura de *London Interbank Offered Rate*, o Tasa interbancaria de oferta del mercado de Londres. Una cotización LIBOR de un banco específico es la tasa de interés a la que el banco está dispuesto a realizar un gran depósito mayorista en otros bancos. Los grandes bancos y otras instituciones financieras cotizan la tasa LIBOR para vencimientos hasta de 12 meses en las principales divisas. Una tasa LIBOR a un mes es la tasa a la que se ofrecen los depósitos a un mes; una tasa LIBOR a tres meses es la tasa a la que se ofrecen los depósitos a tres meses, etcétera.

Un depósito realizado en un banco se considera como un préstamo a ese banco. Por lo tanto, un banco debe cumplir ciertos criterios de solvencia para poder aceptar una cotización LIBOR de otro banco y recibir depósitos de ese banco a la tasa LIBOR. Generalmente, el banco debe tener una calificación de crédito AA.[1]

Las instituciones financieras con una calificación de crédito AA consideran la tasa LIBOR como su costo de oportunidad de capital a corto plazo. Adquieren en préstamo fondos a corto plazo a las cotizaciones LIBOR de otras instituciones financieras. Sus propias cotizaciones LIBOR determinan la tasa a la que prestan sus fondos excedentes a otras instituciones financieras. Las tasas LIBOR no están totalmente libres de riesgo de crédito, ya que hay una pequeña posibilidad de que una institución financiera con una calificación de crédito AA incumpla un préstamo LIBOR a corto plazo; no obstante, están casi libres de riesgo. Los negociantes de derivados consideran las tasas LIBOR como una mejor indicación de la “verdadera” tasa libre de riesgo que las tasas del Tesoro, porque varios aspectos fiscales y reguladores hacen que las tasas del Tesoro sean artificialmente bajas (vea la Panorámica de negocios 4.1). Para coincidir con la práctica normal en los mercados de derivados, en este libro el término “tasa libre de riesgo” se interpreta como tasa LIBOR.[2]

Además de cotizar las tasas LIBOR, los grandes bancos también cotizan tasas LIBID. Ésta es la *London Interbank Bid Rate*, o Tasa interbancaria de demanda del mercado de Londres, y es la tasa a la que están dispuestos a aceptar depósitos de otros bancos. Por lo general, hay una pequeña diferencia entre las cotizaciones de las tasas LIBID y LIBOR que hace un banco en cualquier momento (la tasa LIBOR es más alta que la tasa LIBID). Las tasas mismas están determinadas por la negociación activa entre bancos y cambian continuamente de tal manera que la oferta de fondos en el mercado interbancario iguala a la demanda de fondos en ese mercado. Por ejemplo, si más bancos desean adquirir en préstamo dólares estadounidenses durante tres meses en vez de prestarlos, aumentarán las tasas LIBID y LIBOR estadounidenses a tres meses cotizadas por los bancos. Del mismo modo, si más bancos desean prestar fondos a tres meses en vez de adquirirlos en préstamo, las tasas LIBID y LIBOR

[1] La mejor calificación de crédito que la agencia de calificación S&P da a una empresa es AAA. La segunda mejor calificación es AA. Las calificaciones correspondientes a la agencia de calificación rival, Moody’s, son Aaa y Aa, respectivamente.

[2] Como veremos en el capítulo 7, es más exacto decir que la tasa libre de riesgo debe interpretarse como la tasa que deriva de las cotizaciones de la tasa LIBOR, swaps y futuros sobre eurodólares.

Panorámica de negocios 4.1 ¿Qué es la tasa libre de riesgo?

Es natural asumir que las tasas sobre letras y bonos del Tesoro son las tasas libres de riesgo de comparación correctas para los negociantes de derivados que trabajan en instituciones financieras. De hecho, estos negociantes de derivados usan generalmente las tasas LIBOR como tasas libres de riesgo a corto plazo, ya que consideran las tasas LIBOR como su costo de oportunidad de capital (vea la sección 4.1). Los negociantes argumentan que las tasas del Tesoro son demasiado bajas para usarlas como tasas libres de riesgo porque:

1. Las instituciones financieras deben comprar letras y bonos del Tesoro para cumplir diversos requisitos reguladores, lo que incrementa la demanda de estos instrumentos del Tesoro, aumentando su precio y disminuyendo su rendimiento.
2. El monto del capital que un banco debe mantener para apoyar una inversión en letras y bonos del Tesoro es considerablemente menor que el capital requerido para apoyar una inversión similar en otros instrumentos de riesgo muy bajo.
3. En Estados Unidos de América, los instrumentos del Tesoro reciben un tratamiento fiscal favorable en comparación con casi todos los demás instrumentos de renta fija, porque no se gravan a nivel estatal.

La tasa LIBOR es aproximadamente igual a la tasa de endeudamiento a corto plazo de una empresa con una calificación de crédito AA. Por lo tanto, no es un sustituto perfecto de la tasa libre de riesgo. Hay una pequeña posibilidad de que un prestatario AA incumpla durante la vida de un préstamo LIBOR. Sin embargo, los negociantes consideran que es la mejor alternativa que pueden usar. Las tasas LIBOR se cotizan para vencimientos hasta de 12 meses. Como veremos en el capítulo 7, el mercado de futuros sobre eurodólares y el mercado de swaps se usan para ampliar la alternativa del negociante a la tasa libre de riesgo más allá de 12 meses.

a tres meses disminuirán. Las tasas LIBOR y LIBID se negocian en lo que se conoce como el *mercado de eurodivisas*. Este mercado está fuera del control de cualquier gobierno.

Tasas repo

En ocasiones, las actividades de negociación se financian con un *repo* o *acuerdo de recompra*. Éste es un contrato en el que un agente de inversiones que posee títulos acuerda venderlos a otra empresa ahora y readquirirlos posteriormente a un precio ligeramente mayor. La otra empresa está proporcionando un préstamo al agente de inversiones. La diferencia entre el precio al que se venden los títulos y el precio al que se readquieren es el interés que gana la empresa. La tasa de interés se conoce como *tasa repo*. Si se estructura cuidadosamente, el préstamo implica un riesgo de crédito muy bajo. Si el prestatario no cumple el acuerdo, la empresa prestamista simplemente se queda con los títulos. Si la empresa prestamista no cumple con su parte del acuerdo, el propietario original de los títulos conserva el efectivo.

El tipo más común de repo es el *repo a un día*, en el que el acuerdo se renegocia cada día. No obstante, a veces se usan acuerdos de mayor plazo, conocidos como *repos a largo plazo*.

4.2 MEDICIÓN DE LAS TASAS DE INTERÉS

La afirmación de un banco de que la tasa de interés sobre depósitos a un año es de 10% anual suena directa y clara. De hecho, su significado preciso depende de la manera de medir la tasa de interés.

Si la tasa de interés se mide con una composición anual, la afirmación del banco de que la tasa de interés es de 10% significa que \$100 aumentan a

$$\$100 \times 1.1 = \$110$$

al término de un año. Cuando la tasa de interés se mide con una composición semestral, esto significa que se gana 5% cada seis meses, reinvirtiendo el interés. En este caso, \$100 aumentan a

$$\$100 \times 1.05 \times 1.05 = \$110.25$$

al término de un año. Cuando la tasa de interés se mide con una composición trimestral, la afirmación del banco significa que se gana 2.5% cada tres meses, reinvirtiendo el interés. Entonces, los \$100 aumentan a

$$\$100 \times 1.025^4 = \$110.38$$

al término de un año. La tabla 4.1 muestra el efecto de aumentar aún más la frecuencia de composición.

La frecuencia de composición define las unidades en que se mide una tasa de interés. Una tasa expresada con una frecuencia de composición se convierte en una tasa equivalente con una frecuencia de composición distinta. Por ejemplo, en la tabla 4.1 vemos que 10.25% con una composición anual equivale a 10% con una composición semestral. Podemos considerar la diferencia entre una frecuencia de composición y otra como semejante a la diferencia entre kilómetros y millas, es decir, son dos unidades diferentes de medición.

Para generalizar nuestros resultados, suponga que un monto A se invierte durante n años a una tasa de interés de R anual. Si la tasa se compone una vez al año, el valor final de la inversión es

$$A(1 + R)^n$$

Si la tasa se compone m veces al año, el valor final de la inversión es

$$A\left(1+\frac{R}{m}\right)^{mn} \tag{4.1}$$

A veces, cuando m = 1, la tasa se denomina *tasa de interés anual equivalente*.

Tabla 4.1 Efecto de la frecuencia de composición en el valor de \$100 al término de un año cuando la tasa de interés es de 10% anual

Frecuencia de composición	*Valor de \$100 al término del año (\$)*
Anualmente ($m = 1$)	110.00
Semestralmente ($m = 2$)	110.25
Trimestralmente ($m = 4$)	110.38
Mensualmente ($m = 12$)	110.47
Semanalmente ($m = 52$)	110.51
Diariamente ($m = 365$)	110.52

Composición continua

El límite al que la frecuencia de composición, m, tiende al infinito se conoce como *composición continua*. Con la composición continua se puede demostrar (vea el apéndice de este capítulo) que un monto A invertido durante n años a la tasa R aumenta a

$$Ae^{Rn} \tag{4.2}$$

donde $e = 2.71828$. La función e^x es la función exponencial y está incluida en la mayoría de las calculadoras, por lo que el cálculo de la expresión en la ecuación (4.2) no plantea ningún problema. En el ejemplo de la tabla 4.1, $A = 100$, $n = 1$ y $R = 0.1$, por lo que el valor al que A aumenta con la composición continua es

$$100e^{0.1} = \$110.52$$

Este monto es igual (hasta dos decimales) al valor con la composición diaria. Para la mayor parte de fines prácticos, la composición continua se considera equivalente a la composición diaria. La composición de un monto de dinero a una tasa R continuamente compuesta durante n años implica multiplicarla por e^{Rn}. Descontarla a una tasa R continuamente compuesta durante n años implica multiplicarla por e^{-Rn}.

En este libro, las tasas de interés se medirán con una composición continua, a no ser que se indique de otro modo. Los lectores que están acostumbrados a trabajar con tasas de interés medidas con una frecuencia de composición anual, semestral, o alguna otra, pueden considerar esto un poco extraño al principio. Sin embargo, las tasas de interés continuamente compuestas se usan con tanta frecuencia en la valuación de derivados que tiene sentido acostumbrarse a trabajar con ellas desde ahora.

Suponga que R_c es una tasa de interés con una composición continua y que R_m es la tasa equivalente con una composición m veces al año. Con base en los resultados de las ecuaciones (4.1) y (4.2), tenemos

$$Ae^{R_c n} = A\left(1 + \frac{R_m}{m}\right)^{mn}$$

o

$$e^{R_c} = \left(1 + \frac{R_m}{m}\right)^{m}$$

Esto significa que

$$R_c = m \ln\left(1 + \frac{R_m}{m}\right) \tag{4.3}$$

y

$$R_m = m(e^{R_c/m} - 1) \tag{4.4}$$

Estas ecuaciones se usan para convertir una tasa con una frecuencia de composición de m veces al año a una tasa continuamente compuesta y viceversa (vea el ejemplo 4.1). La función $\ln x$ es la función logarítmica natural y está incluida en la mayoría de las calculadoras. Se define como, si $y = \ln x$, entonces $x = e^y$ (vea el apéndice de este capítulo).

4.3 TASAS CERO

La tasa de interés cupón cero a n años es la tasa de interés que se obtiene sobre una inversión que inicia hoy y dura n años. Todo el interés y el principal se reciben al término de n años. No hay

Ejemplo 4.1 Cambio de la frecuencia de composición

1. Considere una tasa de interés que se cotiza a 10% anual con una composición semestral. Con base en la ecuación (4.3), con $m = 2$ y $R_m = 0.1$, la tasa equivalente con una composición continua es

$$2\ln\left(1+\frac{0.1}{2}\right) = 0.09758$$

o 9.758% anual.

2. Suponga que un prestamista cotiza la tasa de interés sobre préstamos a 8% anual con una composición continua y que, en realidad, el interés se paga trimestralmente. Con base en la ecuación (4.4), con $m = 4$ y $R_c = 0.08$, la tasa equivalente con una composición trimestral es

$$4(e^{0.08/4} - 1) = 0.0808$$

u 8.08% anual. Esto significa que, por un préstamo de $1,000 se requerirían pagos de intereses de $20.20 cada trimestre.

pagos intermedios. La tasa de interés cupón cero a *n* años se denomina en ocasiones *tasa spot* a *n* años, *tasa cero* a *n* años o sólo *cero* a *n* años. Suponga que una tasa cero a cinco años con una composición continua se cotiza a 5% anual. Esto significa que si se invierten $100 durante cinco años, crecerán a

$$100 \times e^{0.05\times 5} = 128.40$$

Muchas de las tasas de interés que observamos directamente en el mercado no son tasas cero puras. Considere un bono del gobierno a cinco años que proporciona un cupón de 6%. El precio del bono no determina por sí mismo la tasa cero del Tesoro a cinco años porque parte del rendimiento sobre el bono se obtiene en forma de cupones antes del término del quinto año. Más adelante, en este capítulo, analizaremos cómo se determinan las tasas cero del Tesoro a partir de los precios de bonos con cupón.

4.4 VALUACIÓN DE BONOS

La mayoría de los bonos proporciona cupones periódicamente. El principal del bono (conocido también como su valor a la par o valor nominal) se recibe al final de su vida. El precio teórico de un bono se calcula como el valor presente de todos los flujos de efectivo que recibirá el propietario del bono. En ocasiones los negociantes de bonos usan la misma tasa de descuento para todos los flujos de efectivo subyacentes a un bono, pero un método más exacto es usar la tasa cero adecuada para cada flujo de efectivo.

Para ilustrar esto, considere una situación en la que las tasas cero del Tesoro, medidas con una composición continua, son iguales a las que se presentan en la tabla 4.2. (Explicaremos posteriormente cómo se calculan estas tasas). Suponga que un bono del Tesoro a dos años, con un principal de $100, proporciona semestralmente cupones a una tasa de 6% anual. Para calcular el valor presente del primer cupón de $3, lo descontamos a 5.0% para seis meses; para calcular el valor

Tabla 4.2 Tasas cero del Tesoro

Vencimiento (*años*)	*Tasa cero* (%) (*comp. cont.*)
0.5	5.0
1.0	5.8
1.5	6.4
2.0	6.8

presente del segundo cupón de \$3, lo descontamos a 5.8% para un año, y así sucesivamente. Por lo tanto, el precio teórico del bono es

$$3e^{-0.05\times 0.5} + 3e^{-0.058\times 1.0} + 3e^{-0.064\times 1.5} + 103e^{-0.068\times 2.0} = 98.39$$

o \$98.39.

Rendimiento de bonos

El rendimiento de un bono es la tasa de descuento que, cuando se aplica a todos los flujos de efectivo, hace que el valor del bono sea igual a su precio de mercado. Suponga que el precio teórico del bono que hemos estado considerando, de \$98.39, es también su valor de mercado (es decir, el precio de mercado del bono concuerda exactamente con los datos presentados en la tabla 4.2). Si y es el rendimiento sobre el bono, expresado con una composición continua, debemos tener

$$3e^{-y\times 0.5} + 3e^{-y\times 1.0} + 3e^{-y\times 1.5} + 103e^{-y\times 2.0} = 98.39$$

Esta ecuación se resuelve usando un procedimiento repetitivo (de “ensayo y error”) para obtener $y = 6.76\%$.

Rendimiento a la par

El *rendimiento a la par* para determinado vencimiento de un bono es la tasa cupón que hace que el precio del bono sea igual a su valor a la par. (El valor a la par es igual que el valor del principal). Por lo general, se asume que el bono proporciona cupones semestrales. Suponga que el cupón de un bono a dos años, en nuestro ejemplo, es c por año (o $c/2$ por seis meses). Si usamos las tasas cero de la tabla 4.2, el valor del bono es igual a su valor a la par de 100 cuando

$$\frac{c}{2}e^{-0.05\times 0.5} + \frac{c}{2}e^{-0.058\times 1.0} + \frac{c}{2}e^{-0.064\times 1.5} + \left(100 + \frac{c}{2}\right)e^{-0.068\times 2.0} = 100$$

Esta ecuación puede resolverse de manera directa para obtener $c = 6.87$. Por lo tanto, el rendimiento a la par para dos años es de 6.87% anual con una composición semestral (o 6.75% con una composición continua).

En un sentido más amplio, si d es el valor presente de \$1 recibido al vencimiento del bono, A es el valor de una anualidad que paga \$1 en cada fecha de pago de cupón y m es el número de pagos de cupón al año, entonces, el rendimiento a la par c debe ser

$$100 = A\frac{c}{m} + 100d$$

de manera que

$$c = \frac{(100 - 100d)m}{A}$$

En nuestro ejemplo, $m = 2$, $d = e^{-0.068 \times 2} = 0.87284$ y

$$A = e^{-0.05\times0.5} + e^{-0.058\times1.0} + e^{-0.064\times1.5} + e^{-0.068\times2.0} = 3.70027$$

La fórmula confirma que el rendimiento a la par es de 6.87% anual. Observe que ésta es una tasa expresada con una composición semestral. (Con una composición continua sería de 6.75%).

4.5 DETERMINACIÓN DE TASAS CERO DEL TESORO

A continuación analizaremos cómo se calculan las tasas cero del Tesoro a partir de los precios de bonos del Tesoro. El método más popular se conoce como *método bootstrap* (de remuestreo). Para ilustrar la naturaleza del método, considere los datos de la tabla 4.3 sobre los precios de cinco bonos. Como los tres primeros bonos no pagan cupones, las tasas cero correspondientes a los vencimientos de estos bonos son fáciles de calcular. El bono a tres meses proporciona un rendimiento de 2.5 en tres meses sobre una inversión inicial de 97.5. Con una composición trimestral, la tasa cero a tres meses es de $(4 \times 2.5)/97.5 = 10.256\%$ anual. La ecuación (4.3) muestra que, cuando la tasa se expresa con una composición continua, se convierte en

$$4 \ln\left(1 + \frac{0.10256}{4}\right) = 0.10127$$

o 10.127% anual. El bono a seis meses proporciona un rendimiento de 5.1 en seis meses sobre una inversión inicial de 94.9. Con una composición semestral, la tasa a seis meses es de $(2 \times 5.1)/94.9 = 10.748\%$ anual. La ecuación (4.3) muestra que, cuando la tasa se expresa con una composición continua, se convierte en

$$2 \ln\left(1 + \frac{0.10748}{2}\right) = 0.10469$$

Tabla 4.3 Datos para el método bootstrap

Principal bono $	*Tiempo al del vencimiento (años)*	*Cupón anual* $*	*Precio del bono $*
100	0.25	0	97.5
100	0.50	0	94.9
100	1.00	0	90.0
100	1.50	8	96.0
100	2.00	12	101.6

* Se asume que la mitad del cupón establecido se paga cada seis meses.

Tabla 4.4 Tasas cero continuamente compuestas determinadas con los datos de la tabla 4.3

Vencimiento (*años*)	*Tasa cero* (%) (*comp. cont.*)
0.25	10.127
0.50	10.469
1.00	10.536
1.50	10.681
2.00	10.808

o 10.469% anual. Del mismo modo, la tasa a un año con una composición continua es

$$\ln\left(1+\frac{10}{90}\right)=0.10536$$

o 10.536% anual.

El cuarto bono dura 1.5 años. Los pagos son los siguientes:

6 meses: $4

1 año: $4

1.5 años: $104

A partir de nuestros cálculos anteriores, sabemos que la tasa de descuento para el pago al término de seis meses es de 10.469% y que la tasa de descuento para el pago al término de un año es de 10.536%. Además, sabemos que el precio del bono, $96, debe ser igual al valor presente de todos los pagos recibidos por el tenedor del bono. Suponga que la tasa cero a 1.5 años se representa como *R*. Se deduce que

$$4e^{-0.10469\times0.5}+4e^{-0.10536\times1.0}+104e^{-R\times1.5}=96$$

Esto se reduce a

$$e^{-1.5R}=0.85196$$

o

$$R=-\frac{\ln(0.85196)}{1.5}=0.10681$$

Por lo tanto, la tasa cero a 1.5 años es de 10.681%. Ésta es la única tasa cero consistente con la tasa a seis meses, la tasa a un año y los datos presentados en la tabla 4.3.

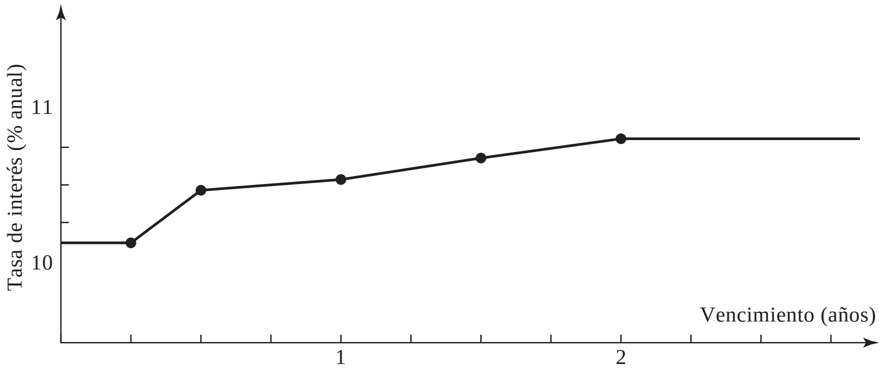
La tasa cero a dos años se calcula de manera similar a las tasas cero a seis meses, un año y 1.5 años, junto con la información sobre el último bono presentada en la tabla 4.3. Si *R* es la tasa cero a dos años, entonces

$$6e^{-0.10469\times0.5}+6e^{-0.10536\times1.0}+6e^{-0.10681\times1.5}+106e^{-R\times2.0}=101.6$$

Esto nos da $R=0.10808$ o 10.808%.

Las tasas que hemos calculado se resumen en la tabla 4.4. Una gráfica que muestra la tasa cero como una función del vencimiento se conoce como *curva cero*. Un supuesto común es que la curva cero es lineal entre los puntos determinados con el método bootstrap (esto significa que la tasa cero

Figura 4.1 Tasas cero con el método bootstrap



a 1.25 años es de $0.5 \times 10.536 + 0.5 \times 10.681 = 10.6085\%$, en nuestro ejemplo). Por lo general, también se asume que la curva cero es horizontal antes del primer punto y después del último punto. La figura 4.1 muestra la curva cero de nuestros datos usando estos supuestos. Al utilizar bonos de vencimiento más largo la curva cero se determinaría más exactamente después de dos años.

En la práctica, generalmente no tenemos bonos con vencimientos iguales a 1.5 años, 2 años, 2.5 años, etc. El planteamiento de los analistas suele consistir en interpolar los datos de precios del bono antes de usarlos para calcular la curva cero. Por ejemplo, si saben que un bono a 2.3 años con un cupón de 6% se vende a 98 y que un bono a 2.7 años con un cupón de 6.5% se vende a 99, podrían asumir que un bono a 2.5 años con un cupón de 6.25% se vendería a 98.5.

4.6 TASAS A PLAZO

Las tasas de interés a plazo son las tasas de interés sugeridas por las tasas cero actuales para periodos futuros. Con el propósito de ilustrar cómo se calculan, supongamos que una serie específica de tasas cero es como la que muestra la segunda columna de la tabla 4.5. Se asume que las tasas se componen continuamente. Así, la tasa anual de 3% para un año significa que, a cambio de una inversión de \$100 hoy, un inversionista recibe $100e^{0.03 \times 1} = 103.05$ dólares en un año; la tasa anual

Tabla 4.5 Cálculo de tasas a plazo

Año (n)	*Tasa cero para una inversión de n años (% anual)*	*Tasa a plazo para el n^0 año (% anual)*
1	3.0	
2	4.0	5.0
3	4.6	5.8
4	5.0	6.2
5	5.3	6.5

de 4% para dos años significa que, a cambio de una inversión de $100 hoy, el inversionista recibe $100e^{0.04 \times 2} = \$108.33$ dólares en dos años, etcétera.

La tasa de interés a plazo de la tabla 4.5 para el año 2 es de 5% anual. Ésta es la tasa de interés implícita por las tasas cero para el periodo entre el término del primer año y el del segundo año. Se calcula a partir de la tasa de interés cero a un año de 3% anual y la tasa de interés cero a dos años de 4% anual. La tasa de interés para el año 2 es la que, cuando se combina con la tasa de interés de 3% anual para el año 1, nos da una tasa de interés general de 4% para ambos años. Para mostrar que la respuesta correcta es 5% anual, suponga que se invierten $100. Una tasa de 3% para el primer año y de 5% para el segundo nos da

$$100e^{0.03\times1}e^{0.05\times1} = \$108.33$$

al término del segundo año. Una tasa de 4% anual para dos años nos da

$$100e^{0.04\times2}$$

que es también de $108.33. Este ejemplo ilustra el resultado general de que, cuando las tasas de interés se componen continuamente y se combinan las tasas en periodos sucesivos, la tasa equivalente general es simplemente la tasa promedio de todo el periodo. (Esto se explica en el Apéndice de este capítulo). En nuestro ejemplo, 3% para el primer año y 5% para el segundo nos da un promedio de 4% para los dos años. Cuando las tasas no se componen continuamente, el resultado es sólo aproximadamente cierto.

La tasa a plazo para el año 3 es la tasa de interés implícita por una tasa cero a dos años de 4% anual y una tasa cero a tres años de 4.6% anual. La tasa a plazo es de 5.8% anual. La razón es que una inversión a dos años a 4% anual, junto con una inversión a un año a 5.8% anual nos da un rendimiento promedio general para los tres años de 4.6% anual. Las otras tasas a plazo se calculan del mismo modo y se muestran en la tercera columna de la tabla. En general, si R_1 y R_2 son las tasas cero para los vencimientos T_1 y T_2, respectivamente, y R_F es la tasa de interés a plazo para el periodo entre T_1 y T_2:

$$R_F = \frac{R_2T_2 - R_1T_1}{T_2 - T_1} \tag{4.5}$$

Para ilustrar esta fórmula, considere el cálculo de la tasa a plazo del año 4 obtenida de los datos de la tabla 4.5: $T_1 = 3$, $T_2 = 4$, $R_1 = 0.046$ y $R_2 = 0.05$ y la fórmula nos da $R_F = 0.062$.

La ecuación (4.5) se puede plantear así

$$R_F = R_2 + (R_2 - R_1)\frac{T_1}{T_2 - T_1} \tag{4.6}$$

Esto muestra que si la curva cero tiene pendiente ascendente entre T_1 y T_2, de tal manera que $R_2 > R_1$, entonces $R_F > R_2$ (es decir, la tasa a plazo para un periodo que finaliza en T_2 es mayor que la tasa cero T_2). Del mismo modo, si la curva cero tiene pendiente descendente, de tal manera que $R_2 < R_1$, entonces $R_F < R_2$ (es decir, la tasa a plazo para un periodo que finaliza en T_2 es menor que la tasa cero T_2).

Si asumimos que las tasas cero de endeudamiento e inversión son iguales (lo que es casi cierto en el caso de una importante institución financiera), un inversionista puede asegurar la tasa a plazo para un periodo futuro. Por ejemplo, suponga que las tasas cero son iguales a las que se presentan en la tabla 4.5. Si un inversionista adquiere en préstamo $100 a 3% durante un año y después

Panorámica de negocios 4.2 Estrategias de curvas de rendimiento del Condado de Orange

Un inversionista cree que puede adquirir un préstamo o prestar a las tasas presentadas en la tabla 4.5 y que las tasas de interés a un año no cambiarán mucho durante los próximos cinco años. El inversionista puede adquirir en préstamo fondos a un año e invertirlos durante cinco años. La adquisición del préstamo a un año se renueva en periodos de un año al término del primero, segundo, tercero y cuarto años. Si las tasas de interés se mantienen más o menos constantes, esta estrategia le generará una utilidad aproximada de 2.3% anual porque se obtendrá un interés de 5.3% y se pagará a 3%. Este tipo de estrategia de negociación se conoce como *estrategia de curva de rendimiento*. El inversionista especula que, en el futuro, las tasas serán muy diferentes a las tasas a plazo que se observan en el mercado actual. (En nuestro ejemplo, las tasas a plazo que se observan en el mercado actual para periodos futuros de un año son 5, 5.8, 6.2 y 6.5%).

Robert Citron, tesorero del Condado de Orange, usó con mucho éxito estrategias de curvas de rendimiento, similares a la que acabamos de describir, en 1992 y 1993. Las utilidades obtenidas de las transacciones del señor Citron se convirtieron en una parte importante del presupuesto del Condado de Orange, por lo que fue reelecto. (Nadie escuchó a su oponente en las elecciones, quien dijo que su estrategia de negociación era demasiado riesgosa).

En 1994, el señor Citron expandió sus estrategias de curvas de rendimiento e invirtió fuertemente en *flotantes inversos*. Estos instrumentos pagan una tasa de interés igual a una tasa fija menos una tasa flotante. Además, apalancó su posición endeudándose en el mercado repo. Si las tasas de interés a corto plazo hubieran permanecido constantes o disminuido, habría seguido teniendo buenos resultados. Casualmente, las tasas de interés aumentaron con rapidez durante 1994. El 1 de diciembre de 1994, el Condado de Orange anunció que su cartera de inversión había perdido $1,500 millones y varios días después solicitó la suspensión de pagos por quiebra.

invierte el dinero a 4% durante dos años, el resultado es una salida de efectivo de $100e^{0.03 \times 1} =$ $103.05 al término del año 1 y una entrada de efectivo de $100e^{0.04 \times 2} =$ $108.33 al término del año 2. Como $108.33 = 103.05e^{0.05}$, se obtiene un rendimiento igual a la tasa a plazo (5%) sobre $103.05 durante el segundo año. Ahora suponga que el inversionista adquiere un préstamo de $100 durante cuatro años a 5% y lo invierte durante tres años a 4.6%. El resultado es una entrada de efectivo de $100e^{0.046 \times 3} =$ $114.80 al término del tercer año y una salida de efectivo de $100e^{0.05 \times 4} =$ $122.14 al término del cuarto año. Como $122.14 = 114.80e^{0.062}$, se adquiere dinero en préstamo durante el cuarto año a la tasa a plazo de 6.2%.

Si un inversionista cree que las tasas futuras serán diferentes a las tasas a plazo actuales hay muchas estrategias de negociación que puede considerar atractivas (vea la Panorámica de negocios 4.2). Una de estas estrategias implica participar en un contrato que se conoce como *acuerdo de interés futuro*. A continuación analizaremos cómo funciona este contrato y cómo se valúa.

4.7 ACUERDOS DE INTERÉS FUTURO

Un acuerdo de interés futuro (FRA, por sus siglas en inglés, *forward rate agreement*) es un acuerdo OTC (*over-the-counter*) que establece que se aplicará cierta tasa de interés al adquirir en préstamo o prestar determinado principal durante un periodo futuro específico. El supuesto subyacente al contrato es que adquirir un préstamo o prestar se realiza normalmente a la tasa LIBOR.

Considere un acuerdo de interés futuro en el que la empresa X acuerda prestar dinero a la empresa Y durante el periodo entre T_1 y T_2. Defina:

R_K: la tasa de interés acordada en el FRA
R_F: la tasa de interés LIBOR a plazo para el periodo entre T_1 y T_2, calculada hoy[3]
R_M: la tasa de interés LIBOR real que se observa en el mercado en la fecha T_1 para el periodo entre T_1 y T_2
L: el principal subyacente al contrato

Nos desviaremos de nuestro supuesto usual de composición continua y asumiremos que las tasas R_K, R_F y R_M se miden con una frecuencia de composición que refleja la duración del periodo al que se aplican. Esto significa que si $T_2 - T_1 = 0.5$, se expresan con una composición semestral; si $T_2 - T_1 = 0.25$, se expresan con una composición trimestral, etc. (Este supuesto concuerda con las prácticas de mercado usuales para los FRAs).

Normalmente, la empresa X ganaría R_M con el préstamo LIBOR. El FRA significa que ganará R_K. La tasa de interés adicional (que puede ser negativa) que gana debido a su participación en el FRA es $R_K - R_M$. La tasa de interés establece en la fecha T_1 y se paga en la fecha T_2. Por lo tanto, la tasa de interés adicional genera un flujo de efectivo para la empresa X en la fecha T_2 de

$$L(R_K - R_M)(T_2 - T_1) \tag{4.7}$$

Del mismo modo, hay un flujo de ese tipo para la empresa Y en la fecha T_2 de

$$L(R_M - R_K)(T_2 - T_1) \tag{4.8}$$

Con base en las ecuaciones (4.7) y (4.8), vemos que hay otra interpretación del FRA, que es un acuerdo en el que la empresa X recibirá intereses sobre el principal entre T_1 y T_2 a la tasa fija de R_K y pagará intereses a la tasa de mercado real de R_M. La empresa Y pagará intereses sobre el principal entre T_1 y T_2 a la tasa fija de R_K y recibirá intereses a la tasa R_M.

Generalmente, los FRAs se liquidan en la fecha T_1 en vez de en la fecha T_2. Entonces, el pago debe descontarse de la fecha T_2 a la T_1. Para la empresa X, el pago en la fecha T_1 es

$$\frac{L(R_K - R_M)(T_2 - T_1)}{1 + R_M(T_2 - T_1)}$$

y, para la empresa Y, el pago en la fecha T_1 es

$$\frac{L(R_M - R_K)(T_2 - T_1)}{1 + R_M(T_2 - T_1)}$$

El ejemplo 4.2 ilustra el cálculo de los flujos de efectivo de un FRA.

[3] Las tasas a plazo LIBOR se calculan como se describe en la sección 4.6 a partir de la curva cero LIBOR/swap, la cual se determina como se describe en la sección 7.6.

Ejemplo 4.2 Flujos de efectivo de un FRA

Suponga que una empresa participa en un FRA que especifica que recibirá una tasa fija de 4% sobre un principal de $100 millones durante un periodo de tres meses que inicia dentro de tres años. Si la tasa LIBOR a tres meses resulta ser de 4.5% para el periodo de tres meses, el flujo de efectivo para el prestamista será

$$100{,}000{,}000 \times (0.040 - 0.045) \times 0.25 = -\$125{,}000$$

a los 3.25 años. Esto equivale a un flujo de efectivo de

$$-\frac{125{,}000}{1 + 0.045 \times 0.25} = -\$123{,}609$$

a los tres años. El flujo de efectivo para la otra parte de la transacción será de +$125,000 a los 3.25 años o de +$123,609 a los tres años. (En este ejemplo, todas las tasas de interés se expresan con una composición trimestral).

Valuación

Para valuar un FRA, primero observamos que su valor siempre es igual a cero cuando $R_K = R_F$.[4] Esto se debe a que, como se señaló en la sección anterior, una importante institución financiera puede, sin ningún costo, asegurar la tasa a plazo para un periodo futuro. Por ejemplo, puede asegurar la tasa a plazo para el periodo entre los años 2 y 3, pidiendo prestada cierta cantidad por 2 años e invirtiéndola por 3. De igual manera, puede asegurar que pague la tasa a plazo para el periodo del segundo y tercer año, adquiriendo en préstamo determinada cantidad de dinero durante tres años e invirtiéndola durante dos años.

Compare dos FRAs. El primero promete que se ganará la tasa a plazo LIBOR R_F sobre un principal de L entre las fechas T_1 y T_2; el segundo promete que se ganará R_K sobre el mismo principal entre las dos mismas fechas. Ambos contratos son iguales, excepto por los pagos de intereses que se recibirán en la fecha T_2. Por lo tanto, el valor adicional del segundo contrato sobre el primero es el valor presente de la diferencia entre estos pagos de intereses, o

$$L(R_K - R_F)(T_2 - T_1)e^{-R_2T_2}$$

donde R_2 es la tasa cero libre de riesgo continuamente compuesta para un vencimiento en T_2.[5] Como el valor del FRA en el que se recibe R_F es de cero, el valor del FRA en el que se recibe R_K es

$$V_{\text{FRA}} = L(R_K - R_F)(T_2 - T_1)e^{-R_2T_2} \tag{4.9}$$

Del mismo modo, el valor de un FRA en el que se paga R_K es

$$V_{\text{FRA}} = L(R_F - R_K)(T_2 - T_1)e^{-R_2T_2} \tag{4.10}$$

[4] Generalmente, R_K se establece igual a R_F cuando el FRA se inicia por primera vez.

[5] Observe que R_K, R_M y R_F se expresan con una frecuencia de composición correspondiente a $T_2 - T_1$, en tanto que R_2 se expresa con una composición continua.

Ejemplo 4.3 Valuación de un FRA

Suponga que las tasas cero y a plazo LIBOR son iguales a las que se presentan en la tabla 4.5. Considere un FRA en el que una empresa recibirá una tasa de 6%, medida con una composición anual, sobre un principal de \$100 millones entre el término de los años 1 y 2. En este caso, la tasa a plazo es de 5% con una composición continua o de 5.127% con una composición anual. Con base en la ecuación (4.9), deducimos que el valor del FRA es

$$100{,}000{,}000 \times (0.06 - 0.05127)e^{-0.04\times 2} = \$805{,}800$$

Si comparamos las ecuaciones (4.7) y (4.9), vemos que un FRA se puede valuar si:

1. Calculamos el pago en el supuesto de que se obtienen las tasas a plazo (es decir, en el supuesto de que $R_M = R_F$)
2. Descontamos este pago a la tasa libre de riesgo

El ejemplo 4.3 ilustra la valuación de FRAs.

4.8 TEORÍAS DE LA ESTRUCTURA TEMPORAL DE LAS TASAS DE INTERÉS

Es natural preguntar qué es lo que determina la forma de la curva cero. ¿Por qué en ocasiones tiene una pendiente descendente, a veces muestra una pendiente ascendente y en otras tiene una pendiente en parte ascendente y en parte descendente? Se han propuesto diversas teorías. La más sencilla es la *teoría de las expectativas*, que sostiene que las tasas de interés a largo plazo deben reflejar las tasas de interés a corto plazo futuras esperadas. De manera más precisa, argumenta que una tasa de interés a plazo correspondiente a determinado periodo futuro es igual a la tasa de interés cero futura esperada para ese periodo. Otra idea es la *teoría de segmentación del mercado*, según la cual no es necesario que haya una relación entre las tasas de interés a corto, mediano y largo plazos. Bajo esta teoría, un inversionista importante, como un gran fondo de pensiones, invierte en bonos con determinado vencimiento y no cambia rápidamente de uno a otro. La tasa de interés a corto plazo está determinada por la oferta y la demanda en el mercado de bonos a corto plazo; la tasa de interés a mediano plazo está determinada por la oferta y la demanda en el mercado de bonos a mediano plazo, etcétera.

La más atractiva es la *teoría de la preferencia por la liquidez*, que argumenta que las tasas a plazo deben ser siempre mayores que las tasas cero futuras esperadas. El supuesto básico que subyace a la teoría es que los inversionistas prefieren conservar su liquidez e invertir fondos durante periodos cortos. Por otro lado, los prestatarios prefieren generalmente adquirir préstamos a tasas fijas durante largos periodos. La teoría de la preferencia por la liquidez da lugar a una situación en la que las tasas a plazo son mayores que las tasas cero futuras esperadas. Esta teoría también concuerda con el resultado empírico de que las curvas de rendimiento tienden a ser más ascendentes que descendentes.

Administración del ingreso neto por intereses

Para entender la teoría de la preferencia por la liquidez, es útil considerar el riesgo de tasa de interés al que se enfrentan los bancos cuando reciben depósitos y hacen préstamos. El *ingreso neto por*

Tabla 4.6 Ejemplo de las tasas de interés que ofrece un banco a sus clientes

Vencimiento (años)	*Tasa de depósito*	*Tasa hipotecaria*
1	3%	6%
5	3%	6%

intereses del banco es el interés adicional recibido sobre el interés pagado y requiere una administración cuidadosa.

Considere una situación sencilla en la que un banco ofrece a los consumidores una tasa de depósito a un año y a cinco años, así como una tasa hipotecaria a un año y a cinco años. La tabla 4.6 muestra estas tasas. Hacemos el supuesto simplificado de que los participantes del mercado esperan que la tasa de interés a un año para periodos futuros iguale a las tasas a un año vigentes en el mercado actual. En términos generales, esto significa que el mercado considera que los incrementos de las tasas de interés tienen la misma probabilidad de ocurrir que las disminuciones de las tasas de interés. En consecuencia, las tasas presentadas en la tabla 4.6 son "justas" en el sentido de que reflejan las expectativas del mercado (es decir, concuerdan con la teoría de las expectativas). Invertir dinero durante un año y reinvertirlo durante cuatro periodos adicionales de un año proporciona el mismo rendimiento general esperado que una sola inversión a cinco años. Del mismo modo, adquirir dinero en préstamo durante un año y refinanciarlo cada año durante los siguientes cuatro años genera los mismos costos de financiamiento esperados que un solo préstamo a cinco años.

Suponga que usted tiene dinero para depositar y que está de acuerdo con el punto de vista actual de que los incrementos de las tasas de interés tienen la misma probabilidad de ocurrir que las disminuciones de las tasas de interés. ¿Decidiría depositar su dinero durante un año a 3% anual o durante cinco años a esta misma tasa? Lo más probable es que usted decida depositarlo durante un año porque esto le proporciona mayor flexibilidad financiera, ya que inmoviliza sus fondos durante un periodo más corto.

Ahora suponga que desea una hipoteca. Nuevamente, usted está de acuerdo con el punto de vista actual de que los incrementos de las tasas de interés tienen la misma probabilidad de ocurrir que las disminuciones de las tasas de interés. ¿Elegiría una hipoteca a un año a 6% o una hipoteca a cinco años a esta misma tasa? Lo más probable es que usted elija una hipoteca a cinco años porque fija su tasa de endeudamiento durante los próximos cinco años y lo expone a un menor riesgo de refinanciamiento.

Cuando el banco anuncia las tasas mostradas en la tabla 4.6, es probable que descubra que la mayoría de sus clientes elige los depósitos a un año y las hipotecas a cinco años. Esto genera una diferencia entre activos y pasivos para el banco y lo expone a riesgos. No hay problema si las tasas de interés bajan. El banco financiará los préstamos a 6% durante cinco años con depósitos que costarán menos de 3% en el futuro, por lo que aumentará el ingreso neto por intereses. Sin embargo, si las tasas suben, los depósitos que financian estos préstamos a 6% costarán más de 3% en el futuro, por lo que disminuirá el ingreso neto por intereses. Un aumento de 3% de las tasas de interés reduciría a cero el ingreso neto por intereses.

Tabla 4.7 Las tasas a cinco años se incrementan en un intento de igualar los vencimientos de activos y pasivos

Vencimiento (años)	*Tasa de depósito*	*Tasa hipotecaria*
1	3%	6%
5	4%	7%

Panorámica de negocios 4.3 Costosas quiebras de instituciones financieras en EUA

Durante las décadas de 1960, 1970 y 1980, las Sociedades de Ahorro y Préstamo (S&Ls, del inglés, *Savings and Loans*) de Estados Unidos de América no fueron capaces de administrar bien los riesgos de las tasas de interés, ya que aceptaban depósitos a corto plazo y ofrecían hipotecas a tasa fija a largo plazo. En consecuencia, sufrieron graves daños por los incrementos de las tasas de interés en 1966, de 1969 a 1970, en 1974 y las tasas agresivas de 1979 a 1982. Las Sociedades de Ahorro y Préstamo estaban protegidas por garantías gubernamentales. Alrededor de 1,700 quebraron en la década de 1980. Una razón principal de las quiebras fue la falta de administración del riesgo de tasa de interés. El costo total de las quiebras para el contribuyente estadounidense se estimó entre $100 mil y $500 mil millones.

La quiebra bancaria más grande de EUA, la de Continental Illinois, también se atribuye a una mala administración de los riesgos de tasa de interés. Durante el periodo de 1980 a 1983, sus activos (es decir, sus préstamos) con vencimientos mayores a un año sumaron en total entre $7 mil y $8 mil millones, en tanto que sus pasivos (es decir, sus depósitos) con vencimientos mayores a un año fueron entre $1.4 y $2.5 millones. Continental quebró en 1984 y fue sometido a una costosa operación de rescate.

La tarea del grupo de administración de activos y pasivos es asegurar que concuerden los vencimientos de los activos sobre los que se ganan intereses y los vencimientos de los pasivos sobre los que se pagan intereses. Una manera de hacer esto es aumentar la tasa a cinco años tanto sobre los depósitos como sobre las hipotecas. Por ejemplo, podrían incrementarse a la situación presentada en la tabla 4.7, en la que las tasas de depósito e hipotecaria a cinco años son de 4 y 7%, respectivamente. Esto haría relativamente más atractivos los depósitos a cinco años y las hipotecas a un año. Algunos clientes que eligieron depósitos a un año cuando las tasas eran iguales a las presentadas en la tabla 4.6 cambiarían a depósitos a cinco años como los de la situación presentada en la tabla 4.7. Algunos clientes que eligieron hipotecas a cinco años cuando las tasas eran iguales a las presentadas en la tabla 4.6 cambiarían a hipotecas a un año. Esto haría que concordaran los vencimientos de activos y pasivos. Si aún hubiera un desequilibrio en el que los depositantes tendieran a elegir vencimientos a un año y los prestatarios vencimientos a cinco años, las tasas de depósito e hipotecarias a cinco años podrían incrementarse aún más. A la larga, el desequilibrio desaparecería.

El resultado neto del comportamiento de todos los bancos en la forma que acabamos de describir es la teoría de la preferencia por la liquidez. Las tasas a largo plazo tienden a ser más altas que las que pronosticarían las tasas a corto plazo futuras esperadas. La curva de rendimiento es ascendente la mayor parte del tiempo y sólo es descendente cuando el mercado espera una disminución realmente pronunciada de las tasas a corto plazo.

En la actualidad, muchos bancos tienen sistemas complejos para vigilar las decisiones que toman sus clientes de tal manera que, cuando detecten pequeñas diferencias entre los vencimientos de los activos y pasivos elegidos, puedan ajustar las tasas que ofrecen. En ocasiones, también usan derivados, como los swaps de tasas de interés que analizaremos en el capítulo 7, e incluso los usan para manejar su exposición. El resultado de todo esto es que el ingreso neto por intereses es muy estable. Como se indica en la Panorámica de negocios 4.3, esto no siempre ha sido así.

RESUMEN

Dos tasas de interés importantes para los negociantes de derivados son las tasas del Tesoro y las tasas LIBOR. Las tasas del Tesoro son las tasas que paga un gobierno sobre préstamos adquiridos en su propia moneda. Las tasas LIBOR son las tasas de préstamos a corto plazo que ofrecen los bancos en el mercado interbancario.

La frecuencia de composición que se usa para una tasa de interés define las unidades en las que ésta se mide. La diferencia entre una tasa compuesta anualmente y una tasa compuesta trimestralmente es semejante a la diferencia entre una distancia medida en millas y una medida en kilómetros. Con frecuencia, los negociantes usan una composición continua cuando analizan el valor de derivados.

Los analistas calculan los diversos tipos de tasas de interés que se cotizan en los mercados financieros. La tasa cero a *n* años o la tasa spot a *n* años es la tasa aplicable a una inversión que dura *n* años cuando todo el rendimiento se obtiene al final. El rendimiento a la par sobre un bono con determinado vencimiento es la tasa cupón que hace que el bono se venda a su valor a la par. Las tasas a plazo son las tasas aplicables a periodos futuros implícitos por las tasas cero actuales.

El método que se usa con mayor frecuencia para calcular las tasas cero se conoce como método bootstrap. Consiste en comenzar con instrumentos a corto plazo y cambiar progresivamente a instrumentos de mayor plazo, asegurándose de que las tasas cero calculadas en cada etapa sean congruentes con los precios de los instrumentos. Las mesas de negociación lo usan diariamente para calcular una curva de tasa cero del Tesoro.

Un acuerdo de interés futuro (FRA) es un acuerdo OTC (*over-the-counter*) que establece que se aplicará cierta tasa de interés al adquirir en préstamo o prestar determinado principal a la tasa LIBOR durante un periodo futuro específico. Un FRA se valúa asumiendo que se obtienen las tasas a plazo y descontando el pago resultante.

La teoría de la preferencia por la liquidez se usa para explicar las estructuras temporales de las tasas de interés que se observan en la práctica. La teoría argumenta que casi todos los individuos y las empresas prefieren adquirir préstamos a largo plazo y prestar a corto plazo. Para que los vencimientos de prestatarios y prestamistas concuerden es necesario que los intermediarios financieros aumenten las tasas a largo plazo de modo que las tasas de interés a plazo sean mayores que las tasas de interés spot futuras esperadas.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Allen, S.L. y A.D. Kleinstein. *Valuing Fixed-Income Investments and Derivative Securities*. Nueva York: New York Institute of Finance, 1991.

Fabozzi, F.J. *Fixed-Income Mathematics: Analytical and Statistical Techniques*. Nueva York: McGraw-Hill, 1996.

Grinblatt, M. y F.A. Longstaff. "Financial Innovation and the Role of Derivatives Securities: An Empirical Analysis of the Treasury Strips Program", *Journal of Finance*, 55, 3 (2000), pp. 1415-36.

Jorion, P. *Big Bets Gone Bad: Derivatives and Bankruptcy in Orange County.* Nueva York: Academic Press, 1995.

Stigum, M. y F.L. Robinson. *Money Markets and Bond Calculations.* Chicago, Irwin, 1996.

Examen (respuestas al final del libro)

4.1. Un banco le cotiza una tasa de interés de 14% anual con una composición trimestral ¿Cuál es la tasa equivalente con a) una composición continua y b) una composición anual?

4.2. ¿Qué significan LIBOR y LIBID? ¿Cuál es más alta?

4.3. Las tasas cero a seis meses y a un año son de 10% anual. En el caso de un bono con una vida de 18 meses y que paga un cupón de 8% anual semestralmente (que acaba de realizar el pago de un cupón), el rendimiento es de 10.4% anual. ¿Cuál es el precio del bono? ¿Cuál es la tasa cero a 18 meses? Todas las tasas se cotizan con una composición semestral.

4.4. Un inversionista recibe $1,100 en un año por invertir $1,000 ahora. Calcule el rendimiento porcentual anual con una:

a. Composición anual

b. Composición semestral

c. Composición mensual

d. Composición continua

4.5. Suponga que las tasas de interés cero con una composición continua son las siguientes:

Vencimiento (meses)	*Tasa (% anual)*
3	8.0
6	8.2
9	8.4
12	8.5
15	8.6
18	8.7

Calcule las tasas de interés a plazo del segundo, tercero, cuarto, quinto y sexto trimestres.

4.6. Si asumimos que las tasas cero son iguales a las que se presentan en el problema 4.5, ¿cuál es el valor de un FRA que permite al tenedor ganar 9.5% durante un periodo de tres meses, el cual comienza dentro de un año, sobre un principal de $1,000,000? La tasa de interés se expresa con una composición trimestral.

4.7. La estructura temporal de las tasas de interés muestra una pendiente ascendente. Ordene lo siguiente de acuerdo con su magnitud:

a. La tasa cero a cinco años

b. El rendimiento sobre un bono con cupón a cinco años

c. La tasa a plazo correspondiente al periodo futuro entre 4.75 y 5 años

¿Cuál es la respuesta a esta pregunta cuando la estructura temporal de las tasas de interés muestra una pendiente descendente?

Preguntas y problemas

4.8. Los precios en efectivo de las letras del Tesoro a seis meses y a un año son 94.0 y 89.0. Un bono a 1.5 años que pagará cupones de $4 cada seis meses se vende actualmente en $94.84. Un bono a dos años que pagará cupones de $5 cada seis meses se vende actualmente en $97.12. Calcule las tasas cero a seis meses, un año, 1.5 años y dos años.

4.9. ¿Qué tasa de interés con una composición continua es equivalente a 15% anual con una composición mensual?

4.10. Una cuenta de depósito paga 12% anual con una composición continua, pero en realidad el interés se paga trimestralmente. ¿Cuánto interés se pagará cada trimestre sobre un depósito de $10 mil?

4.11. Suponga que las tasas cero continuamente compuestas a 6, 12, 18, 24 y 30 meses son de 4%, 4.2%, 4.4%, 4.6% y 4.8% anual, respectivamente. Calcule el precio en efectivo de un bono con un valor nominal de 100, que vencerá en 30 meses y que paga un cupón de 4% anual semestralmente.

4.12. Un bono a tres años proporciona un cupón de 8% semestral y tiene un precio en efectivo de 104. ¿Cuál es el rendimiento del bono?

4.13. Suponga que las tasas cero a 6, 12, 18 y 24 meses son de 5, 6, 6.5 y 7%, respectivamente. ¿Cuál es el rendimiento a la par para dos años?

4.14. Suponga que las tasas de interés cero con una composición continua son las siguientes:

Vencimiento (años)	*Tasa (% anual)*
1	2.0
2	3.0
3	3.7
4	4.2
5	4.5

Calcule las tasas de interés a plazo para el segundo, tercero, cuarto y quinto años.

4.15. Use las tasas del problema 4.14 para valuar un FRA en el que pagará 5% (compuesto anualmente) sobre $1 millón durante el tercer año.

4.16. Un bono a 10 años con un cupón de 8% se vende actualmente en $90. Un bono a 10 años con un cupón de 4% se vende actualmente en $80. ¿Cuál es la tasa cero a 10 años? (Sugerencia: considere tomar una posición larga en dos bonos con un cupón de 4% y una posición corta en un bono con un cupón de 8%).

4.17. Explique detalladamente por qué la teoría de la preferencia por la liquidez es congruente con la observación de que la estructura temporal de las tasas de interés tiende a ser más ascendente que descendente.

4.18. "Cuando la curva cero tiene pendiente ascendente, la tasa cero para un vencimiento específico es mayor que el rendimiento a la par para ese vencimiento. Cuando la curva cero tiene pendiente descendente, ocurre lo contrario". Explique la razón de esto.

4.19. ¿Por qué las tasas del Tesoro de Estados Unidos de América son significativamente más bajas que otras tasas casi libres de riesgo?

4.20. ¿Por qué un préstamo en el mercado repo implica muy poco riesgo de crédito?

4.21. Explique por qué un FRA es equivalente al intercambio de una tasa de interés flotante por una tasa de interés fija.

Preguntas de tarea

4.22. Una tasa de interés se cotiza a 5% anual con una composición semestral. ¿Cuál es la tasa equivalente con a) una composición anual, b) una composición mensual y c) una composición continua?

4.23. Las tasas cero a 6, 12, 18 y 24 meses son de 4%, 4.5%, 4.75% y 5% con una composición semestral.

a. ¿Cuáles son las tasas con una composición continua?

b. ¿Cuál es la tasa a plazo para el periodo de seis meses que comienza dentro de 18 meses?

c. ¿Cuál es el valor de un FRA que promete pagarle 6% (compuesto semestralmente) sobre un principal de $1 millón para el periodo de seis meses que comienza dentro de 18 meses?

4.24. ¿Cuál es el rendimiento a la par para dos años cuando las tasas cero son iguales a las del problema 4.23? ¿Cuál es el rendimiento sobre un bono a dos años que paga un cupón igual al rendimiento a la par?

4.25. La tabla siguiente proporciona los precios de bonos:

Principal del bono ($)	*Tiempo al vencimiento (años)*	*Cupón anual* ($)*	*Precio del bono ($)*
100	0.50	0.0	98
100	1.00	0.0	95
100	1.50	6.2	101
100	2.00	8.0	104

* Se asume que la mitad del cupón establecido se paga cada seis meses.

a. Calcule las tasas cero para vencimientos de 6, 12, 18 y 24 meses.

b. ¿Cuáles son las tasas a plazo para los periodos de 6 a 12 meses, de 12 a 18 meses y de 18 a 24 meses?

c. ¿Cuáles son los rendimientos a la par para 6, 12, 18 y 24 meses de bonos que proporcionan pagos de cupón semestrales?

d. Calcule el precio y el rendimiento de un bono a dos años que proporciona un cupón semestral de 7% anual.

APÉNDICE

Funciones exponencial y logarítmica

La función exponencial y la función logarítmica natural tienen un gran uso en matemáticas y en las fórmulas que se encuentran en el negocio de derivados. Aquí damos un breve repaso de sus propiedades. La función exponencial se relaciona estrechamente con la constante matemática e. Esta constante se define como una serie infinita:

$$e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \frac{1}{4!} + \cdots$$

donde $n! = n \times (n-1) \times (n-2) \times ... \times 3 \times 2 \times 1$. Se calcula a cualquier exactitud deseada mediante la evaluación de suficientes términos de la serie. Si usamos los primeros cuatro términos, obtenemos

$$e = 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{6} = 2.66667$$

Si usamos los primeros seis términos, obtenemos

$$e = 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{6} + \frac{1}{24} + \frac{1}{120} = 2.71667$$

Si usamos los primeros diez términos, obtenemos $e = 2.71828$, lo cual es exacto hasta cinco decimales.

La función exponencial es e^x. A veces también se representa como $\exp(x)$. Se calcula como 2.71828^x. Por ejemplo, $e^3 = 2.71828^3 = 20.0855$. La función exponencial tiene muchas propiedades interesantes. Una de éstas es que

$$e^R = \lim_{m \longrightarrow \infty} \left(1 + \frac{R}{m}\right)^m$$

En otras palabras, a medida que el valor de m aumenta en la expresión del lado derecho, nos aproximamos cada vez más a e^R. Esta propiedad de e da lugar directamente a

$$Ae^{Rn} = \lim_{m \longrightarrow \infty} A\left(1 + \frac{R}{m}\right)^{mn}$$

y muestra por qué la ecuación (4.1) se convierte en la ecuación (4.2) a medida que m se vuelve muy grande.

Una propiedad importante de la función exponencial es

$$e^x e^y = e^{x+y}$$

(Esta propiedad surge porque los exponentes se suman cuando las expresiones se multiplican). Suponga que un inversionista invierte \$100 durante cinco años. La tasa de interés es de 5% para los dos primeros años y de 7% para los dos últimos años, expresando estas tasas con una composición continua. Con base en la ecuación (4.2), al término de dos años los \$100 aumentaron a $100e^{0.05 \times 2}$ = \$110.52. Durante los dos años siguientes, estos \$110.52 aumentan a $110.52e^{0.07 \times 2}$ = \$127.13. El valor al término de cuatro años se puede representar como

$$100e^{0.05\times 2}e^{0.07\times 2} = 100e^{(0.05\times 2)+(0.07\times 2)} = 100e^{0.06\times 4}$$

Esto muestra que las tasas continuamente compuestas de 5% para dos años y de 7% para dos años dan como promedio 6% para cuatro años. Las tasas que se miden con alguna otra frecuencia de composición no tienen esta propiedad de simplificación.

La función logarítmica natural, $\ln(x)$, es el inverso de la función exponencial. Si $y = e^x$, entonces $x = \ln(y)$. En nuestro ejemplo anterior encontramos que $e^3 = 20.0855$. Deducimos que $\ln 20.0855 = 3$. Las propiedades importantes de esta función son:

$$\ln(XY) = \ln(X) + \ln(Y) \quad \text{y} \quad \ln(X/Y) = \ln(X) - \ln(Y).$$

Por ejemplo, $\ln(2) = 0.69$, $\ln(3) = 1.10$ y $\ln(6) = 0.69 + 1.10 = 1.79$.

CAPÍTULO 5

Determinación de precios a plazo y de futuros

En este capítulo examinamos la forma como los precios a plazo y de futuros se relacionan con el precio spot del activo subyacente. Los contratos a plazo son más fáciles de analizar que los contratos de futuros porque no se liquidan diariamente, sino que sólo tienen un pago único al vencimiento. Es conveniente poder demostrar que el precio a plazo y el precio de futuros de un activo se suelen aproximar mucho cuando los vencimientos de ambos contratos son iguales.

En la primera parte del capítulo deducimos algunos resultados generales importantes sobre la relación entre los precios a plazo y los precios spot. Después usamos los resultados para examinar la relación entre los precios a plazo o los precios de futuros y los precios spot de contratos sobre índices bursátiles, divisas y commodities. En el siguiente capítulo abordaremos los contratos de futuros sobre tasas de interés.

5.1 ACTIVOS DE INVERSIÓN FRENTE A ACTIVOS DE CONSUMO

Al considerar los contratos a plazo y de futuros, es importante distinguir entre los activos de inversión y los activos de consumo. Un *activo de inversión* es un activo que una buena cantidad de inversionistas mantiene con propósitos de inversión. Las acciones y los bonos son excelentes activos de inversión. El oro y la plata también son ejemplos de activos de inversión. Observe que los activos de inversión no se mantienen exclusivamente con fines de inversión. (Por ejemplo, la plata tiene varios usos industriales). Sin embargo, sí deben cumplir el requisito de que una cantidad significativa de inversionistas los mantenga únicamente con propósitos de inversión. Un *activo de consumo* es aquel que se mantiene sobre todo para el consumo y no generalmente con propósitos de inversión. Como ejemplos de activos de consumo están los commodities como el cobre, el petróleo y los derivados porcinos.

Como veremos más adelante en este capítulo, podemos usar argumentos de arbitraje para determinar los precios a plazo y de futuros de un activo de inversión a partir de su precio spot y de otras variables de mercado observables. Pero esto no lo podemos hacer para los activos de consumo.

5.2 VENTA EN CORTO

Algunas de las estrategias de arbitraje presentadas en este capítulo incluyen la *venta en corto*. Esta transacción, conocida usualmente como "shorting", consiste en la venta de un activo que no se posee. Esto es algo que se puede hacer con algunos activos de inversión, aunque no con todos. Ilustraremos cómo funciona considerando la venta en corto de algunas acciones.

Suponga que un inversionista da instrucciones a un intermediario de que venda en corto 500 acciones de IBM. El intermediario llevará a cabo las instrucciones tomando en préstamo las acciones de otro cliente y vendiéndolas en el mercado de la manera usual. El inversionista puede mantener la posición corta tanto como lo desee, siempre y cuando haya acciones que el intermediario pueda tomar en préstamo. No obstante, en algún momento el inversionista cerrará la posición al comprar 500 acciones de IBM. Entonces, estas acciones reemplazan a las que se tomaron en préstamo de la cuenta del cliente. El inversionista obtiene una utilidad si el precio de la acción disminuyó o una pérdida si aumentó.

Un inversionista con una posición corta debe pagar al intermediario cualquier ingreso, como dividendos o intereses, que normalmente se recibiría sobre los títulos vendidos en corto. El intermediario transferirá este ingreso a la cuenta del cliente de quien se adquirieron los títulos en préstamo. Considere la posición de un inversionista que vende en corto 500 acciones en abril cuando el precio por acción es de \$120 y cierra la posición readquiriéndolas en julio cuando el precio por acción es de \$100. Suponga que se paga un dividendo de \$1 por acción en mayo. El inversionista recibe $500 \times \$120 = \$60{,}000$ en abril cuando se inicia la posición corta. El dividendo origina un pago de parte del inversionista de $500 \times \$1 = \$500$ en mayo. El inversionista también paga $500 \times \$100 = \$500{,}000$ por las acciones cuando la posición se cierra en julio. Por lo tanto, la ganancia neta es,

$$\$60{,}000 - \$500 - \$50{,}000 = \$9{,}500$$

La tabla 5.1 ilustra este ejemplo y muestra que los flujos de efectivo de la venta en corto son el reflejo de los flujos de efectivo de la compra de las acciones en abril y de su venta en julio.

El inversionista debe mantener una *cuenta de margen* con el intermediario. La cuenta de margen consiste en efectivo o títulos negociables que el inversionista depositó con el intermediario para garantizar que no abandonará la posición corta si el precio de las acciones aumenta. Es similar a la cuenta de margen analizada en el capítulo 2 para los contratos de futuros. Se requiere un margen inicial y, si hay cambios adversos (es decir, incrementos) en el precio del activo que se vende en corto, es posible que se requiera un margen adicional. Si no se proporciona el margen adicional, la

Tabla 5.1 Flujos de efectivo de la venta en corto y la compra de acciones

Compra de acciones	
Abril: compra de 500 acciones en \$120	−\$60,000
Mayo: dividendos recibidos	+\$500
Julio: venta de 500 acciones a \$100 por acción	+\$50,000
	Utilidad neta = −\$9,500
Venta en corto de acciones	
Abril: tomar en préstamo 500 acciones y venderlas en \$120	+\$60,000
Mayo: pagar dividendos	−\$500
Julio: compra 500 acciones a \$100 por acción	−\$50,000
Reemplazar las acciones tomadas en préstamo para cerrar la posición corta	
	Utilidad neta = +\$9,500

posición corta se cierra. La cuenta de margen no representa un costo para el inversionista. Esto se debe a que generalmente se pagan intereses sobre el saldo de las cuentas de margen y, si la tasa de interés ofrecida es inaceptable, pueden usarse títulos negociables, como letras del Tesoro, para cumplir los requisitos de margen. El producto de la venta del activo pertenece al inversionista y normalmente forma parte del margen inicial.

Algunas bolsas, como NYSE, permiten que una acción se venda en corto sólo a una *cotización mayor*, es decir, cuando el cambio de precio más reciente de la acción fue un incremento. Se hace una excepción cuando los negociantes venden en corto una canasta de acciones que replica un índice bursátil.

5.3 SUPUESTOS Y NOTACIÓN

En este capítulo asumiremos que lo siguiente es cierto para algunos participantes del mercado:

1. No están sujetos a costos de transacción cuando negocian.
2. Están sujetos a la misma tasa impositiva sobre todas las utilidades netas obtenidas de sus negociaciones.
3. Pueden adquirir dinero en préstamo a la misma tasa de interés libre de riesgo a la que prestan dinero.
4. Aprovechan las oportunidades de arbitraje conforme se presentan.

Observe que no necesitamos que estos supuestos sean ciertos para todos los participantes del mercado. Todo lo que requerimos es que sean ciertos (o por lo menos aproximadamente ciertos) para algunos de los principales participantes del mercado, como los grandes negociantes de derivados. Las actividades de negociación de estos importantes participantes del mercado y su avidez por aprovechar las oportunidades de arbitraje conforme se presentan, son las que determinan la relación entre los precios a plazo y spot.

A lo largo de este capítulo se utilizará la siguiente notación:

T: tiempo hasta la fecha de entrega en un contrato a plazo o de futuros (en años)
S_0: precio del activo subyacente al contrato a plazo o de futuros hoy
F_0: precio a plazo o de futuros hoy
r: tasa de interés cupón cero libre de riesgo anual, expresada con una composición continua, para una inversión que vence en la fecha de entrega (es decir, en T años)

La tasa libre de riesgo, r, es en teoría la tasa a la que se adquiere en préstamo o se presta dinero cuando no hay riesgo de crédito, de tal manera que existe la seguridad de que el dinero se reembolsará. Como se analizó en el capítulo 4, las instituciones financieras y otros participantes de los mercados de derivados por lo común asumen que las tasas LIBOR, en vez de las tasas del Tesoro, son las tasas libres de riesgo relevantes.

5.4 PRECIO A PLAZO DE UN ACTIVO DE INVERSIÓN

El contrato a plazo más fácil de valuar es el que se expide sobre un activo de inversión que no proporciona ingresos al tenedor. Las acciones que no pagan dividendos y los bonos cupón cero son ejemplos de estos activos de inversión.

Considere una posición larga en un contrato a plazo para comprar dentro de tres meses una acción que no paga dividendos.[1] Asuma que el precio actual de la acción es de $40 y que la tasa de interés libre de riesgo dentro de tres meses es de 5% anual.

Primero, suponga que el precio a plazo es relativamente alto, de $43. Un arbitrajista puede adquirir en préstamo $40 a la tasa de interés libre de riesgo de 5% anual, comprar una acción y vender en corto un contrato a plazo para vender una acción dentro de tres meses. Al término de los tres meses, el arbitrajista entrega la acción y recibe $43. El monto de dinero requerido para pagar el préstamo es

$$40e^{0.05\times 3/12} = \$40.50$$

Al seguir esta estrategia, el arbitrajista asegura una utilidad de $43.00 − $40.50 = $2.50 al término del periodo de tres meses.

A continuación, suponga que el precio a plazo es relativamente bajo, de $39. Un arbitrajista puede vender en corto una acción, invertir el producto de la venta en corto a 5% anual durante tres meses y tomar una posición larga en un contrato a plazo a tres meses. El producto de la venta en corto aumenta a $40e^{0.05\times 3/12}$, o $40.50, en tres meses. Al término de los tres meses, el arbitrajista paga $39, recibe la entrega de la acción bajo los términos del contrato a plazo y la usa para cerrar la posición corta. Por lo tanto, se obtiene una ganancia neta de

$$\$40.50 - \$39.00 = \$1.50$$

al término de los tres meses. La tabla 5.2 resume las dos estrategias de negociación que hemos considerado.

¿En qué circunstancias no existen oportunidades de arbitraje como las que se presentan en la tabla 5.2? El primer arbitraje opera cuando el precio a plazo es mayor de $40.50. El segundo arbi-

Tabla 5.2 Oportunidades de arbitraje cuando el precio a plazo no concuerda con el precio spot de un activo que no proporciona ingresos (precio del activo = $40; tasa de interés = 5%; vencimiento del contrato a plazo = 3 meses)

Precio a plazo = $43	***Precio a plazo = $39***
Acción ahora: Pedir $40 en préstamo a 5% por 3 meses Comprar una unidad del activo Participar en un contrato a plazo para vender el activo en 3 meses por $43 *Acción dentro de 3 meses:* Vender el activo en $43 Usar $40.50 para reembolsar el préstamo con intereses	*Acción ahora:* Vender en corto una unidad del activo para obtener $40 Invertir $40 a 5% por 3 meses Participar en un contrato a plazo para comprar el activo en 3 meses por $39 *Acción dentro de 3 meses:* Comprar el activo en $39 Cerrar la posición corta Recibir $40.50 de la inversión
Utilidad obtenida = $2.50	Utilidad obtenida = $1.50

[1] Los contratos a plazo sobre acciones individuales no surgen frecuentemente en la práctica. Sin embargo, son ejemplos útiles para desarrollar nuestras ideas. Los futuros sobre acciones individuales comenzaron a negociarse en Estados Unidos de América en noviembre de 2002.

Ejemplo 5.1 Precio a plazo de un activo que no proporciona ingresos

Considere un contrato a plazo a cuatro meses para comprar un bono cupón cero que vencerá en un año a partir de hoy. (Esto significa que al bono le restarán ocho meses cuando venza el contrato a plazo). El precio actual del bono es de $930. Asumimos que la tasa de interés libre de riesgo a cuatro meses (compuesta continuamente) es de 6% anual. Como los bonos cupón cero no proporcionan ingresos, podemos usar la ecuación (5.1), siendo $T = 4/12$, $r = 0.06$ y $S_0 = 930$. El precio a plazo, F_0, está dado por

$$F_0 = 930e^{0.06\times 4/12} = \$948.79$$

Éste sería el precio de entrega en un contrato negociado el día de hoy.

traje opera cuando el precio a plazo es menor de $40.50. Deducimos que, para que no haya arbitraje, el precio a plazo debe ser exactamente de $40.50.

Una generalización

Para generalizar este ejemplo, consideremos un contrato a plazo sobre un activo de inversión, con un precio S_0, que no proporciona ingresos. Usando nuestra notación, T es el tiempo al vencimiento, r es la tasa libre de riesgo y F_0 es el precio a plazo. La relación entre F_0 y S_0 es

$$F_0 = S_0e^{rT} \qquad \textbf{(5.1)}$$

Si $F_0 > S_0e^{rT}$, los arbitrajistas pueden comprar el activo y vender en corto contratos a plazo sobre dicho activo. Si $F_0 < S_0e^{rT}$, pueden vender en corto el activo y tomar una posición larga en contratos a plazo sobre dicho activo.[2] En nuestro ejemplo, $S_0 = 40$, $r = 0.05$ y $T = 0.25$, de tal manera que la ecuación (5.1) nos da

$$F_0 = 40e^{0.05\times 0.25} = \$40.50$$

que concuerda con nuestros cálculos anteriores. El ejemplo 5.1 ofrece otra aplicación de la ecuación (5.1).

Una posición larga en un contrato a plazo y una compra spot dan lugar a la adquisición del activo en el momento T. El precio a plazo es mayor que el precio spot debido al costo del financiamiento de la compra spot del activo durante la vida del contrato a plazo. Kidder Peabody ignoró este costo en 1994 (vea Panorámica de negocios 5.1).

¿Qué ocurre si las ventas en corto no son posibles?

No es posible vender en corto todos los activos de inversión; de hecho, esto no importa. Para obtener la ecuación (5.1) no necesitamos poder vender en corto el activo. Todo lo que requerimos es que haya un número significativo de personas que mantenga el activo únicamente con fines de inversión (y, por definición, esto siempre es cierto en el caso de un activo de inversión). Si el precio a plazo es demasiado bajo, encontrarán conveniente vender el activo y tomar una posición larga en un contrato a plazo.

[2] Para otra manera de comprobar que la ecuación (5.1) es correcta, considere la estrategia siguiente: compre una unidad del activo y tome una posición corta en un contrato a plazo para venderlo en F_0 en el tiempo T. Esto cuesta S_0 y ciertamente generará una entrada de efectivo de F_0 en el tiempo T. Por lo tanto, S_0 debe ser igual al valor presente de F_0; es decir, $S_0 = F_0e^{-rT}$, o igualmente $F_0 = S_0e^{rT}$.

Panorámica de negocios 5.1 Error lamentable de Kidder Peabody

Los bancos de inversión han desarrollado una forma de crear un bono cupón cero, denominado *strip*, a partir de un bono del Tesoro con cupón por medio de la venta de cada uno de los flujos de efectivo subyacentes a dicho bono, como un título aparte. Joseph Jett, un negociante que trabajaba para Kidder Peabody, tenía una estrategia de negociación relativamente sencilla. Compraría strips y los vendería en el mercado a plazo. Como muestra la ecuación (5.1), el precio a plazo de un título que no proporciona ingresos es siempre mayor que el precio spot. Por ejemplo, suponga que la tasa de interés a tres meses es de 4% anual y que el precio spot de un strip es de \$70. El precio a plazo a tres meses del strip es de $70e^{0.04 \times 3/12} = \$70.70$.

El sistema de cómputo de Kidder Peabody reportó una utilidad sobre cada negociación de Jett igual al excedente del precio a plazo sobre el precio spot (\$0.70 en nuestro ejemplo). De hecho, esta utilidad no era más que el costo del financiamiento de la compra del strip. Sin embargo, al renovar continuamente sus contratos de futuros, Jett podía evitar que este costo se le acumulara.

El resultado fue que el sistema reportó una utilidad de \$100 millones sobre las negociaciones de Jett (quien recibió un gran bono) cuando, de hecho, hubo una pérdida de aproximadamente \$350 millones. ¡Esto muestra que incluso las grandes instituciones financieras pueden equivocarse con cosas relativamente sencillas!

Suponga que el activo subyacente es oro y asuma que no hay costos de almacenamiento ni ingresos. Si $F_0 > S_0e^{rT}$, un inversionista puede adoptar la siguiente estrategia:

1. Adquirir en préstamo S_0 dólares a una tasa de interés r durante T años.
2. Comprar una onza de oro.
3. Vender en corto un contrato a plazo sobre una onza de oro.

En el tiempo T, una onza de oro se vende en F_0. Se requiere un monto S_0e^{rT} para reembolsar el préstamo en este tiempo y que el inversionista obtenga una utilidad de $F_0 - S_0e^{rT}$.

A continuación, suponga que $F_0 < S_0e^{rT}$. Entonces, un inversionista que posee una onza de oro puede:

1. Vender el oro en S_0.
2. Invertir el producto a la tasa de interés r durante el tiempo T.
3. Tomar una posición larga en un contrato a plazo sobre una onza de oro.

En el tiempo T, el efectivo invertido aumentó a S_0e^{rT}. El oro se readquiere en F_0, por lo que el inversionista obtiene una utilidad de $S_0e^{rT} - F_0$ con relación a la posición que habría tenido si hubiera conservado el oro.

Al igual que en el ejemplo de la acción que no paga dividendos, considerado anteriormente, podemos esperar que el precio a plazo se ajuste de tal manera que no exista ninguna de las dos oportunidades de arbitraje que hemos considerado. Esto significa que debe mantenerse la relación en la ecuación (5.1).

5.5 INGRESOS CONOCIDOS

En esta sección consideramos un contrato a plazo sobre un activo de inversión que proporcionará al tenedor ingresos en efectivo perfectamente previsibles. Como ejemplos están las acciones que pagan dividendos conocidos y los bonos con cupón. Adoptamos el mismo método que en la sección anterior, es decir, primero examinamos un ejemplo numérico y después revisamos los argumentos formales.

Considere una posición larga en un contrato a plazo para comprar un bono con cupón cuyo precio actual es de $900. Supondremos que el contrato a plazo vence dentro de nueve meses y que se espera el pago de un cupón de $40 después de cuatro meses. Asumimos que las tasas de interés libres de riesgo a cuatro y nueve meses, con una composición continua, son de 3% y 4% anual, respectivamente.

Primero, imagine que el precio a plazo es relativamente alto, de $910. Un arbitrajista puede adquirir $900 en préstamo para comprar el bono, y vender en corto un contrato a plazo. El pago del cupón tiene un valor presente de $40e^{-0.03 \times 4/12} = \$39.60$. Por lo tanto, de los $900, $39.60 dólares se adquieren en préstamo a 3% anual durante cuatro meses, de modo que pueda reembolsarse con el pago del cupón. Los $860.40 restantes se adquieren en préstamo a 4% anual durante nueve meses. El monto que se debe al término de los nueve meses es de $860.40e^{0.04 \times 0.75} = \$886.60$ dólares. Se reciben $910 por el bono bajo los términos del contrato a plazo. Por lo tanto, el arbitrajista obtiene una utilidad neta de

$$910.00 - 886.60 = \$23.40$$

A continuación, suponga que el precio a plazo es relativamente bajo, de $870. Un inversionista puede vender en corto el bono y tomar una posición larga en un contrato a plazo. De los $900 recibidos de la venta en corto del bono, se invierten $39.60 a 3% anual durante cuatro meses, de tal manera que se incrementa en un monto suficiente para pagar el cupón del bono. Los $860.40 restantes se invierten a 4% anual durante nueve meses y aumentan a $886.60. Se paga un monto de $870 bajo los términos del contrato a plazo para comprar el bono y se cierra la posición corta. Por lo tanto, el inversionista gana

$$886.60 - 870 = \$23.40$$

La tabla 5.3 presenta las dos estrategias que hemos considerado.[3]

Tabla 5.3 Oportunidades de arbitraje cuando el precio a plazo a 9 meses no concuerda con el precio spot de un activo que proporciona ingresos en efectivo conocidos (precio del activo = $900; se obtiene un ingreso de $40 a los 4 meses; las tasas a 4 y 9 meses son de 3% y 4% anual)

Precio a plazo = $910	***Precio a plazo = $870***
Acción ahora:	*Acción ahora:*
Pedir $900 en préstamo: $39.60 por 4 meses y $860.40 por 9 meses	Vender en corto una unidad del activo para obtener $900
Comprar una unidad del activo	Invertir $39.60 por 4 meses y $860.40 por 9 meses
Participar en un contrato a plazo para vender el activo en 9 meses por $910	Participar en un contrato a plazo para comprar el activo en 9 por $870
Acción dentro de 4 meses:	*Acción dentro de 4 meses:*
Recibir $40 de ingresos sobre el activo	Recibir $40 de la inversión a 4 meses
Usar $40 dólares para reembolsar el primer préstamo con intereses	Pagar el ingreso de $40 sobre el activo
Acción dentro de 9 meses:	*Acción dentro de 9 meses:*
Vender el activo en $910	Recibir $886.60 de inversión a 9 meses
Usar $886.60 para reembolsar el segundo préstamo con intereses	Comprar el activo en $870
	Cerrar la posición corta
Utilidad obtenida = $23.40	Utilidad obtenida = $16.60

[3] Si no es posible vender en corto el bono, los inversionistas que ya poseen el bono lo venderán y comprarán un contrato a plazo sobre el bono, aumentando así el valor de su posición en $16.60. Esto es similar a la estrategia que describimos para el oro en la sección 5.4.

Ejemplo 5.2 Precio a plazo de un activo que proporciona ingresos conocidos

Considere un contrato a plazo a 10 meses sobre una acción cuyo precio es de \$50. Asumimos que la tasa de interés libre de riesgo compuesta continuamente es de 8% anual para todos los vencimientos. Además, asumimos que se esperan dividendos de 0.75 dólares por acción después de tres, seis y nueve meses. El valor presente de los dividendos, I, se obtiene por medio de

$$I = 0.75e^{-0.08\times 3/12} + 0.75e^{-0.08\times 6/12} + 0.75e^{-0.08\times 9/12} = 2.162$$

La variable T es de 10 meses, de manera que el precio a plazo, F_0, calculado con la ecuación (5.2), se obtiene por medio de

$$F_0 = (50 - 2.162)e^{0.08\times 10/12} = \$51.14$$

Si el precio a plazo fuera menor que éste, un arbitrajista vendería en corto la acción al precio spot y compraría contratos a plazo. Si el precio a plazo fuera mayor que éste, un arbitrajista vendería en corto contratos a plazo y compraría la acción al precio spot.

La primera estrategia de la tabla 5.3 genera una utilidad cuando el precio a plazo es mayor a \$886.60, en tanto que la segunda estrategia genera una utilidad cuando el precio a plazo es menor a este monto. Deducimos que, si no hay oportunidades de arbitraje, el precio a plazo debe ser \$886.60.

Una generalización

Con base en este ejemplo, podemos generalizar argumentando que, cuando un activo de inversión proporciona ingresos con un valor presente de I durante la vida de un contrato a plazo, tenemos

$$F_0 = (S_0 - I)e^{rT} \tag{5.2}$$

En nuestro ejemplo, $S_0 = 900.00$, $I = 40e^{-0.03\times 4/12} = 39.60$, $r = 0.04$ y $T = 0.75$, de tal manera que

$$F_0 = (900.00 - 39.60)e^{0.04\times 0.75} = \$886.60$$

Esto concuerda con nuestro cálculo anterior. La ecuación (5.2) se aplica a cualquier activo de inversión que proporcione ingresos en efectivo conocidos. El ejemplo 5.2 proporciona otra aplicación de la ecuación (5.2).

Si $F_0 > (S_0 - I)e^{rT}$, un arbitrajista puede asegurar una utilidad comprando el activo y vendiendo en corto un contrato a plazo sobre el activo. Si $F_0 < (S_0 - I)e^{rT}$, un arbitrajista puede asegurar una utilidad vendiendo en corto el activo y tomando una posición larga en un contrato a plazo. Si no es posible realizar ventas en corto, los inversionistas que poseen el activo considerarán rentable venderlo y tomar una posición larga en contratos a plazo.[4]

[4] Para conocer otra manera de comprobar que la ecuación (5.1) es correcta, considere la siguiente estrategia: compre una unidad del activo y tome una posición corta en un contrato a plazo para venderlo en F_0 en el tiempo T. Esto cuesta S_0 y ciertamente generará una entrada de efectivo de F_0 en el tiempo T, e ingresos con un valor presente de I. La salida inicial es S_0. El valor presente de las entradas es $I + F_0e^{-rT}$. Por lo tanto, $S_0 = I + F_0e^{-rT}$, o igualmente, $F_0 = (S_0 - I)e^{rT}$.

5.6 RENDIMIENTO CONOCIDO

Ahora, consideraremos la situación en la que el activo subyacente a un contrato a plazo proporciona un rendimiento conocido en vez de ingresos en efectivo conocidos. Esto significa que los ingresos se conocen cuando se expresan como un porcentaje del precio del activo al momento de pagarlos. Suponga que se espera que un activo proporcione un rendimiento de 5% anual. Esto podría significar que los ingresos se pagan una vez al año y que equivalen a 5% del precio del activo al momento de pagarlos. (Entonces, el rendimiento sería de 5% con una composición anual). Esto podría significar que los ingresos se pagan dos veces al año y equivalen a 2.5% del precio del activo al momento de pagarlos. (Entonces, el rendimiento sería de 5% anual con una composición semestral). En la sección 4.2 explicamos que por lo común mediremos las tasas de interés con una composición continua. Del mismo modo, mediremos los rendimientos con una composición continua. Las fórmulas para traducir un rendimiento medido con una frecuencia de composición a uno medido con otra frecuencia de composición, son las mismas que las que se proporcionaron para las tasas de interés en la sección 4.2.

Defina q como el rendimiento promedio anual sobre un activo durante la vida de un contrato a plazo con una composición continua. Se puede mostrar que (vea el problema 5.20)

$$F_0 = S_0 e^{(r-q)T} \tag{5.3}$$

El ejemplo 5.3 proporciona una aplicación de esta fórmula.

5.7 VALUACIÓN DE LOS CONTRATOS A PLAZO

El valor de un contrato a plazo al momento de iniciarlo es de cero. En una etapa posterior puede tener un valor positivo o negativo. Si usamos la notación presentada anteriormente, suponemos que F_0 es el precio a plazo actual de un contrato que se negoció hace algún tiempo, la fecha de entrega es T años a partir de hoy y r es la tasa de interés libre de riesgo a T años.

También definimos:

K: precio de entrega en el contrato
f: valor del contrato a plazo hoy

Un resultado general, aplicable a todas las posiciones largas en contratos a plazo (tanto sobre activos de inversión como de consumo), es

$$f = (F_0 - K)e^{-rT} \tag{5.4}$$

Ejemplo 5.3 Precio a plazo de un activo que proporciona un rendimiento conocido

Considere un contrato a plazo sobre un activo que puede proporcionar ingresos equivalentes a 2% del precio del activo, una vez durante un periodo de seis meses. La tasa de interés libre de riesgo con una composición continua es de 10% anual. El precio del activo es de \$25. En este caso, $S_0 = 25$, $r = 0.10$ y $T = 0.5$. El rendimiento es de 4% anual con una composición semestral. Con base en la ecuación (4.3), esto equivale a 3.96% anual con una composición continua. Deducimos que $q = 0.0396$, por lo que, con base en la ecuación (5.3), el precio a plazo F_0 se obtiene por medio de

$$F_0 = 25e^{(0.10-0.0396)\times 0.5} = \$25.77$$

Es importante entender la diferencia entre F_0, el precio a plazo hoy, y f, el valor del contrato a plazo hoy. Al inicio de la vida del contrato a plazo, el precio de entrega se establece igual al precio a plazo, por lo que $f = 0$. A medida que pasa el tiempo, tanto el precio a plazo como el valor del contrato a plazo, f, cambian.

Para ver por qué la ecuación (5.4) es correcta, usamos un argumento semejante al que utilizamos para los acuerdos de interés futuro en la sección 4.7. Comparamos una posición larga en un contrato a plazo que tiene un precio de entrega de F_0 con una posición larga en un contrato a plazo idéntico que tiene un precio de entrega de K. La diferencia entre ambos es únicamente el monto que se pagará por el activo subyacente en el tiempo T. Bajo el primer contrato, este monto es F_0; bajo el segundo contrato es K. Una diferencia de salida de efectivo de $F_0 - K$ en el tiempo T se traduce a una diferencia de $(F_0 - K)e^{-rT}$ hoy. Por lo tanto, el contrato con un precio de entrega de F_0 es menos valioso que el contrato con un precio de entrega de K en un monto $(F_0 - K)e^{-rT}$. El valor del contrato que tiene un precio de entrega de F_0 es, por definición, de cero. Deducimos que el valor del contrato con un precio de entrega de K es $(F_0 - K)e^{-rT}$. Esto comprueba la ecuación (5.4). Del mismo modo, el valor de una posición corta de un contrato a plazo con un precio de entrega de K es

$$(K - F_0)e^{-rT}$$

El ejemplo 5.4 proporciona una aplicación de la ecuación (5.4).

La ecuación (5.4) muestra que podemos valuar una posición larga en un contrato a plazo sobre un activo, asumiendo que el precio del activo al vencimiento del contrato a plazo es igual al precio a plazo F_0. Para demostrar esto, observe que cuando hacemos el supuesto, una posición larga en un contrato a plazo proporciona un pago de $F_0 - K$ en el tiempo T. Esto tiene un valor presente de $(F_0 - K)e^{-rT}$, el cual es el valor de f en la ecuación (5.4). Del mismo modo, podemos valuar una posición corta en un contrato a plazo sobre el activo, asumiendo que se obtiene el precio a plazo actual del activo. Éstos resultados son semejantes al resultado de la sección 4.7, de que podemos valuar un acuerdo de interés futuro con el supuesto de que se obtienen las tasas a plazo.

Si usamos la ecuación (5.4) junto con la ecuación (5.1), obtenemos la siguiente expresión para conocer el valor de un contrato a plazo sobre un activo de inversión que no proporciona ingresos:

$$f = S_0 - Ke^{-rT} \tag{5.5}$$

Ejemplo 5.4 Valuación de un contrato a plazo

Hace algún tiempo se tomó una posición larga en un contrato a plazo sobre una acción que no paga dividendos. Actualmente, el contrato tiene seis meses para su vencimiento. La tasa de interés libre de riesgo (con una composición continua) es de 10% anual, el precio de la acción es de \$25 y el precio de entrega es de \$24. En este caso, $S_0 = 25$, $r = 0.10$, $T = 0.5$ y $K = 24$. Con base en la ecuación (5.1), el precio a plazo a seis meses, F_0, se obtiene por medio de

$$F_0 = 25e^{0.1\times 0.5} = \$26.28$$

Con base en la ecuación (5.4), el valor del contrato a plazo es

$$f = (26.28 - 24)e^{-0.1\times 0.5} = \$2.17$$

Panorámica de negocios 5.2 ¿Un error de sistemas?

Un negociante de divisas que trabajaba para un banco toma una posición larga en un contrato a plazo para comprar £1 millón a un tipo de cambio de 1.9000 dentro de tres meses. Al mismo tiempo, otro negociante, de la mesa siguiente, toma una posición larga en 16 contratos de futuros a tres meses sobre libras esterlinas. El precio de futuros es de 1.9000 y cada contrato se establece sobre £62,500. Por lo tanto, las posiciones que tomaron los negociantes a plazo y de futuros son iguales. Algunos minutos después de haber tomado las posiciones, los precios a plazo y de futuros aumentaron a 1.9040. El departamento de sistemas del banco muestra que el negociante de futuros obtuvo una utilidad de $4,000, en tanto que el negociante a plazo obtuvo una utilidad de sólo $3,900. El negociante a plazo llama inmediatamente al departamento de sistemas del banco para presentar una queja. ¿Es válida la queja del negociante a plazo?

¡La respuesta es no! La liquidación diaria de los contratos de futuros asegura que el negociante de futuros obtenga una utilidad casi inmediata correspondiente al incremento del precio de futuros. Si el negociante a plazo hubiera cerrado la posición tomando una posición corta en un contrato a 1.9040, habría convenido en comprar £1 millón a 1.9000 en tres meses y venderlas a 1.9040 en tres meses. Esto generaría una utilidad de $4,000, pero en un periodo de tres meses. La utilidad del negociante a plazo es el valor presente de $4,000. Esto es congruente con la ecuación (5.4).

El negociante a plazo puede consolarse con el hecho de que las ganancias y las pérdidas reciben un trato simétrico. Si los precios a plazo y de futuros hubieran bajado a 1.8960 en vez de subir a 1.9040, el negociante de futuros habría experimentado una pérdida de $4,000, en tanto que la pérdida del negociante a plazo habría sido sólo de $3,900.

Del mismo modo, utilizando la ecuación (5.4) junto con la ecuación (5.2), obtenemos la siguiente expresión para conocer el valor de una posición larga en un contrato a plazo sobre un activo de inversión que proporciona ingresos conocidos con un valor presente de I:

$$f = S_0 - I - Ke^{-rT} \tag{5.6}$$

Finalmente, si usamos la ecuación (5.4) junto con la (5.3) obtenemos la siguiente expresión para conocer el valor de una posición larga en un contrato a plazo sobre un activo de inversión que proporciona un rendimiento conocido a la tasa q:

$$f = S_0e^{-qT} - Ke^{-rT} \tag{5.7}$$

Cuando cambia un precio de futuros, la ganancia o la pérdida sobre un contrato de futuros se calcula como el cambio del precio de futuros multiplicado por el tamaño de la posición. Esta ganancia se obtiene casi de inmediato por la forma en que los contratos de futuros se liquidan diariamente. La ecuación (5.4) muestra que, cuando cambia un precio a plazo, la ganancia o la pérdida es el valor presente del cambio del precio a plazo multiplicado por el tamaño de la posición. La diferencia entre la ganancia y la pérdida sobre los contratos a plazo y de futuros puede ocasionar confusión en las mesas de negociación de divisas (vea la Panorámica de negocios 5.2).

5.8 ¿SON IGUALES LOS PRECIOS A PLAZO Y LOS PRECIOS DE FUTUROS?

El Apéndice al final de capítulo proporciona un argumento de arbitraje para mostrar que, cuando la tasa de interés libre de riesgo es constante e igual para todos los vencimientos, el precio a plazo de un contrato con determinada fecha de entrega es, en teoría, igual al precio de futuros de un contrato con la misma fecha de entrega. El argumento del Apéndice puede ampliarse para abarcar situaciones en las que la tasa de interés es una función conocida de tiempo.

Cuando las tasas de interés varían de manera imprevisible (como sucede en el mundo real), los precios a plazo y de futuros ya no son, en teoría, iguales. La prueba de la relación entre ambos precios va más allá del alcance de este libro. No obstante, podemos tener una idea de la naturaleza de la relación al considerar la situación en que el precio S del activo subyacente tiene una fuerte correlación positiva con las tasas de interés. Cuando S aumenta, un inversionista que mantiene una posición larga en contratos de futuros obtiene una ganancia inmediata debido a la liquidación diaria del procedimiento. La correlación positiva indica que es probable que las tasas de interés también hayan aumentado. Por lo tanto, la ganancia se invertirá a una tasa de interés mayor que la tasa promedio. Del mismo modo, cuando S disminuye, el inversionista incurrirá en una pérdida inmediata. Esta pérdida tenderá a financiarse a una tasa de interés más baja que la tasa promedio. Los cambios de las tasas de interés no afectan en esta forma a un inversionista que mantiene un contrato a plazo en vez de un contrato de futuros. Se deduce que una posición larga en un contrato de futuros es ligeramente más atractiva que una posición larga en un contrato a plazo similar. Por lo tanto, cuando S tiene una fuerte correlación positiva con las tasas de interés, los precios de futuros serán ligeramente mayores que los precios a plazo. Cuando S tiene una fuerte correlación negativa con las tasas de interés, un argumento similar muestra que los precios a plazo serán ligeramente mayores que los precios de futuros.

Las diferencias teóricas entre los precios a plazo y de futuros de contratos que duran sólo algunos meses son en la mayoría de las circunstancias suficientemente pequeñas para ignorarlas. En la práctica, hay varios factores que no se reflejan en los modelos teóricos y que pueden ocasionar que los precios a plazo y de futuros sean diferentes. Entre estos factores están los impuestos, los costos de transacción y el tratamiento de márgenes. El riesgo de incumplimiento de la contraparte es generalmente menor en un contrato de futuros debido al papel de la cámara de compensación de la bolsa. Además, en algunos casos, los contratos de futuros son más líquidos y más fáciles de negociar que los contratos a plazo. A pesar de todas estas cuestiones, es razonable asumir, para la mayoría de los propósitos, que los precios a plazo y de futuros son iguales. Éste es el supuesto que haremos generalmente en este libro. Utilizaremos el símbolo F_0 para representar tanto el precio de futuros como el precio a plazo de un activo hoy.

Una excepción a la regla de que los contratos de futuros y a plazo pueden asumirse como iguales se relaciona con los futuros sobre eurodólares. Esto se analizará en el capítulo 6.

5.9 PRECIOS DE FUTUROS SOBRE ÍNDICES BURSÁTILES

Presentamos los futuros sobre índices bursátiles en la sección 3.5 y mostramos cómo un contrato de futuros sobre un índice bursátil es una herramienta útil para la administración de carteras de acciones. Ahora consideraremos cómo se determinan los precios de futuros sobre índices.

En general, un índice bursátil se considera como el precio de un activo de inversión que paga dividendos.[5] El activo de inversión es la cartera de acciones subyacente al índice y los dividendos que paga el activo de inversión son los que recibiría el tenedor de esta cartera. Por lo general se asume que los dividendos proporcionan un rendimiento conocido en vez de un ingreso en efectivo conocido. Si q es la tasa de rendimiento de dividendos, la ecuación (5.3) nos da el precio de futuros, F_0, como

$$F_0 = S_0 e^{(r-q)T} \qquad \textbf{(5.8)}$$

El ejemplo 5.5 proporciona una aplicación de esta fórmula.

---

[5] Curiosamente, éste no es el caso: vea la Panorámica de negocios 5.3.

Panorámica de negocios 5.3 Contrato de futuros sobre el índice Nikkei 225 de la CME

Los argumentos en este capítulo sobre cómo se determinan los precios de futuros sobre índices requieren que el índice sea el valor del activo de inversión. Esto significa que debe ser el valor de una cartera de activos que puedan negociarse. El activo subyacente al contrato de futuros sobre el Índice Nikkei 225 de la Bolsa Mercantil de Chicago no califica. La razón es bastante sutil. Suponga que S es el valor del Índice Nikkei 225. Éste es el valor de una cartera de 225 acciones japonesas medido en yenes. La variable subyacente al contrato de futuros de la CME sobre el Índice Nikkei 225 tiene un *valor en dólares* de $5S$. En otras palabras, el contrato de futuros toma una variable que se mide en yenes y la maneja como si se midiera en dólares.

No podemos invertir en una carretera cuyo valor sea siempre de $5S$ dólares. Lo mejor que podemos hacer es invertir en una cartera cuyo valor sea siempre de $5S$ yenes o en una cuyo valor sea siempre de $5QS$ dólares, donde Q es el valor en dólares de un yen. Por lo tanto, la variable $5S$ dólares no es el precio de un activo de inversión, por lo que la ecuación (5.8) no se aplica.

El contrato de futuros sobre el Índice Nikkei 225 de la CME es un ejemplo de un *quanto*. Un quanto es un derivado en el que el activo se mide en una divisa y el pago se realiza en otra.

En la práctica, el rendimiento de dividendos sobre la cartera subyacente a un índice varía cada semana a lo largo del año. Por ejemplo, una gran proporción de los dividendos sobre las acciones de NYSE se pagan en la primera semana de febrero, mayo, agosto y noviembre de cada año. El valor elegido de q debe representar el rendimiento de dividendos anualizado promedio durante la vida del contrato. Los dividendos usados para estimar q deben ser aquéllos para los cuales es la fecha exdividendo durante la vida del contrato de futuros. Si revisamos la tabla 3.3 del capítulo 3, vemos que el precio de liquidación de junio para el S&P 500 está alrededor de 0.9% por arriba del precio de liquidación de marzo. Si usamos la ecuación (5.8), esto sugiere que la tasa libre de riesgo a corto plazo estadounidense excede al rendimiento de dividendos del S&P 500 en aproximadamente 3.6%.

Arbitraje de índices

Si $F_0 > S_0e^{(r-q)T}$, se pueden obtener utilidades comprando las acciones subyacentes al índice al precio spot (es decir, para entrega inmediata) y vendiendo en corto contratos de futuros. Si $F_0 < S_0e^{(r-q)T}$, se obtienen utilidades haciendo lo contrario, es decir, vendiendo en corto las acciones subyacentes al índice y tomando una posición larga en contratos de futuros. Estas estrategias se conocen como *arbitraje de índices*. Cuando $F_0 < S_0e^{(r-q)T}$, el arbitraje de índices puede realizarlo un fondo de pensiones que posea una cartera indexada de acciones. Cuando $F_0 > S_0e^{(r-q)T}$, puede realizarlo una corporación que mantenga inversiones en el mercado de dinero a corto plazo. En el caso de índices que

Ejemplo 5.5 Cálculo del precio de futuros sobre índices

Considere un contrato de futuros a tres meses sobre el Índice S&P 500. Suponga que las acciones subyacentes al índice proporcionan un rendimiento de dividendos de 1% anual, que el valor actual del índice es de 1,300 y que la tasa de interés libre de riesgo compuesta continuamente es de 5% anual. En este caso, $r = 0.05$, $S_0 = 1{,}300$, $T = 0.25$ y $q = 0.01$. Por lo tanto, el precio de futuros, F_0, se obtiene por medio de

$$F_0 = 1{,}300e^{(0.05-0.01)\times 0.25} = \$1{,}313.07$$

Panorámica de negocios 5.4 Arbitraje de índices en octubre de 1987

Para realizar el arbitraje de índices, un negociante debe ser capaz de negociar muy rápidamente el contrato de futuros sobre un índice y la cartera de acciones subyacente al índice a los precios cotizados en el mercado. En condiciones de mercado normales, esto es posible usando la transacción por computadora, y la relación en la ecuación (5.8) se sostiene bien. Como ejemplos de días en los que el mercado era todo, excepto normal, son el 19 y el 20 de octubre de 1987. El 19 de octubre de 1987, denominado "lunes negro", el mercado cayó más de 20% y los 604 millones de acciones negociadas en la Bolsa de Valores de Nueva York superaron con facilidad todos los récords anteriores. Los sistemas de la bolsa estaban sobrecargados y si uno emitía una orden para comprar o vender acciones ese día, se podía dar un retraso hasta de dos horas antes de que la orden se ejecutara.

Durante la mayor parte del 19 de octubre de 1987, los precios de futuros disminuyeron significativamente con relación al índice subyacente. Por ejemplo, al cierre de las operaciones, el Índice S&P 500 era de 225.06 (perdió 57.88 puntos durante el día), en tanto que el precio de futuros para entrega en diciembre sobre el índice S&P 500 era de 201.50 (perdió 80.75 puntos durante el día). Esto se debió sobre todo a que los retrasos en el procesamiento de órdenes hicieron imposible el arbitraje de índices. Al día siguiente, martes 20 de octubre de 1987, la Bolsa de Valores de Nueva York impuso restricciones temporales sobre la manera de realizar la transacción por computadora. Esto también dificultó mucho el arbitraje de índices, por lo que continuó fallando la relación tradicional entre los índices bursátiles y los futuros sobre índices bursátiles. En determinado momento, el precio de futuros del contrato de diciembre era 18% menor que el Índice S&P 500. Sin embargo, el mercado regresó a la normalidad después de unos cuantos días y las actividades de los arbitrajistas aseguraron que la ecuación (5.8) rigiera la relación entre los precios de futuros y spot de índices.

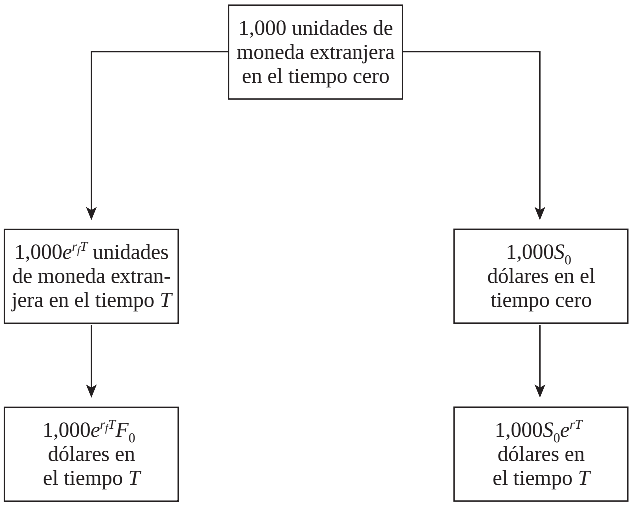
incluyen muchas acciones, el arbitraje de índices se lleva a cabo, en ocasiones, negociando una muestra representativa relativamente pequeña de acciones cuyos movimientos sean muy semejantes a los del índice. Con frecuencia, el arbitraje de índices se implementa por medio de *transacciones por computadora*, en las que se usa un sistema informático para generar las transacciones.

Las más de las veces las actividades de los arbitrajistas se aseguran de que la ecuación (5.8) se sostenga, aunque, ocasionalmente, el arbitraje es imposible y entonces el precio de futuros no concuerda con el precio spot (vea la Panorámica de negocios 5.4).

5.10 CONTRATOS A PLAZO Y DE FUTUROS SOBRE DIVISAS

Ahora analizaremos los contratos a plazo y de futuros sobre divisas. Consideraremos la perspectiva de un inversionista estadounidense. El activo subyacente es una unidad de la divisa. Por lo tanto, definiremos la variable S_0 como el precio spot actual en dólares de una unidad de la divisa y F_0 como el precio a plazo o de futuros en dólares de una unidad de la divisa. Esto es consistente con la manera en que hemos definido S_0 y F_0 para otros activos subyacentes a contratos a plazo y de futuros. (No obstante, como mencionamos en la sección 2.10, esto no concuerda necesariamente con la manera en que se cotizan los tipos de cambio spot y a plazo). En el caso de los principales tipos de cambio distintos a la libra, el euro, el dólar australiano y el dólar neozelandés, se cotiza normalmente un tipo de cambio spot o a plazo en base a "divisa por dólar").

Figura 5.1 Dos maneras de convertir 1,000 unidades de una divisa a dólares en el tiempo T. S_0 es el tipo de cambio spot; F_0 es el tipo de cambio a plazo; r y r_f son las tasas libres de riesgo en dólares y en moneda extranjera



Una divisa tiene la propiedad de que el tenedor de la moneda puede ganar intereses a la tasa de interés libre de riesgo vigente en el país extranjero. Por ejemplo, el tenedor puede invertir la moneda en un bono denominado en moneda extranjera. Definimos r_f como el valor de la tasa libre de riesgo en moneda extranjera cuando el dinero se invierte durante el tiempo T. La variable r es la tasa libre de riesgo en dólares estadounidenses cuando el dinero se invierte durante este periodo.

La relación entre F_0 y S_0 es

$$F_0 = S_0 e^{(r-r_f)T} \tag{5.9}$$

Ésta es la muy conocida relación de la paridad de la tasa de interés de las finanzas internacionales. La figura 5.1 ilustra la razón por la que esta relación es cierta. Suponga que alguien inicia con 1,000 unidades de la moneda extranjera. Hay dos maneras de convertir la moneda extranjera en dólares en el tiempo T. Una es invirtiéndola durante T años a r_f y participando en un contrato a plazo para vender el producto por dólares en el tiempo T. Esto genera $1{,}000e^{r_f T}F_0$ dólares. La otra es cambiando la moneda extranjera por dólares en el mercado spot e invirtiendo el producto durante T años a la tasa r. Esto genera $1{,}000S_0e^{rT}$ dólares. A falta de oportunidades de arbitraje, ambas estrategias deben dar el mismo resultado. Por lo tanto,

$$1{,}000e^{r_f T}F_0 = 1{,}000S_0e^{rT}$$

de tal manera que

$$F_0 = S_0 e^{(r-r_f)T}$$

El ejemplo 5.6 ilustra las oportunidades de arbitraje para el tipo de cambio entre el dólar estadounidense y el dólar australiano.

Ejemplo 5.6 Arbitraje en los mercados de divisas a plazo y spot

Imagine que las tasas de interés a dos años en Australia y Estados Unidos de América son de 5 y 7%, respectivamente, y que el tipo de cambio spot entre el dólar australiano (AUD) y el dólar estadounidense (USD) es de 0.6200 USD por AUD. Con base en la ecuación (5.9), el tipo de cambio a plazo a dos años debe ser

$$0.62e^{(0.07 - 0.05) \times 2} = 0.6453$$

Primero, suponga que el tipo de cambio a plazo a dos años es menor que esta cifra, digamos de 0.6300. Un arbitrajista puede

1. Adquirir en préstamo 1,000 AUD a 5% anual durante dos años, convertirlos a 620 USD e invertir este monto a 7%. (Ambas tasas son compuestas continuamente).
2. Participar en un contrato a plazo para comprar 1,105.17 AUD por $1{,}105.17 \times 0.63 =$ 696.26 USD.

Los 620 USD que se invirtieron a 7% aumentan a $620e^{0.07 \times 2} = 713.17$ USD en dos años. De este monto, 696.26 USD se usan para comprar 1,105.17 AUD bajo los términos del contrato a plazo. Esto es exactamente suficiente para reembolsar el principal y los intereses sobre los 1,000 AUD adquiridos en préstamo ($1{,}000e^{0.05 \times 2} = 1{,}105.17$). Por lo tanto, la estrategia genera una utilidad libre de riesgo de $713.17 - 696.26 = 16.91$ USD. (Si esto no suena muy emocionante, ¡considere seguir una estrategia similar en la que usted adquiera en préstamo 100 millones AUD!)

A continuación, suponga que la tasa a plazo a dos años es de 0.6600 [mayor que el valor de 0.6453 que proporcionó la ecuación (5.9)]. Un arbitrajista puede:

1. Adquirir en préstamo 1,000 USD a 7% anual durante dos años, convertirlos a $1{,}000/0.6200 = 1{,}612.90$ AUD, e invertir este monto a 5%.
2. Participar en un contrato a plazo para vender 1,782.53 AUD por $1{,}782.53 \times 0.66 =$ 1,176.47 USD.

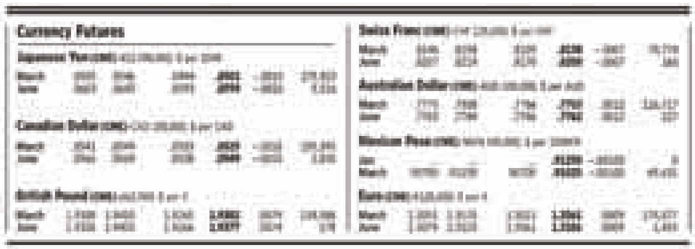
Los 1,612.90 AUD que se invirtieron a 5% aumentan a $1{,}612.90e^{0.05 \times 2} = 1{,}782.53$ AUD en dos años. El contrato a plazo convierte este monto a 1,176.47 USD. El monto necesario para pagar los USD adquiridos en préstamo es $1{,}000e^{0.07 \times 2} = 1{,}150.27$ USD. Por lo tanto, la estrategia genera una utilidad libre de riesgo de $1{,}176.47 - 1{,}150.27 = 26.20$ USD.

La tabla 5.4 muestra las cotizaciones de futuros sobre divisas del 8 de enero de 2007. Las cotizaciones indican el valor de la moneda extranjera en dólares estadounidenses. Ésta es la convención de cotización usual para los contratos de futuros. La ecuación (5.9) es apropiada cuando r es igual a la tasa libre de riesgo en dólares estadounidenses y r_f es igual a la tasa libre de riesgo en moneda extranjera.

El 8 de enero de 2007 las tasas de interés sobre el yen japonés, el dólar canadiense, la libra esterlina, el franco suizo y el euro fueron más bajas que la tasa de interés sobre el dólar estadounidense. Esto corresponde a la situación $r > r_f$ y explica por qué los precios de futuros de estas monedas aumentan con el vencimiento en la tabla 5.4. En el caso del dólar australiano y el peso mexicano, las tasas de interés fueron más altas que en Estados Unidos de América. Esto corresponde a la situación $r_f > r$ y explica por qué los precios de futuros de estas monedas disminuyen con el vencimiento.

El ejemplo 5.7 calcula los diferenciales de tasas de interés entre Canadá y Estados Unidos con base en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Cotizaciones de futuros sobre divisas obtenidas del *Wall Street Journal* del 9 de enero de 2007. (Las columnas muestran el mes, los precios de apertura, máximo, mínimo, de liquidación, el cambio y el interés abierto, respectivamente)



Fuente: reimpreso con permiso de Dow Jones, Inc., a través de Copyright Clearance Center, Inc., © 2007 Dow Jones & Company, Inc. Derechos reservados mundialmente.

Una divisa como un activo que proporciona un rendimiento conocido

Observe que la ecuación (5.9) es idéntica a la ecuación (5.3), reemplazando q por r_f. Esto no es una coincidencia. Una divisa puede considerarse como una inversión que paga un dividendo conocido. El rendimiento es la tasa de interés libre de riesgo en la moneda extranjera.

Para comprender esto, observe que el valor del interés pagado en una moneda extranjera depende del valor de ésta. Suponga que la tasa de interés sobre libras esterlinas es de 5% anual. La libra esterlina proporciona un ingreso equivalente a 5% del valor anual de la libra esterlina a un inversionista estadounidense. En otras palabras, es un activo que proporciona un rendimiento de 5% anual.

5.11 FUTUROS SOBRE COMMODITIES

Ahora consideraremos los contratos de futuros sobre commodities. Primero analizaremos los precios de futuros de commodities que son activos de inversión, como el oro y la plata.[6] Después examinaremos los precios de futuros de activos de consumo.

Ejemplo 5.7 Cálculo de los diferenciales de tasas de interés

En la tabla 5.4, el precio de liquidación de junio del dólar canadiense es 0.28% más alto que el precio de liquidación de marzo. Esto indica que los precios de futuros a corto plazo aumentan aproximadamente a 1.12% anual. Con base en la ecuación (5.9), éste es un cálculo del monto en el que las tasas de interés estadounidenses a corto plazo excedieron a las tasas de interés canadienses a corto plazo el 8 de enero de 2007.

[6] Recuerde que para que un activo sea un activo de inversión, no es necesario mantenerlo únicamente con fines de inversión. Lo que se requiere es que alguien lo mantenga con propósitos de inversión y que esté dispuesto a vender sus tenencias y a tomar una posición larga en contratos a plazo, si esto último le parece más atractivo. Esto explica por qué la plata, aunque tiene importantes usos industriales, es un activo de inversión.

Ingresos y costos de almacenamiento

Como se explicó en la Panorámica de negocios 3.1, las estrategias de cobertura de los productores de oro dan lugar a un requisito de adquirir oro en préstamo que deben cumplir los bancos de inversión. Los propietarios del oro, como los bancos centrales, cobran intereses que se conocen como *tasa de arrendamiento del oro* cuando prestan este activo. Lo mismo ocurre con la plata. Por lo tanto, el oro y la plata proporcionan ingresos al tenedor. Para los propósitos de nuestros ejemplos, ignoraremos este ingreso; no obstante, tomaremos en cuenta los costos de almacenamiento.

La ecuación (5.1) muestra que al no haber costos de almacenamiento e ingresos, el precio a plazo de un commodity que es un activo de inversión se obtiene por medio de

$$F_0 = S_0 e^{rT} \tag{5.10}$$

Ejemplo 5.8 Precio de futuros de oro

Considere un contrato de futuros sobre oro a un año. Asumimos que no hay ingresos y que el almacenamiento del oro cuesta $2 por onza al año, realizando el pago al final del año. El precio spot es de $600 y la tasa libre de riesgo es de 5% anual para todos los vencimientos. Esto corresponde a $r = 0.05$, $S_0 = 600$, $T = 1$, y

$$U = 2e^{-0.05\times 1} = 1.90$$

Con base en la ecuación (5.11), el precio de futuros teórico, F_0, se obtiene por medio de

$$F_0 = (600 + 1.90)e^{0.05\times 1} = \$632.76$$

Precio de futuros demasiado alto
Suponga que el precio real de futuros de oro es mayor a $632.76, digamos de $700. Un arbitrajista puede:

1. Adquirir en préstamo $60,000 a la tasa de interés libre de riesgo de 5% para comprar 100 onzas de oro.
2. Vender en corto un contrato de futuros de oro para entrega en un año.

El contrato de futuros asegura que el oro adquirido pueda venderse en $70,000. Si se usan $63,076 para pagar los intereses y el principal sobre el préstamo y $200 para pagar el almacenamiento, la ganancia neta es

$$\$70{,}000 - \$63{,}076 - \$200 = \$6{,}724$$

Precio de futuros demasiado bajo
A continuación, suponga que el precio de futuros es menor a $632.76, digamos de $610. Un inversionista que ya posee 100 onzas de oro con fines de inversión puede:

1. Vender el oro en $60,000.
2. Tomar una posición larga en un contrato de futuros de oro para entrega en un año.

Los $60,000 se invierten a la tasa de interés libre de riesgo de 5% durante un año y aumentan a 63,076 dólares. El contrato de futuros asegura que el oro pueda readquirirse a $61,000. El inversionista ahorra $200 en costos de almacenamiento. Por lo tanto, el contrato de futuros mejora la posición del inversionista en

$$63{,}076 - 61{,}000 + 200 = \$2{,}276$$

Los costos de almacenamiento se manejan como un ingreso negativo. Si U es el valor presente de todos los costos de almacenamiento durante la vida de un contrato a plazo, a partir de la ecuación (5.2) se deduce que

$$F_0 = (S_0 + U)e^{rT} \tag{5.11}$$

El ejemplo 5.8 proporciona una aplicación de esta fórmula.

Si los costos de almacenamiento incurridos en cualquier momento son proporcionales al precio del commodity, pueden manejarse como rendimiento negativo. En este caso, con base en la ecuación (5.3), tenemos

$$F_0 = S_0 e^{(r+u)T} \tag{5.12}$$

donde u representa los costos anuales de almacenamiento como una proporción del precio spot neto de cualquier rendimiento ganado sobre el activo.

Commodities de consumo

Por lo general, los commodities que son activos de consumo en vez de activos de inversión no proporcionan ingresos, pero pueden estar sujetos a importantes costos de almacenamiento. Ahora revisaremos con detalle las estrategias de arbitraje que se usan para determinar los precios de futuros a partir de precios spot.[7] Suponga que en vez de la ecuación (5.11), tenemos

$$F_0 > (S_0 + U)e^{rT} \tag{5.13}$$

Para aprovechar esta oportunidad, un arbitrajista puede implementar la estrategia siguiente:

1. Adquirir en préstamo un monto $S_0 + U$ a la tasa libre de riesgo y usarlo para comprar una unidad del commodity y pagar los costos de almacenamiento.
2. Vender en corto un contrato a plazo sobre una unidad del commodity.

Si consideramos el contrato de futuros como un contrato a plazo, esta estrategia genera una utilidad de $F_0 - (S_0 + U)e^{rT}$ en el tiempo T. El ejemplo 5.8 ilustra la estrategia para el oro. No hay ningún problema al implementar la estrategia para algún commodity. Sin embargo, a medida que los arbitrajistas lo hacen, S_0 tendería a aumentar y F_0 a disminuir hasta que la ecuación (5.13) ya no fuera cierta. Concluimos que la ecuación (5.13) no puede sostenerse durante ningún periodo significativo.

A continuación, suponga que

$$F_0 < (S_0 + U)e^{rT} \tag{5.14}$$

En el caso de los activos de inversión, como el oro y la plata, podemos argumentar que muchos inversionistas mantienen el commodity únicamente con fines de inversión. Cuando observen la desigualdad en la ecuación (5.14), considerarán rentable:

1. Vender el commodity, ahorrar los costos de almacenamiento e invertir el producto a la tasa de interés libre de riesgo.
2. Tomar una posición larga en un contrato a plazo.

El ejemplo 5.8 ilustra esta estrategia para el oro. El resultado es una utilidad libre de riesgo al vencimiento de $(S_0 + U)e^{rT} - F_0$ respecto de la posición que habrían tenido los inversionistas si

[7] En el caso de algunos commodities, el precio spot depende del lugar de entrega. Asumimos que el lugar de entrega para contratos spot y de futuros es el mismo.

hubieran mantenido el commodity. Se deduce que la ecuación (5.14) no puede sostenerse durante mucho tiempo. Como las ecuaciones (5.13) y (5.14) no pueden sostenerse durante mucho tiempo, debemos tener $F_0 = (S_0 + U)e^{rT}$.

En el caso de commodities que no son mantenidos significativamente con fines de inversión, este argumento no es válido. Los individuos y las empresas que mantienen en inventario un commodity de este tipo lo hacen por su valor de consumo, no por su valor como una inversión. Se niegan a vender el commodity y a comprar contratos a plazo porque éstos no pueden consumirse. (Por ejemplo, ¡los futuros de petróleo no pueden usarse para abastecer a una refinería!) Por lo tanto, no hay nada para evitar que la ecuación (5.14) se sostenga. Por lo tanto, todo lo que podemos afirmar de un commodity de consumo es

$$F_0 \leqslant (S_0 + U)e^{rT} \tag{5.15}$$

Si los costos de almacenamiento se expresan como una proporción u del precio spot, el resultado equivalente es

$$F_0 \leqslant S_0 e^{(r+u)T} \tag{5.16}$$

Rendimientos de conveniencia

No tenemos necesariamente igualdad en las ecuaciones (5.15) y (5.16) porque los usuarios de un commodity de consumo pueden considerar que la propiedad del commodity físico proporciona beneficios que no obtienen los tenedores de contratos de futuros. Por ejemplo, una refinería de petróleo no considera de la misma manera un contrato de futuros sobre petróleo crudo que el petróleo crudo mantenido en inventario, ya que éste es un insumo para el proceso de refinamiento, en tanto que un contrato de futuros no puede utilizarse con este propósito. En general, la propiedad del activo físico permite a un fabricante mantener en operación el proceso de producción y quizás beneficiarse de situaciones de escasez local temporal. Un contrato de futuros no hace lo mismo. Los beneficios de mantener el activo físico se conocen en ocasiones como el *rendimiento de conveniencia* que proporciona el commodity. Si se conoce el monto en dólares de los costos de almacenamiento y este monto tiene un valor presente, U, el rendimiento de conveniencia, y, se define de tal manera que

$$F_0 e^{yT} = (S_0 + U)e^{rT}$$

Si los costos de almacenamiento por unidad son una proporción constante, u, del precio spot, y se define de tal manera que

$$F_0 e^{yT} = S_0 e^{(r+u)T}$$

o

$$F_0 = S_0 e^{(r+u-y)T} \tag{5.17}$$

El rendimiento de conveniencia simplemente mide el grado en que el lado izquierdo es menor que el lado derecho de la ecuación (5.15) o (5.16). En el caso de activos de inversión, el rendimiento de conveniencia debe ser de cero; de otro modo, hay oportunidades de arbitraje, como las del ejemplo 5.8. La figura 2.2 del capítulo 2 muestra que el precio de futuros del jugo de naranja disminuyó a medida que el tiempo al vencimiento del contrato aumentó el 8 de enero de 2007. Esto indica que el rendimiento de conveniencia, y, es mayor que $r + u$ para el jugo de naranja en esta fecha.

El rendimiento de conveniencia refleja las expectativas del mercado con respecto a la disponibilidad futura del commodity. Cuanto mayor sea la posibilidad de que ocurran situaciones de escasez, mayor será el rendimiento de conveniencia. Si los usuarios del commodity tienen grandes inventarios, hay pocas posibilidades de escasez en el futuro cercano y el rendimiento de conveniencia tiende a ser bajo. Por otro lado, los inventarios bajos dan lugar a altos rendimientos de conveniencia.

5.12 COSTO DE MANTENIMIENTO

La relación entre los precios de futuros y los precios spot se resumen en términos del *costo de mantenimiento*. Este costo mide el costo de almacenamiento más el interés que se paga para financiar el activo menos el ingreso obtenido sobre el activo. En el caso de una acción que no paga dividendos, el costo de almacenamiento es r, porque no hay costos de almacenamiento ni se obtiene un ingreso; en el caso de un índice bursátil, es $r - q$, porque se obtiene un ingreso a la tasa q sobre el activo. En el caso de una divisa, es $r - r_f$; en el caso de un commodity que proporciona un ingreso a la tasa q y requiere costos de almacenamiento a la tasa u, es $r - q + u$, etcétera.

Defina el costo de mantenimiento como c. En el caso de un activo de inversión, el precio de futuros es

$$F_0 = S_0 e^{cT} \tag{5.18}$$

En el caso de un activo de consumo, es

$$F_0 = S_0 e^{(c-y)T} \tag{5.19}$$

donde y es el rendimiento de conveniencia.

5.13 OPCIONES DE ENTREGA

En tanto que un contrato a plazo especifica normalmente que la entrega se realizará en un día específico, un contrato de futuros suele permitir que la parte con la posición corta decida entregar en cualquier momento durante cierto periodo. (Comúnmente, la parte debe avisar algunos días antes sobre su intención de entregar.) Esta decisión complica la determinación de los precios de futuros. ¿Debe asumirse que el vencimiento del contrato de futuros ocurre al principio, en medio o al final del periodo de entrega? Aunque casi todos los contratos de futuros se cierran antes de su vencimiento, es importante saber cuándo se llevará a cabo la entrega para calcular el precio de futuros teórico.

Si el precio de futuros es una función creciente del tiempo al vencimiento, vemos que, con base en la ecuación (5.19), $c > y$, de tal manera que los beneficios por mantener el activo (incluyendo el rendimiento de conveniencia y los costos de almacenamiento netos) son menores que la tasa libre de riesgo. En este caso, lo mejor para la parte con la posición corta es realizar la entrega lo más pronto posible porque el interés obtenido sobre el efectivo recibido supera los beneficios de mantener el activo. Como norma, en estas circunstancias los precios de futuros deben calcularse con base en que la entrega se realizará al inicio del periodo de entrega. Si los precios de futuros disminuyen a medida que aumenta el tiempo al vencimiento ($c > y$), lo contrario es lo cierto. Entonces, lo mejor para la parte con la posición corta es realizar la entrega lo más tarde posible y los precios de futuros deben, como regla, calcularse con base en este supuesto.

5.14 PRECIOS DE FUTUROS Y PRECIOS SPOT ESPERADOS

Denominamos *precio spot esperado* a la opinión promedio del mercado sobre cuál será el precio spot de un activo en determinada fecha futura. Suponga que estamos en junio y que el precio de futuros de maíz de septiembre es de \$2.00. Es interesante preguntar cuál es el precio spot esperado del maíz en septiembre. ¿Es menor, mayor o igual a \$2.00? Como se ilustró en la figura 2.1, el precio de futuros converge con el precio spot al vencimiento. Si el precio spot esperado es menor a

\$2.00, el mercado debe estar esperando que el precio de futuros de septiembre disminuya de modo que los negociantes con posiciones cortas ganen y los negociantes con posiciones largas pierdan. Si el precio spot esperado es mayor a \$2.00, lo contrario debe ser lo cierto. El mercado debe estar esperando que el precio de futuros de septiembre aumente de tal manera que los negociantes con posiciones largas ganen y los negociantes con posiciones cortas pierdan.

Keynes y Hicks

Los economistas John Maynard Keynes y John Hicks argumentaban que si los coberturistas tienden a mantener posiciones cortas y los especuladores a mantener posiciones largas, el precio de futuros de un activo estará por debajo del precio spot esperado.[8] Esto se debe a que los especuladores requieren una compensación por los riesgos que asumen. Negociarán sólo si pueden ganar dinero en promedio. Los coberturistas perderán dinero en promedio, pero están dispuestos a aceptar esto porque el contrato de futuros reduce sus riesgos. Keynes y Hicks argumentaban que si los coberturistas mantienen posiciones largas en tanto que los especuladores posiciones cortas, el precio de futuros estará por arriba del precio spot esperado por una razón similar.

Riesgo y rendimiento

El actual sistema para explicar la relación entre los precios de futuros y los precios spot esperados se basa en la relación entre el riesgo y el rendimiento esperado en la economía. En general, cuanto mayor es el riesgo de una inversión, mayor es el rendimiento esperado que demanda un inversionista. Los lectores que están familiarizados con el modelo de valuación de activos de capital saben que hay dos tipos de riesgo en la economía: el sistemático y el no sistemático. El riesgo no sistemático no debe ser importante para un inversionista, ya que puede eliminarse casi por completo al mantener una cartera bien diversificada. Por lo tanto, un inversionista no debe requerir un rendimiento esperado más alto por asumir el riesgo no sistemático. En contraste, el riesgo sistemático no puede diversificarse, ya que surge de una correlación entre los rendimientos de la inversión y los rendimientos de todo el mercado accionario. Por lo general, un inversionista requiere un rendimiento esperado más alto que la tasa de interés libre de riesgo por asumir cantidades positivas de riesgo sistemático. Incluso, un inversionista está dispuesto a aceptar un rendimiento esperado más bajo que la tasa de interés libre de riesgo cuando el riesgo sistemático en una inversión es negativo.

El riesgo en una posición de futuros

Consideremos a un especulador que toma una posición larga en un contrato de futuros que dura T años con la esperanza de que el precio spot del activo esté por arriba del precio de futuros al final de la vida del contrato de futuros. Ignoramos la liquidación diaria y asumimos que el contrato de futuros puede manejarse como un contrato a plazo. Supongamos que el especulador coloca el valor presente del precio de futuros en una inversión libre de riesgo y, al mismo tiempo, toma una posición larga de futuros. El producto de la inversión libre de riesgo se usa para comprar el activo en la fecha de entrega. Entonces, el activo se vende inmediatamente a su precio de mercado. Los flujos de efectivo para el especulador son:

Hoy: $-F_0e^{-rT}$

Fin del contrato de futuros: $+S_T$

[8] Ver J. M. Keynes, *A Treatise on Money*. Londres: Macmillan, 1930; y J. R. Hicks, *Value and Capital*. Oxford: Clarendon Press, 1939.

donde F_0 es el precio de futuros hoy, S_T es el precio del activo en el tiempo T al final del contrato de futuros y r es el rendimiento libre de riesgo sobre fondos invertidos durante el tiempo T.

¿Cómo valuamos esta inversión? La tasa de descuento que debemos usar para el flujo de efectivo esperado en el tiempo T es igual al rendimiento requerido del inversionista sobre la inversión. Suponga que k es el rendimiento requerido de un inversionista sobre esta inversión. El valor presente de esta inversión es

$$-F_0e^{-rT} + E(S_T)e^{-kT}$$

donde E representa el valor esperado. Podemos asumir que todas las inversiones en los mercados de valores están valuadas de tal manera que tengan un valor presente neto de cero. Esto significa que

$$-F_0e^{-rT} + E(S_T)e^{-kT} = 0$$

o

$$F_0 = E(S_T)e^{(r-k)T} \tag{5.20}$$

Como hemos analizado, los rendimientos que los inversionistas requieren sobre una inversión dependen del riesgo sistemático de ésta. La inversión que hemos considerado es, en esencia, una inversión en el activo subyacente al contrato de futuros. Si los rendimientos sobre este activo no se correlacionan con el mercado accionario, la tasa de descuento correcta a usar es la tasa libre de riesgo, r, por lo que debemos establecer $k = r$. Entonces, la ecuación (5.20) nos da

$$F_0 = E(S_T)$$

Esto muestra que el precio de futuros es una estimación objetiva del precio spot futuro esperado cuando el rendimiento sobre el activo subyacente no se correlaciona con el mercado accionario.

Si el rendimiento sobre el activo se correlaciona positivamente con el mercado accionario, $k > r$ y la ecuación (5.20) da lugar a $F_0 < E(S_T)$. Esto muestra que, cuando el activo subyacente al contrato de futuros tiene un riesgo sistemático positivo, debemos esperar que el precio de futuros subestime el precio spot futuro esperado. Un ejemplo de un activo con riesgo sistemático positivo es un índice accionario. El rendimiento esperado de los inversionistas sobre las acciones subyacentes a un índice es generalmente mayor que la tasa libre de riesgo, r. Los dividendos proporcionan un rendimiento de q. Por lo tanto, el incremento esperado del índice debe ser mayor que $r - q$. Por consiguiente, la ecuación (5.8) es congruente con la predicción de que el precio de futuros subestima el precio spot futuro esperado de un índice bursátil.

Si el rendimiento sobre el activo se correlaciona negativamente con el mercado accionario, $k < r$ y la ecuación (5.20) muestra que $F_0 > E(S_T)$. Esto demuestra que cuando el activo subyacente al contrato de futuros tiene un riesgo sistemático negativo, debemos esperar que el precio de futuros sobrestime el precio spot futuro esperado.

Mercado inverso normal y contango

Cuando el precio de futuros está por debajo del precio spot futuro esperado, la situación se conoce como *mercado inverso normal*; cuando el precio de futuros excede al precio spot futuro esperado, la situación se conoce como *contango*.

RESUMEN

Para la mayoría de los fines, el precio de futuros de un contrato con determinada fecha de entrega puede considerarse igual al precio a plazo de un contrato con la misma fecha de entrega. Es posi-

Tabla 5.5 Resumen de los resultados de un contrato con tiempo al vencimiento T sobre un activo de inversión con un precio S_0 cuando la tasa de interés libre de riesgo durante un periodo de T años es r

Activo	*Precio a plazo/ de futuros*	*Valor de una posición larga en un contrato a plazo con un precio de entrega K*
No proporciona ingresos	$S_0 e^{rT}$	$S_0 - Ke^{-rT}$
Proporciona un ingreso conocido con un valor presente I	$(S_0 - I)e^{rT}$	$S_0 - I - Ke^{-rT}$
Proporciona un rendimiento conocido, q	$S_0 e^{(r-q)T}$	$S_0 e^{-qT} - Ke^{-rT}$

ble mostrar que, en teoría, ambos deben ser exactamente iguales cuando las tasas de interés son perfectamente previsibles.

Para entender los precios de futuros (o a plazo), es conveniente dividir los contratos de futuros en dos categorías: aquéllos en los que un número importante de inversionistas mantiene el activo subyacente con propósitos de inversión y aquéllos en los que el activo subyacente se mantiene principalmente con propósitos de consumo.

En el caso de los activos de inversión, hemos considerado tres situaciones diferentes:

1. El activo no proporciona ingresos.
2. El activo proporciona un ingreso conocido en dólares.
3. El activo proporciona un rendimiento conocido.

Los resultados se resumen en la tabla 5.5, con la que se obtienen los precios de futuros de contratos sobre índices bursátiles, divisas, oro y plata. Los costos de almacenamiento se manejan como un ingreso negativo.

En el caso de los activos de consumo, no es posible obtener los precios de futuros en función del precio spot y de otras variables observables. Aquí es importante el parámetro conocido como rendimiento de conveniencia del activo, que mide el grado en el que los usuarios del commodity consideran que la propiedad del activo físico proporciona beneficios que no obtienen los tenedores del contrato de futuros. Estos beneficios incluyen la capacidad de beneficiarse de situaciones de escasez local temporal o de mantener en operación un proceso de producción. Podemos obtener un límite superior para el precio de futuros de activos de consumo usando argumentos de arbitraje, pero no podemos concretar una relación de igualdad entre los precios de futuros y spot.

En ocasiones, el concepto de costo de mantenimiento es útil. El costo de mantenimiento es el costo de almacenamiento del activo subyacente más su costo de financiamiento menos el ingreso obtenido sobre el activo. En el caso de los activos de inversión, el precio de futuros es mayor que el precio spot en un monto que refleja el costo de mantenimiento. En el caso de los activos de consumo, el precio de futuros es mayor que el precio spot en un monto que refleja el costo de mantenimiento neto del rendimiento de conveniencia.

Si asumimos que el modelo de valuación de activos de capital es cierto, la relación entre el precio de futuros y el precio spot futuro esperado depende de si el rendimiento sobre el activo se relaciona positiva o negativamente con el rendimiento sobre el mercado accionario. Una correlación positiva da lugar a un precio de futuros menor que el precio spot futuro esperado. Una correlación negativa da lugar a un precio de futuros mayor que el precio spot futuro esperado. Sólo cuando la correlación es de cero, el precio de futuros teórico es igual al precio spot futuro esperado.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Cox, J.C., J.E. Ingersoll, y S.A. Ross. "The Relation between Forward Prices and Futures Prices", *Journal of Financial Economics*, 9 (diciembre de 1981), pp. 321-46.

Ghon, R.S. y R.P. Chang. "Intra-day Arbitrage in Foreign Exchange and Eurocurrency Markets", *Journal of Finance*, 47, 1 (1992), pp. 363-80.

Jarrow, R.A. y G.S. Oldfield. "Forward Contracts and Futures Contracts", *Journal of Financial Economics*, 9 (diciembre de 1981), pp. 373-82.

Kane, E.J. "Market Incompleteness and Divergences between Forward and Futures Interest Rates", *Journal of Finance*, 35 (mayo de 1980), pp. 221-34.

Pindyck R.S. "Inventories and the Short-Run Dynamics of Commodity Prices", *Rand Journal of Economics*, 25, 1 (1994), pp. 141-59.

Richard, S. y S. Sundaresan. "A Continuous-Time Model of Forward and Futures Prices in a Multigood Economy", *Journal of Financial Economics*, 9 (diciembre de 1981), pp. 347-72.

Routledge, B.R., D.J. Seppi, y C.S. Spatt. "Equilibrium Forward Curves for Commodities", *Journal of Finance*, 55, 3 (2000) 1297-1338.

Examen (respuestas al final del libro)

5.1. Explique lo que ocurre cuando un inversionista vende en corto determinada acción.

5.2. ¿Cuál es la diferencia entre el precio a plazo y el valor de un contrato a plazo?

5.3. Suponga que usted participa en un contrato a plazo a seis meses sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $30 y la tasa de interés libre de riesgo (con una composición continua) es de 12% anual. ¿Cuál es el precio a plazo?

5.4. El valor actual de un índice bursátil es de 350. La tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual (con una composición continua) y el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 4% anual. ¿Cuál debe ser el precio de futuros de un contrato a cuatro meses?

5.5. Explique detalladamente por qué el precio de futuros del oro puede calcularse a partir de su precio spot y de otras variables observables en tanto que no es posible hacer esto con el precio de futuros del cobre.

5.6. Explique con detalle el significado de los términos *rendimiento de conveniencia* y *costo de mantenimiento*. ¿Cuál es la relación entre el precio de futuros, el precio spot, el rendimiento de conveniencia y el costo de mantenimiento?

5.7. Explique por qué una divisa puede manejarse como un activo que proporciona un rendimiento conocido.

Preguntas y problemas

5.8. ¿Es el precio de futuros de un índice mayor o menor que el valor futuro esperado del índice? Explique su respuesta.

5.9. Se toma una posición larga en un contrato a plazo a un año sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $40 y la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual con una composición continua. a) ¿Cuál es el precio a plazo y el valor inicial del contrato a plazo? b) Seis meses después, el precio de la acción es de $45 y la tasa de interés libre de riesgo sigue siendo de 10%. ¿Cuál es el precio a plazo y el valor del contrato a plazo?

5.10. La tasa de interés libre de riesgo es de 7% anual con una composición continua y el rendimiento de dividendos sobre un índice bursátil es de 3.2% anual. El valor actual del índice es de 150. ¿Cuál es el precio de futuros a seis meses?

5.11. Asuma que la tasa de interés libre de riesgo es de 9% anual con una composición continua y que el rendimiento de dividendos sobre un índice bursátil varía a lo largo del año. En febrero, mayo, agosto y noviembre se pagan dividendos a una tasa de 5% anual. En otros meses, se pagan dividendos a una tasa de 2% anual. Suponga que el valor del índice el 15 de julio es de 1,300. ¿Cuál es el precio de futuros de un contrato con fecha de entrega el 15 de diciembre del mismo año?

5.12. Suponga que la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual con una composición continua y que el rendimiento de dividendos sobre un índice bursátil es de 4% anual. El valor del índice es de 400 y el precio de futuros de un contrato con fecha de entrega en cuatro meses es de 405. ¿Qué oportunidades de arbitraje crea esto?

5.13. Calcule la diferencia entre las tasas de interés a corto plazo de México y Estados Unidos de América del 8 de enero de 2007 con base en la información de la tabla 5.4.

5.14. Las tasas de interés a dos meses de Suiza y Estados Unidos de América son de 2 y 5% anual, respectivamente, con una composición continua. El precio spot del franco suizo es de $0.8000. El precio de futuros de un contrato con fecha de entrega en dos meses es de $0.8100. ¿Qué oportunidades de arbitraje crea esto?

5.15. El precio actual de la plata es de $9 por onza. Los costos de almacenamiento son de $0.24 anuales por onza que se pagan trimestralmente por adelantado. Si asumimos que las tasas de interés son de 10% anual para todos los vencimientos, calcule el precio de futuros de la plata para entrega en nueve meses.

5.16. Suponga que F_1 y F_2 son dos contratos de futuros sobre el mismo commodity con tiempos al vencimiento, t_1 y t_2, donde $t_2 > t_1$. Demuestre que

$$F_2 \leqslant F_1 e^{r(t_2 - t_1)}$$

donde r es la tasa de interés (asumida como constante) y no hay costos de almacenamiento. Para resolver este problema, asuma que un contrato de futuros es igual a un contrato a plazo.

5.17. Cuando una empresa cubre una salida de efectivo futura conocida en una moneda extranjera usando un contrato a plazo, no hay riesgo cambiario. Cuando se cubre usando contratos de futuros, el proceso de ajuste al mercado deja a la empresa expuesta a cierto riesgo. Explique la naturaleza de este riesgo. En particular, considere si la empresa está en una mejor situación usando un contrato de futuros o un contrato a plazo cuando:

a. El valor de la moneda extranjera baja rápidamente durante la vida del contrato.
b. El valor de la moneda extranjera sube rápidamente durante la vida del contrato.
c. El valor de la moneda extranjera primero sube y después vuelve a su valor inicial.
d. El valor de la moneda extranjera primero baja y después vuelve a su valor inicial.

Asuma que el precio a plazo es igual al precio de futuros.

5.18. En ocasiones se argumenta que un tipo de cambio a plazo es un factor de predicción objetivo de los tipos de cambio futuros. ¿En qué circunstancias ocurre esto?

5.19. Demuestre que la tasa de crecimiento del precio de futuros sobre un índice es igual al rendimiento adicional del índice sobre la tasa libre de riesgo. Asuma que la tasa de interés libre de riesgo y el rendimiento de dividendos son constantes.

5.20. Demuestre que la ecuación (5.3) es cierta considerando una inversión en el activo junto con una posición corta en un contrato de futuros. Asuma que todos los ingresos obtenidos del activo se reinvierten en éste. Use un argumento similar al presentado en los pies de página 2 y 4 y explique con detalle qué haría un arbitrajista si no se sostuviera la ecuación (5.3).

5.21. Explique detalladamente lo que significa precio esperado de un commodity en una fecha futura específica. Suponga que el precio de futuros del petróleo crudo disminuye con el vencimiento del contrato a la tasa de 2% anual. Asuma que los especuladores tienden a mantener posiciones cortas en futuros de petróleo crudo y los coberturistas a mantener posiciones largas en futuros de petróleo crudo. ¿Qué implica el argumento de Keynes y Hicks sobre el precio futuro esperado del petróleo?

5.22. El índice Value Line está diseñado para reflejar los cambios en el valor de una cartera de más de 1,600 acciones ponderadas equitativamente. Antes del 9 de marzo de 1988 se calculó el cambio del índice de un día para el siguiente como el promedio *geométrico* de los cambios de precios de las acciones subyacentes al índice. En estas circunstancias, ¿relaciona correctamente la ecuación (5.8) el precio de futuros del índice con su precio en efectivo? Si no es así, ¿la ecuación sobrestima o subestima el precio de futuros?

Preguntas de tarea

5.23. Se espera que una acción pague un dividendo de $1 por acción en dos y en cinco meses. El precio de la acción es de $50 y la tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual con una composición continua para todos los vencimientos. Un inversionista acaba de tomar una posición corta en un contrato a plazo a seis meses sobre la acción.

a. ¿Cuál es el precio a plazo y el valor inicial del contrato a plazo?

b. Tres meses después, el precio de la acción es de $48 y la tasa de interés libre de riesgo sigue siendo de 8% anual. ¿Cuál es el precio a plazo y el valor de la posición corta en el contrato a plazo?

5.24. Un banco ofrece a un cliente corporativo una opción entre adquirir efectivo en préstamo a 11% anual y adquirir oro en préstamo a 2% anual. (Si el oro se adquiere en préstamo, el interés debe reembolsarse en oro. Por lo tanto, 100 onzas adquiridas en préstamo hoy requerirían un reembolso de 102 onzas dentro de un año). La tasa de interés libre de riesgo es de 9.25% anual y los costos de almacenamiento son de 0.5% anual. Analice si la tasa de interés sobre el préstamo de oro es demasiado alta o demasiado baja con relación a la tasa de interés sobre el préstamo en efectivo. Las tasas de interés sobre ambos préstamos se expresan con una composición anual. La tasa de interés libre de riesgo y los costos de almacenamiento se expresan con una composición continua.

5.25. Una empresa que no está segura de la fecha exacta en que pagará o recibirá una moneda extranjera, puede tratar de negociar con su banco un contrato a plazo que especifique un periodo en el que pueda realizarse la entrega. La empresa desea reservarse el derecho a elegir la fecha de entrega exacta para que concuerde con sus propios flujos de efectivo. Póngase en la posición del banco. ¿Cómo valuaría el producto que la empresa desea?

5.26. Un negociante posee oro como parte de una cartera de inversión a largo plazo. El negociante puede comprar oro a $550 por onza y venderlo a $549 por onza. El negociante puede adquirir fondos en préstamo a 6% anual e invertir los fondos a 5.5% anual. (Ambas tasas de interés se expresan con una composición anual). ¿En qué intervalo de precios a plazo a un año del oro el negociante no tiene oportunidades de arbitraje? Asuma que no hay un diferencial de demanda y oferta para los precios a plazo.

5.27. Una empresa participa en un contrato a plazo con un banco para vender una moneda extranjera a K_1 en la fecha T_1. El tipo de cambio en la fecha T_1 resulta ser S_1 ($> K_1$). La empresa le pide al banco que renueve el contrato continuamente hasta la fecha T_2 ($> T_1$) en vez de liquidarlo en la fecha T_1. El banco acuerda un nuevo precio de entrega, K_2. Explique cómo debe calcularse K_2.

APÉNDICE

Prueba de que los precios a plazo y de futuros son iguales cuando las tasas de interés son constantes

Este apéndice demuestra que los precios a plazo y de futuros son iguales cuando las tasas de interés son constantes. Suponga que un contrato de futuros dura n días y que F_i es el precio de futuros al final del día i ($0 < i < n$). Defina δ como la tasa libre de riesgo diaria (asumida como constante). Considere la estrategia siguiente:[9]

1. Tomar una posición larga de futuros de e^{δ} al final del día 0 (es decir, al inicio del contrato).
2. Aumentar la posición larga a $e^{2\delta}$ al final del día 1.
3. Aumentar la posición larga a $e^{3\delta}$ al final del día 2.

Y así sucesivamente.

Esta estrategia se resume en la tabla 5.6. Al inicio del día i, el inversionista tiene una posición larga de $e^{\delta i}$. La utilidad (posiblemente negativa) obtenida de la posición en el día i es

$$(F_i - F_{i-1})e^{\delta i}$$

Asuma que la utilidad se compone a la tasa libre de riesgo hasta el final del día n. Su valor al final del día n es

$$(F_i - F_{i-1})e^{\delta i}e^{(n-i)\delta} = (F_i - F_{i-1})e^{n\delta}$$

Por lo tanto, el valor al final del día n de toda la estrategia de inversión es

$$\sum_{i=1}^{n}(F_i - F_{i-1})e^{n\delta}$$

Esto es

$$[(F_n - F_{n-1}) + (F_{n-1} - F_{n-2}) + \cdots + (F_1 - F_0)]e^{n\delta} = (F_n - F_0)e^{n\delta}$$

Tabla 5.6 Estrategia de inversión para mostrar que los precios de futuros y a plazo son iguales

Día	0	1	2	$\cdots$	$n-1$	n
Precio de futuros	F_0	F_1	F_2	$\cdots$	F_{n-1}	F_n
Posición de futuros	e^{δ}	$e^{2\delta}$	$e^{3\delta}$	$\cdots$	$e^{n\delta}$	0
Ganancia/pérdida	0	$(F_1 - F_0)e^{\delta}$	$(F_2 - F_1)e^{2\delta}$	$\cdots$	$\cdots$	$(F_n - F_{n-1})e^{n\delta}$
Ganancia/pérdida compuesta al día n	0	$(F_1 - F_0)e^{n\delta}$	$(F_2 - F_1)e^{n\delta}$	$\cdots$	$\cdots$	$(F_n - F_{n-1})e^{n\delta}$

[9] Esta estrategia fue propuesta por J.C. Cox, J.E. Ingersoll, y S.A. Ross, "The Relation between Forward Prices and Futures Prices", *Journal of Financial Economics*, 9 (diciembre de 1981), pp. 321-46.

Puesto que F_n es igual al precio spot final del activo, S_T, el valor final de la estrategia de inversión se puede plantear como

$$(S_T - F_0)e^{n\delta}$$

Una inversión de F_0 en un bono libre de riesgo junto con la estrategia de futuros que acabamos de proporcionar nos rinde

$$F_0 e^{n\delta} + (S_T - F_0)e^{n\delta} = S_T e^{n\delta}$$

en la fecha T. No se requiere ninguna inversión para todas las posiciones largas de futuros descritas. Se deduce que se puede invertir un monto F_0 para obtener un monto $S_T e^{n\delta}$ en la fecha T.

A continuación, suponga que el precio de futuros al final del día 0 es G_0. Invertir G_0 en un bono libre de riesgo y tomar una posición larga a plazo de $e^{n\delta}$ contratos a plazo también garantiza un monto $S_T e^{n\delta}$ en la fecha T. Por consiguiente, hay dos estrategias de inversión: una que requiere un desembolso inicial de F_0 y la otra que requiere un desembolso inicial de G_0, siendo el rendimiento de ambas $S_T e^{n\delta}$ en la fecha T. Se deduce que, a falta de oportunidades de arbitraje,

$$F_0 = G_0$$

En otras palabras, el precio de futuros y el precio a plazo son idénticos. Observe que en esta prueba no hay nada especial en cuanto al periodo de un día. El precio de futuros basado en un contrato con liquidaciones semanales es también igual al precio a plazo cuando se hacen los supuestos correspondientes.

6 CAPÍTULO

Futuros sobre tasas de interés

Hasta ahora hemos abordado los contratos de futuros sobre commodities, índices bursátiles y divisas. Hemos visto cómo funcionan, de qué manera se usan con fines de cobertura y cómo se establecen los precios de futuros. Ahora consideraremos los futuros sobre tasas de interés.

En este capítulo explicamos los populares contratos de futuros sobre bonos del Tesoro y sobre eurodólares que se negocian en Estados Unidos de América. Muchos de los demás contratos de futuros sobre tasas de interés de todo el mundo se han diseñado imitando estos contratos. Analizaremos también la medida de duración y mostramos cómo se usa para medir la sensibilidad de una cartera hacia las tasas de interés. Demostramos incluso cómo se utilizan los contratos de futuros sobre tasas de interés, junto con la medida de duración, para cubrir la exposición de una empresa a las variaciones de las tasas de interés.

6.1 CÁLCULO DE DÍAS Y CONVENCIONES DE COTIZACIÓN

Como una introducción al material de este capítulo, consideramos el cálculo de días y las convenciones de cotización que se aplican a los bonos y a otros títulos que dependen de las tasas de interés.

Cálculo de días

El cálculo de días define cómo se acumulan las tasas de interés con el paso del tiempo. Generalmente conocemos el interés ganado durante cierto periodo de referencia (por ejemplo, el tiempo entre los pagos de cupones sobre un bono), pero nos interesa calcular el interés obtenido durante algún otro periodo.

La convención para el cálculo de días se expresa usualmente como X/Y. Cuando calculamos el interés ganado entre dos fechas, X define la forma de calcular el número de días entre ambas fechas y Y representa la forma de medir el total de días del periodo de referencia. El interés ganado entre ambas fechas es

$$\frac{\text{Número de días entre fechas}}{\text{Número de días del periodo}} \times \text{Interés ganado en el periodo de referencia}$$

Panorámica de negocios 6.1 El cálculo de días puede ser engañoso

Entre el 28 de febrero de 2009 y el 1 de marzo del mismo año, usted tiene la opción de poseer un bono del gobierno estadounidense que paga un cupón de 10%, así como un bono corporativo que paga un cupón de 10%. ¿Cuál preferiría?

Parece como si no fueran muy diferentes. De hecho, usted debe tener una fuerte preferencia por el bono corporativo. Con la convención para el cálculo de días 30/360 que se usa para bonos corporativos, hay tres días entre el 28 de febrero de 2009 y el 1 de marzo del mismo año. Con la convención para el cálculo de días real/real (en el periodo) que se usa para bonos del gobierno hay sólo un día. ¡Usted ganaría aproximadamente el triple de intereses si mantuviera el bono corporativo!

En Estados Unidos de América se usan tres convenciones de cálculo de días:

1. Real/real (en el periodo)
2. 30/360
3. Real/360

Real/real (en el periodo) se usa para bonos del Tesoro de EUA; 30/360 se utiliza para bonos corporativos y municipales de EUA, y real/360 se emplea para letras del Tesoro y otros instrumentos del mercado de dinero.

El uso de la convención real/real (en el periodo) para bonos del Tesoro indica que el interés ganado entre dos fechas se basa en la relación entre los días reales transcurridos y el número real de días del periodo entre pagos de cupones. Suponga que el principal del bono es de \$100, las fechas de pago del cupón son el 1 de marzo y el 1 de septiembre, la tasa cupón es de 8% y que deseamos calcular el interés ganado entre el 1 de marzo y el 3 de julio. El periodo de referencia es del 1 de marzo al 1 de septiembre. Hay 184 días (reales) en este periodo y se gana un interés de \$4.00 durante el periodo. Hay 124 días (reales) entre el 1 de marzo y el 3 de julio. Por lo tanto, el interés ganado entre el 1 de marzo y el 3 de julio es

$$\frac{124}{184} \times 4 = 2.6957$$

El uso de la convención 30/360 para bonos corporativos y municipales indica que asumimos 30 días por mes y 360 días por año al realizar nuestros cálculos. Con esta convención, el número total de días entre el 1 de marzo y el 1 de septiembre es de 180. El número total de días entre el 1 de marzo y el 3 de julio es $(4 \times 30) + 2 = 122$. En el caso de un bono corporativo con los mismos términos que el bono del Tesoro que acabamos de considerar, el interés ganado entre el 1 de marzo y el 3 de julio debiera ser, por lo tanto

$$\frac{122}{180} \times 4 = 2.7111$$

Como se muestra en Panorámica de negocios 6.1, la convención para el cálculo de días 30/360 tiene en ocasiones consecuencias sorprendentes.

El uso de la convención real/360 para un instrumento del mercado de dinero indica que el periodo de referencia es de 360 días. El interés ganado durante parte de un año se calcula dividiendo el número real de días transcurridos entre 360 y multiplicándolo por la tasa. El interés obtenido en 90 días es, por lo tanto, exactamente una cuarta parte de la tasa cotizada. Observe que el interés ganado en todo un año de 365 días es 365/360 por la tasa cotizada.

Las convenciones varían de un país a otro y de un instrumento a otro. Por ejemplo, los instrumentos del mercado de dinero se cotizan con base en una convención real/365 en Australia, Canadá y Nueva Zelanda. La tasa LIBOR se cotiza sobre una convención real/360 para todas las monedas, excepto para la libra esterlina, para la cual se cotiza con base en una convención real/365. Usualmente, los bonos denominados en euros se calculan sobre una convención real/real.

Cotizaciones

Los precios de los instrumentos del mercado de dinero se cotizan a veces usando una *tasa de descuento*. Ésta es el interés ganado como un porcentaje del valor nominal final más que como un porcentaje del precio inicial pagado por el instrumento. Un ejemplo son las letras del Tesoro de Estados Unidos de América. Si el precio de una letra del Tesoro a 91 días se cotiza como 8, esto significa que la tasa de interés anualizada obtenida es 8% del valor nominal. Suponga que el valor nominal es de \$100. Se gana un interés de \$2.0222 (= \$100 × 0.08 × 91/360) durante la vida de 91 días. Esto corresponde a una tasa de interés verdadera de 2.0222/(100 − 2.0222) = 2.064% para el periodo de 91 días. En general, la relación entre el precio en efectivo y el precio cotizado de una letra del Tesoro de Estados Unidos de América es

$$P = \frac{360}{n}(100 - Y)$$

donde P es el precio cotizado, Y es el precio en efectivo, y n es la vida restante de la letra del Tesoro medida en días naturales.

Bonos del Tesoro de Estados Unidos de América

Los precios de los bonos del Tesoro se cotizan en dólares y treintaidosavos de dólar. El precio cotizado es de un bono con un valor nominal de \$100. Por lo tanto, una cotización de 90-05 indica que el precio cotizado de un bono con un valor nominal de \$100,000 es de \$90,156.25.

El precio cotizado, que los negociantes denominan *precio limpio*, no es igual al precio en efectivo, que los negociantes llaman *precio sucio*. Por lo general, tenemos

Precio en efectivo = precio cotizado + interés acumulado desde la última fecha de cupón

Para ejemplificar esta fórmula, suponga que es 5 de marzo de 2007 y el bono que estamos considerando tiene un cupón de 11% y vence el 10 de julio de 2015, con un precio cotizado de 95-16 o \$95.50. Como los cupones sobre bonos del gobierno se pagan semestralmente (y el cupón final se paga al vencimiento), la fecha de cupón más reciente es el 10 de enero de 2007 y la próxima fecha de cupón es el 10 de julio de 2007. El número de días entre el 10 de enero de 2007 y el 5 de marzo de 2007 es 54, en tanto que el número de días entre el 10 de enero de 2007 y el 10 de julio de 2007 es 181. El pago del cupón sobre un bono con un valor nominal de \$100 es de \$5.50 el 10 de enero y el 10 de julio. El interés acumulado el 5 de marzo de 2007 es la parte del cupón del 10 de julio que obtiene el tenedor del bono el 5 de marzo de 2007. Debido a que se usa la convención real/real (en el periodo) para bonos del Tesoro de Estados Unidos de América (vea la sección 6.1), este interés es

$$\frac{54}{181} \times \$5.5 = \$1.64$$

Por lo tanto, el precio en efectivo por valor nominal de \$100 para el bono del 10 de julio de 2015 es

$$\$95.5 + \$1.64 = \$97.14$$

Por consiguiente, el precio en efectivo de un bono de \$100,000 es de \$97,140.

6.2 FUTUROS SOBRE BONOS DEL TESORO

La tabla 6.1 muestra las cotizaciones de futuros sobre tasas de interés como aparecen en el *Wall Street Journal* del 9 de enero de 2007. Uno de los contratos de futuros sobre tasas de interés a largo plazo más populares es el contrato de futuros sobre bonos del Tesoro que se negocia en la Bolsa de Comercio de Chicago (CBOT). En este contrato puede entregarse cualquier bono del gobierno que tenga más de 15 años a su vencimiento en el primer día del mes de entrega y que no sea redimible en un periodo de 15 años a partir de ese día. Como explicaremos más adelante en esta sección, la CBOT ha desarrollado un procedimiento para ajustar el precio que recibe la parte con la posición corta de acuerdo con el bono específico entregado.

En Estados Unidos de América es muy popular el contrato de futuros sobre notas del Tesoro y notas del Tesoro a cinco años. En el contrato de futuros sobre notas del Tesoro, puede entregarse cualquier bono del gobierno (o nota) con un vencimiento entre 6.5 y 10 años. En el contrato de futuros sobre notas del Tesoro a cinco años, el bono entregado tiene una vida restante aproximada de cuatro o cinco años.

El resto del análisis de esta sección se centra en los futuros sobre bonos del Tesoro que se negocian en la CBOT. Los futuros sobre notas del Tesoro de Estados Unidos de América y muchos otros contratos de futuros de otras partes del mundo están diseñados de manera similar a los futuros sobre bonos del Tesoro negociados en la CBOT, por lo que muchos de los puntos que abordaremos también se aplican a estos contratos.

Cotizaciones

Los precios de futuros sobre bonos del Tesoro se cotizan en la misma forma que los precios de los mismos bonos del Tesoro (vea la sección 6.1). La tabla 6.1 muestra que el precio de liquidación del 8 de enero de 2007 para el contrato de marzo de 2007 fue de 112-04 o 112 4/32. Un contrato implica la entrega de un bono con un valor nominal de $100,000. Por lo tanto, un cambio de $1.00 del

Tabla 6.1 Cotizaciones de futuros sobre tasas de interés obtenidas del *Wall Street Journal* del 9 de enero de 2007. (Las columnas muestran el mes, los precios de apertura, máximo, mínimo, de liquidación, el cambio y el interés abierto, respectivamente)

Interest Rate Futures

Treasury Bonds (CBT)-$100,000; pts 32nds of 100%						
March	112-05	112-07	111-27	**112-04**	-1	777,963
June	112-04	112-04	111-27	**112-02**	-1	7,450
Treasury Notes (CBT)-$100,000; pts 32nds of 100%						
March	107-280	107-295	107-215	**107-260**	-2.0	2,296,674
June	107-260	107-270	107-240	**107-270**	-2.0	38,131
5 Yr. Treasury Notes (CBT)-$100,000; pts 32nds of 100%						
March	105-090	105-100	105-045	**105-075**	-2.0	1,425,917
2 Yr. Treasury Notes (CBT)-$200,000; pts 32nds of 100%						
March	102-042	102-042	102-019	**102-025**	-1.7	770,033
30 Day Federal Funds (CBT)-$5,000,000; 100 - daily avg.						
Jan	94.750	94.760	94.750	**94.755**	...	84,247
Feb	94.755	94.760	94.755	**94.760**	...	120,426
1 Month Libor (CME)-$3,000,000; pts of 100%						
Jan	94.6775	94.6800	94.6775	**94.6775**	-.0025	23,569
Feb	94.6775	94.6825	94.6775	**94.6825**	.0050	16,350
Eurodollar (CME)-$1,000,000; pts of 100%						
Jan	94.6375	94.6450	94.6375	**94.6425**	...	42,487
June	94.8250	94.8300	94.7750	**94.7900**	-.0400	1,414,973
Sept	95.0000	95.0000	94.9400	**94.9550**	-.0500	1,346,082
Dec	95.1300	95.1300	95.0700	**95.0900**	-.0450	1,316,779

Fuente: reimpreso con permiso de Dow Jones, Inc., a través del Copyright Clearance Center, Inc. © 2007 Dow Jones & Company, Inc. Derechos reservados mundialmente.

precio de futuros cotizado daría lugar a un cambio de $1,000 en el valor del contrato de futuros. La entrega puede realizarse en cualquier momento durante el mes de entrega.

Factores de conversión

Como se mencionó, el contrato de futuros sobre bonos del Tesoro permite a la parte con la posición corta decidir entregar cualquier bono que tenga un vencimiento mayor de 15 años y que no sea redimible en ese periodo. Cuando se entrega un bono específico, un parámetro conocido como *factor de conversión* define el precio recibido por el bono. El precio cotizado aplicable es el producto del factor de conversión y el precio de liquidación más reciente del contrato de futuros. Si se toma en cuenta el interés acumulado, como se describe en la sección 6.2, el efectivo recibido por cada $100 de valor nominal del bono entregado es

$$(\text{Precio de liquidación más reciente} \times \text{Factor de conversión}) + \text{Interés acumulado}$$

Cada contrato se estipula para la entrega de bonos con un valor nominal de $100,000. Suponga que el precio de liquidación más reciente es de 90-00, que el factor de conversión del bono entregado es de 1.3800, y que el interés acumulado sobre este bono en la fecha de entrega es de $3.00 por $100 de valor nominal. Entonces, el efectivo que recibe la parte con la posición corta (y que paga la parte con la posición larga) es

$$(1.3800 \times 90.00) + 3.00 = \$127.20$$

por $100 de valor nominal. La parte con la posición corta en un contrato entregaría bonos con un valor nominal de $100,000 y recibiría $127,200.

El factor de conversión de un bono se establece igual al precio cotizado que el bono tendría por dólar de principal el primer día del mes de entrega bajo el supuesto de que la tasa de interés para todos los vencimientos es igual a 6% anual (con composición semestral). El vencimiento del bono y el tiempo a las fechas de pago del cupón se redondean a los tres meses más cercanos con fines de cálculo. Esta práctica permite a la CBOT producir tablas generales. Si, después de redondear, el bono dura un número exacto de periodos de seis meses, se asume que el primer cupón se paga en seis meses. Si, después de redondear, el bono no dura un número exacto de periodos de seis meses (es decir, hay tres meses adicionales), se asume que el primer cupón se paga después de tres meses y se resta el interés acumulado.

Como un primer ejemplo de estas reglas, considere un bono con un cupón de 10% y con 20 años y dos meses a su vencimiento. Para calcular el factor de conversión, se asume que el bono tiene exactamente 20 años a su vencimiento y que el primer pago del cupón se realizará después de seis meses. Se asume que los pagos del cupón se realizarán en intervalos de seis meses hasta el término de 20 años, cuando se efectúa el pago del principal. Asuma que el valor nominal es de $100. Cuando la tasa de descuento es de 6% anual con una composición semestral (o de 3% semestral), el valor del bono es

$$\sum_{i=1}^{40} \frac{5}{1.03^i} + \frac{100}{1.03^{40}} = \$146.23$$

Si dividimos este monto entre el valor nominal nos da un factor de conversión de 1.4623.

Como un segundo ejemplo de las reglas, considere un bono con un cupón de 8% y con 18 años y cuatro meses a su vencimiento. Para calcular el factor de conversión, se asume que el bono tiene exactamente 18 años y 3 meses a su vencimiento. Si descontamos todos los pagos hasta la fecha correspondiente a tres meses a partir de hoy, a 6% anual (compuesto semestralmente), nos da un valor de

$$4 + \sum_{i=1}^{36} \frac{4}{1.03^i} + \frac{100}{1.03^{36}} = \$125.83$$

La tasa de interés para un periodo de tres meses es $\sqrt{1.03} - 1$ o 1.4889%. De aquí que, si la descontamos hasta el momento presente nos da un valor del bono de 125.83/1.014889 = \$123.99. Si restamos el interés acumulado de 2.0, obtenemos un monto de \$121.99. Por consiguiente, el factor de conversión es 1.2199.

Bono *cheapest-to-deliver*

En cualquier momento dado durante el mes de entrega, hay muchos bonos que se pueden entregar en el contrato de futuros sobre bonos del Tesoro negociado en la CBOT, con diversos pagos de cupón y fechas de vencimiento. La parte con la posición corta puede decidir cuál de los bonos disponibles es "el más barato" de entregar. Puesto que la parte con la posición corta recibe

(Precio de liquidación más reciente × Factor de conversión) + Interés acumulado

y el costo de comprar un bono es

Precio cotizado del bono + Interés acumulado

el bono cheapest-to-deliver es aquel cuyo

Precio cotizado del bono − (Precio de liquidación más reciente + Factor de conversión)

es el más bajo. Una vez que la parte con la posición corta decide entregar, determina el bono *cheapest-to-deliver* examinando cada uno de los bonos. El ejemplo 6.1 ilustra estos cálculos.

Ejemplo 6.1 Elección del bono *cheapest-to-deliver*

La parte con la posición corta ha decidido entregar y trata de elegir uno de los tres bonos siguientes. Asuma que el precio de liquidación más reciente es de 93-08 o 93.25.

Bono	*Precio cotizado del bono (\$)*	*Factor de conversión*
1	99.50	1.0382
2	143.50	1.5188
3	119.75	1.2615

El costo de entregar cada uno de los bonos es el siguiente:

Bono 1: 99.50 − (93.25 × 1.0382) = \$2.69
Bono 2: 143.50 − (93.25 × 1.5188) = \$1.87
Bono 3: 119.75 − (93.25 × 1.2615) = \$2.12

El bono cheapest-to-deliver es el bono 2.

Panorámica de negocios 6.2 El juego de comodín

La negociación del contrato de futuros sobre bonos del Tesoro en la CBOT termina a las 2:00 PM, hora de Chicago. Sin embargo, la negociación de bonos del Tesoro continúa en el mercado spot hasta las 4:00 PM. Además, un negociante con una posición corta en un contrato de futuros tiene hasta las 8:00 PM para emitir un aviso de intención de entrega ante la cámara de compensación. Si el aviso se emite, el precio de factura se calcula con base en el precio de liquidación de ese día. Éste es el precio al que se condujo la negociación justo antes del cierre del mercado a las 2:00 PM.

Esta práctica da lugar a una opción conocida como *juego de comodín*. Si los precios de los bonos disminuyen después de las 2:00 PM el primer día del mes de entrega, la parte con la posición corta puede emitir un aviso de intención de entrega, digamos, a las 3:45 PM y proceder a comprar bonos para su entrega a un precio calculado con base en el precio de futuros de las 2:00 PM. Si el precio del bono no disminuye, la parte con la posición corta mantiene la posición abierta y espera hasta el día siguiente en que pueda usar esta misma estrategia.

Al igual que con otras opciones disponibles para la parte con la posición corta, el juego de comodín no es gratuito. Su valor se refleja en el precio de futuros, el cual es menor de lo que sería sin la opción.

Varios factores determinan el bono cheapest-to-deliver. Cuando los rendimientos de bonos exceden a 6%, el sistema del factor de conversión favorece la entrega de bonos con cupones bajos y vencimientos largos. Además, cuando la curva de rendimiento es ascendente, se favorece la entrega de bonos con un tiempo largo a su vencimiento, en tanto que, cuando la curva es descendente, hay una tendencia a entregar bonos con un tiempo corto a su vencimiento.

Además de la opción del bono cheapest-to-deliver, la parte con una posición corta tiene una opción conocida como juego de comodín, descrita en Panorámica de negocios 6.2.

Determinación del precio de futuros

Es difícil determinar un precio de futuros teórico exacto para el contrato sobre bonos del Tesoro, porque no es posible valuar con facilidad las opciones de la parte con la posición corta relacionadas con la fecha de entrega y la elección del bono que se entregará. No obstante, si asumimos que conocemos tanto el bono cheapest-to-deliver como la fecha de entrega, el contrato de futuros sobre bonos del Tesoro es un contrato de futuros sobre un título negociado (el bono) que proporciona al tenedor un ingreso conocido.[1] Entonces, la ecuación (5.2) muestra que el precio de futuros, F_0, se relaciona con el precio spot, S_0, por medio de

$$F_0 = (S_0 - I)e^{rT} \tag{6.1}$$

donde I es el valor presente de los cupones durante la vida del contrato de futuros, T es el tiempo hasta el vencimiento del contrato de futuros y r es la tasa de interés libre de riesgo aplicable a un periodo con una duración de T. El ejemplo 6.2 proporciona una aplicación de la ecuación (6.1).

[1] En la práctica, con el propósito de determinar el bono cheapest-to-deliver en este cálculo, los analistas asumen generalmente que las tasas cero al vencimiento del contrato de futuros serán iguales a las tasas a plazo de hoy.

Ejemplo 6.2 Cálculo del precio de futuros sobre bonos del Tesoro

Suponga que, en un contrato de futuros sobre bonos del Tesoro, se sabe que el bono cheapest-to-deliver será un bono con un cupón de 12% y un factor de conversión de 1.4000. Además, asuma que se sabe que la entrega se realizará en 270 días. Los cupones sobre el bono se pagan semestralmente. Como se ilustra en el cronograma siguiente, la última fecha de pago del cupón fue hace 60 días, la siguiente fecha de pago del cupón es en 122 días y, después de ésta, la siguiente fecha de pago del cupón es en 305 días. La estructura temporal es plana y la tasa de interés (con una composición continua) es de 10% anual.

Asuma que el precio actual cotizado del bono es de $120. El precio en efectivo del bono se obtiene sumando a este precio cotizado la proporción del siguiente pago del cupón que obtiene el tenedor. Por lo tanto, el precio en efectivo es

$$120 + \frac{60}{60 + 122} \times 6 = 121.978$$

Se recibirá un cupón de $6.00 después de 122 días (= 0.3342 de año). El valor presente de éste es

$$6e^{-0.1 \times 0.3342} = 5.803$$

El contrato de futuros dura 270 días (0.7397 de año). Por lo tanto, el precio de futuros en efectivo si el contrato se expidiera sobre el bono con cupón de 12% sería

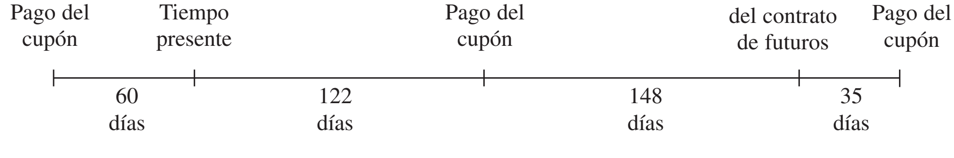
$$(121.978 - 5.803)e^{0.1 \times 0.7397} = 125.094$$

En la entrega, hay 148 días de intereses acumulados. El precio de futuros cotizado si el contrato se expidiera sobre el bono con cupón de 12% se calcula restando los intereses acumulados

$$125.094 - 6 \times \frac{148}{148 + 35} = 120.242$$

Con base en la definición del factor de conversión, los bonos estándar con un factor de conversión de 1.4000 se consideran equivalentes a cada bono con cupón de 12%. Por lo tanto, el precio de futuros cotizado debe ser

$$\frac{120.242}{1.4000} = 85.887$$



6.3 FUTUROS SOBRE EURODÓLARES

El contrato de futuros sobre tasas de interés más popular en Estados Unidos de América es el contrato de futuros sobre eurodólares a tres meses, el cual se negocia en la Bolsa Mercantil de Chicago (CME). Un eurodólar es un dólar depositado en un banco estadounidense o extranjero ubicado fuera de EUA. La tasa de interés sobre eurodólares es la tasa de interés ganada sobre los eurodólares que un banco deposita en otro banco. Básicamente es igual a la Tasa interbancaria de oferta del mercado de Londres (LIBOR) presentada en el capítulo 4.

Los contratos de futuros trimestrales sobre eurodólares son contratos de futuros sobre la tasa de interés sobre eurodólares a tres meses (90 días). Estos contratos permiten a un inversionista asegurar una tasa de interés sobre $1 millón durante un periodo futuro de tres meses. Los contratos tienen vencimientos en marzo, junio, septiembre y diciembre hasta de 10 años en el futuro. Esto significa que en 2007 un inversionista puede usar futuros sobre eurodólares para asegurar una tasa de interés para periodos de tres meses tan lejanos en el futuro como 2017. Los contratos con vencimientos cortos se negocian para meses distintos a marzo, junio, septiembre y diciembre.

Para entender cómo funcionan los contratos de futuros sobre eurodólares, considere el contrato de junio de 2007 presentado en la tabla 6.1. Este contrato tiene un precio de liquidación de 94.79. El contrato finaliza el tercer miércoles del mes de entrega. En el caso de este contrato, el tercer miércoles del mes de entrega es el 20 de junio de 2007. El contrato se liquida diariamente en la forma usual hasta esa fecha. Sin embargo, el 20 de junio de 2007 el precio de liquidación se establece igual a $100 - R$, donde R es la tasa de interés real sobre eurodólares a tres meses de ese día, expresada con una composición trimestral y una convención para el cálculo de días real/360. (Por lo tanto, si la tasa de interés sobre eurodólares a tres meses del 20 de junio de 2007 resultara ser de 4% con una composición trimestral, el precio de liquidación final sería de 96.00). Hay una liquidación final y todos los contratos se declaran cerrados.

El contrato está diseñado de tal manera que una variación de un punto base (= 0.01) en la cotización de futuros corresponde a una ganancia o a una pérdida de $25 por contrato. Cuando una cotización de futuros sobre eurodólares aumenta un punto base, un negociante con una posición larga en un contrato gana $25 y otro con una posición corta en un contrato los pierde. Del mismo modo, cuando la cotización disminuye un punto base, un negociante con una posición larga en un contrato pierde $25 y otro con una posición corta en un contrato los gana. Suponga, por ejemplo, que un precio de liquidación cambia de 97.12 a 97.23. Los negociantes con posiciones largas ganan $11 \times 25 = \$275$ por contrato y los negociantes con posiciones cortas pierden este mismo monto por contrato. La regla de $25 por punto base es congruente con la observación hecha anteriormente de que el contrato asegura una tasa de interés sobre $1 millón durante tres meses. Cuando una tasa de interés anual cambia en un punto base, el interés ganado sobre $1 millón durante tres meses cambia en

$$1{,}000{,}000 \times 0.0001 \times 0.25 = 25$$

o $25. Puesto que la cotización de futuros es igual a 100 menos la tasa de interés sobre futuros, un inversionista con una posición larga gana cuando las tasas de interés bajan y un inversionista con una posición corta gana cuando las tasas de interés suben. El ejemplo 6.3 ilustra el uso del contrato de junio de 2007 con fines de cobertura.

La bolsa define el precio del contrato como

$$10{,}000[100 - 0.25(100 - Q)] \qquad \textbf{(6.2)}$$

donde Q es la cotización. Por lo tanto, el precio de liquidación de 94.79 para el contrato de junio de 2007 presentado en la tabla 6.1 corresponde a un precio de

$$10{,}000[100 - 0.25(100 - 94.79)] = \$986{,}975$$

Ejemplo 6.3 Uso del contrato de futuros sobre eurodólares de junio de 2007

El 8 de enero de 2007 un inversionista desea asegurar la tasa de interés que ganará sobre \$5 millones durante tres meses a partir del 20 de junio de 2007. El inversionista compra cinco contratos de futuros sobre eurodólares de junio de 2007 en 94.79. El 20 de junio de 2007 la tasa de interés LIBOR a tres meses es de 4%, de tal manera que el precio de liquidación final resulta ser de 96.00. El inversionista gana $5 \times 25 \times (9600 - 9479) = \$15{,}125$ sobre la posición larga en los contratos de futuros. La tasa de interés ganada sobre los \$5 millones durante tres meses a 4% es

$$5{,}000{,}000 \times 0.25 \times 0.04 = 50{,}000$$

o \$50,000. La ganancia sobre el contrato de futuros aumenta esta cantidad a \$65,125. Éste es el interés que habría ganado si la tasa de interés hubiera sido de 5.21% ($5{,}000{,}000 \times 0.25 \times 0.0521 = 65{,}125$). Esto muestra que la negociación de futuros tiene el efecto de asegurar una tasa de interés igual a 5.21% o $(100 - 94.79)$%.

En el ejemplo 6.3, el precio final del contrato es

$$10{,}000[100 - 0.25(100 - 96)] = \$990{,}000$$

y la diferencia entre el precio inicial y final del contrato es de \$3,025, de tal manera que un inversionista con una posición larga en cinco contratos gana $5 \times \$3{,}025$ o \$15,125. Esto es congruente con la regla de la "variación de un punto base igual a \$25" usada en el ejemplo 6.3.

Vemos que el primer año de la estructura temporal de las tasas de interés estadounidenses tuvo una pendiente descendente el 8 de enero de 2007. La tasa de futuros para un periodo de tres meses iniciando el 17 de enero de 2007 fue de 5.3575%; para un periodo de tres meses iniciando el 20 de junio de 2007 fue de 5.21%; para un periodo de tres meses iniciando el 19 de septiembre de 2007 fue de 5.045%, y para un periodo de tres meses iniciando el 19 de diciembre de 2007 fue de 4.91%.

En otros países se negocian contratos de futuros sobre tasas de interés similares a los contratos de futuros sobre eurodólares de la CME. La CME negocia contratos sobre euroyenes. La Bolsa Internacional de Opciones y Futuros Financieros de Londres (parte de Euronext) negocia contratos Euribor a tres meses (es decir, contratos sobre la tasa LIBOR a tres meses para el euro) y futuros sobre eurofrancos a tres meses.

Tasas de interés a plazo y de futuros

El contrato de futuros sobre eurodólares es similar a un acuerdo de interés futuro en que asegura una tasa de interés para un periodo futuro. (Vea la sección 4.7 para revisar el análisis de acuerdos de interés futuro). En el caso de vencimientos cortos (hasta de un año), se asume que ambos contratos son iguales y que la tasa de interés de futuros sobre eurodólares es igual a la tasa de interés a plazo correspondiente. En el caso de contratos con vencimientos más largos, las diferencias entre los contratos son importantes. Compare un contrato de futuros sobre eurodólares sobre una tasa de interés para un periodo entre las fechas T_1 y T_2, con un acuerdo de interés futuro para el mismo periodo. El contrato de futuros sobre eurodólares se liquida diariamente. La liquidación final se realiza en la fecha T_1 y refleja la tasa de interés obtenida para el periodo entre las fechas T_1 y T_2.

Por el contrario, el acuerdo de interés futuro no se liquida diariamente y la liquidación final que refleja la tasa de interés obtenida entre las fechas T_1 y T_2 se realiza en la fecha T_2.[2]

Por lo tanto, hay dos componentes para la diferencia entre un contrato de futuros sobre eurodólares y un acuerdo de interés futuro. Éstos son:

1. La diferencia entre un contrato de futuros sobre eurodólares y un contrato similar en el que no hay una liquidación diaria. Éste último es un contrato a plazo en el que se realiza un pago, en la fecha T_1, igual a la diferencia entre la tasa de interés a plazo y la tasa de interés obtenida.
2. La diferencia entre un contrato a plazo en el que hay una liquidación en la fecha T_1 y un contrato a plazo en el que la liquidación se realiza en la fecha T_2.

Estos dos componentes para la diferencia entre los contratos causan cierta confusión en la práctica. Ambos disminuyen la tasa a plazo con relación a la tasa de futuros; pero, en el caso de contratos con vencimientos largos, la reducción que ocasiona la segunda diferencia es mucho menor que la que causa la primera. La razón por la que la primera diferencia (liquidación diaria) disminuye la tasa a plazo se deduce de los argumentos de la sección 5.8. Suponga que usted tiene un contrato cuyo pago es $R_M - R_F$ en la fecha T_1, en el que R_F es una tasa predeterminada para el periodo entre T_1 y T_2 y R_M es la tasa obtenida para este periodo, y que usted tiene la opción de cambiar a una liquidación diaria. En este caso, la liquidación diaria genera entradas de efectivo cuando las tasas son altas y salidas de efectivo cuando las tasas son bajas. Por lo tanto, usted podría considerar conveniente cambiar a una liquidación diaria porque tendría más dinero en su cuenta de margen si las tasas fueran altas. Por lo tanto, el mercado establecería R_F en un nivel más alto para la alternativa de liquidación diaria (reduciendo su pago acumulativo esperado). Dicho de otro modo, cambiar de la liquidación diaria a la liquidación en la fecha T_1 reduce R_F.

Para entender por qué la segunda diferencia reduce la tasa a plazo, asuma que el pago de $R_M - R_F$ se realiza en la fecha T_2 en vez de la fecha T_1 (como ocurre en el caso de un acuerdo de interés futuro regular). Si R_M es alta, el pago es positivo. Como las tasas son altas, el costo de recibir su pago en la fecha T_2 en vez de la fecha T_1 es relativamente alto para usted. Si R_M es baja, el pago es negativo. Como las tasas son bajas, el beneficio de realizar el pago en la fecha T_2 en vez de la fecha T_1 es relativamente bajo para usted. En general, usted preferiría el pago en la fecha T_1. Si ocurre en la fecha T_2 en vez de la fecha T_1, se le debe compensar con una reducción de R_F.[3]

Los analistas realizan lo que se conoce como *ajuste por convexidad* para justificar todas las diferencias entre ambas tasas. Un ajuste popular es

$$\text{Tasa a plazo} = \text{Tasa de futuros} - \tfrac{1}{2}\sigma^2 T_1 T_2 \qquad \textbf{(6.3)}$$

donde, al igual que arriba, T_1 es el tiempo al vencimiento del contrato de futuros y T_2 es el tiempo al vencimiento de la tasa subyacente al contrato de futuros. La variable σ es la desviación estándar del cambio de la tasa de interés a corto plazo en un año. Ambas tasas se expresan con una composición continua.[4] Un valor típico de σ es 1.2% o 0.012. El ejemplo 6.4 ilustra este ajuste.

[2] Como se mencionó en la sección 4.7, la liquidación puede ocurrir en la fecha T_1, pero entonces es igual al valor presente del pago normal del contrato a plazo en la fecha T_2.

[3] La cuantificación del efecto de este tipo de diferencia de tiempo en el valor de un derivado se analiza con más detalle en el capítulo 27 de J. C. Hull, *Options, Futures and Other Derivatives*, 6ª. edición, 2006.

[4] Esta fórmula se basa en el modelo de Ho-Lee para tasas de interés que se analizará en el capítulo 28. Ver T. S. Y. Ho y S. B. Lee, "Term Structure Movements and Princig Interest Rate Contingent Claims", *Journal of Finance*, 41 (diciembre de 1986), 1011-29.

Ejemplo 6.4 Cálculo del ajuste por convexidad

Considere una situación en la que $\sigma = 0.012$ y deseamos calcular la tasa a plazo cuando la cotización del precio de futuros sobre eurodólares a ocho años es de 94. En este caso, $T_1 = 8$, $T_2 = 8.25$ y el ajuste por convexidad es

$$\tfrac{1}{2} \times 0.012^2 \times 8 \times 8.25 = 0.00475$$

o 0.475% (47.5 puntos base). La tasa de futuros es de 6% anual con base en un cálculo de días real/360 y una composición trimestral. Esto es igual a $6 \times 365/360 = 6.083\%$ anual con base en un cálculo de días real/365 y una composición trimestral o a 6.038% con una composición continua. Por lo tanto, la tasa a plazo es de $6.038 - 0.475 = 5.563\%$ anual con una composición continua. La tabla 6.2 muestra cómo aumenta el tamaño del ajuste con el tiempo al vencimiento.

La tasa a plazo es menor que la tasa de futuros. Como vemos en la tabla 6.2, el tamaño del ajuste es más o menos proporcional al cuadrado del tiempo al vencimiento del contrato de futuros. Así, el ajuste por convexidad para el contrato a ocho años es aproximadamente 16 veces mayor que el de un contrato a dos años.

6.4 DURACIÓN

La *duración* de un bono, como su nombre lo indica, es una medida del tiempo que debe esperar en promedio el tenedor del bono antes de recibir pagos en efectivo. Un bono cupón cero que vence en n años tiene una duración de n años. No obstante, un bono con cupón que vence en n años tiene una duración menor a n años debido a que el tenedor recibe algunos de los pagos en efectivo antes del año n.

Suponga que un bono proporciona al tenedor flujos de efectivo c_i en el tiempo t_i ($1 \leq i \leq n$). El precio, B, y el rendimiento, y (continuamente compuesto), se relacionan por medio de

$$B = \sum_{i=1}^{n} c_i e^{-yt_i} \tag{6.4}$$

Tabla 6.2 Ajuste por convexidad para la tasa de futuros del ejemplo 6.4

Vencimiento de futuros (años)	*Ajustes por convexidad (puntos base)*
2	3.2
4	12.2
6	27.0
8	47.5
10	73.8

La duración, D, del bono se define como

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i c_i e^{-yt_i}}{B} \tag{6.5}$$

Esto se plantea como

$$D = \sum_{i=1}^{n} t_i \left[\frac{c_i e^{-yt_i}}{B} \right]$$

El término en corchetes es la relación entre el valor presente del flujo de efectivo en el tiempo t_1 y el precio del bono. El precio del bono es el valor presente de todos los pagos. Por lo tanto, la duración es un promedio ponderado de los tiempos en que se realizaron los pagos, siendo la ponderación aplicada al tiempo t_1 igual a la proporción del valor presente total del bono generada por el flujo de efectivo en el tiempo t_1. La suma de las ponderaciones es 1.0.

Con base en la ecuación (6.4), es aproximadamente cierto que

$$\Delta B = -\Delta y \sum_{i=1}^{n} c_i t_i e^{-yt_i} \tag{6.6}$$

donde Δy es un pequeño cambio de y y ΔB es el pequeño cambio correspondiente de B. (Observe que hay una relación negativa entre B y y. Cuando los rendimientos de los bonos aumentan, sus precios disminuyen; cuando los rendimientos de los bonos disminuyen, sus precios aumentan). Con base en las ecuaciones (6.5) y (6.6), obtenemos la principal relación de la duración

$$\Delta B = -BD\,\Delta y \tag{6.7}$$

Esto se plantea

$$\frac{\Delta B}{B} = -D\,\Delta y \tag{6.8}$$

La ecuación (6.8) es una relación aproximada entre los cambios porcentuales del precio de un bono y los cambios de su rendimiento. Esta ecuación es fácil de usar y es la razón por la que la duración, sugerida por Macaulay en 1938, se ha vuelto una medida tan popular.

Considere un bono con un cupón de 10% a tres años y un valor nominal de \$100. Suponga que el rendimiento sobre el bono es de 12% anual con una composición continua. Esto significa que $y = 0.12$. Los pagos del cupón, de \$5, se realizan cada seis meses. La tabla 6.3 muestra los cálculos

Tabla 6.3 Cálculo de la duración

Tiempo (años)	*Flujo de efectivo (dólares)*	*Valor presente*	*Ponderación*	*Tiempo × Ponderación*
0.5	5	4.709	0.050	0.025
1.0	5	4.435	0.047	0.047
1.5	5	4.176	0.044	0.066
2.0	5	3.933	0.042	0.083
2.5	5	3.704	0.039	0.098
3.0	105	73.256	0.778	2.333
Total	130	94.213	1.000	2.653

Ejemplo 6.5 Prueba de la relación de la duración

En el caso del bono presentado en la tabla 6.3, el precio del bono, B, es 94.213 y la duración, D, es 2.653, por lo que la ecuación (6.7) nos da

$$\Delta B = -94.213 \times 2.653 \Delta y = -249.95 \Delta y$$

Cuando el rendimiento sobre el bono aumenta 10 puntos base (= 0.1%), $\Delta y = +0.001$. La relación de la duración predice que $\Delta B = -249.95 \times 0.001 = -0.250$, de tal manera que el precio del bono baja a $94.213 - 0.250 = 93.963$. ¿Qué tan exacto es esto? Cuando el rendimiento del bono aumenta 10 puntos base a 12.1%, el precio del bono es

$$5e^{-0.121\times 0.5} + 5e^{-0.121\times 1.0} + 5e^{-0.121\times 1.5} + 5e^{-0.121\times 2.0} + 5e^{-0.121\times 2.5} + 105e^{-0.121\times 3.0} = 93.963$$

el cual es (hasta tres cifras decimales) igual al que se predijo por medio de la relación de la duración.

necesarios para determinar la duración del bono. Los valores presentes de los flujos de efectivo del bono, usando el rendimiento como la tasa de descuento, se muestran en la columna 3. (Por ejemplo, el valor presente del primer flujo de efectivo es de $5e^{-0.12 \times 0.5} = 4.709$). La suma de las cifras de la columna 3 proporciona el precio del bono que es de 94.213. Las ponderaciones se calculan dividiendo las cifras de la columna 3 entre 94.213. La suma de las cifras de la columna 5 da como resultado una duración de 2.653 años. El ejemplo 6.5 prueba la exactitud de la relación de la duración con la ecuación (6.7).

Los pequeños cambios en las tasas de interés se miden frecuentemente en *puntos base*. Como se mencionó anteriormente, un punto base es igual a 0.01% anual.

Duración modificada

El análisis anterior se basa en el supuesto de que y se expresa con una composición continua. Si y se expresa con una composición anual, es posible mostrar que la relación aproximada en la ecuación (6.7) se convierte en

$$\Delta B = -\frac{BD\,\Delta y}{1+y}$$

En un sentido más amplio, si y se expresa con una frecuencia de composición de m veces al año, entonces

$$\Delta B = -\frac{BD\,\Delta y}{1+y/m}$$

Una variable D^*, definida por medio de

$$D^* = \frac{D}{1+y/m}$$

se conoce en ocasiones como la *duración modificada* del bono y permite que la relación de la duración se simplifique a

$$\Delta B = -BD^*\Delta y \tag{6.9}$$

Ejemplo 6.6 Prueba de la relación de la duración modificada

El bono de la tabla 6.3 tiene un precio de 94.213 y una duración de 2.653. El rendimiento, expresado con una composición semestral, es de 12.3673%. La duración modificada, D^*, se obtiene por medio de

$$D^* = \frac{2.653}{1 + 0.123673/2} = 2.499$$

Con base en la ecuación (6.9), tenemos

$$\Delta B = -94.213 \times 2.4985 \Delta y = -235.39 \Delta y$$

Cuando el rendimiento (compuesto semestralmente) aumenta en 10 puntos base (= 0.1%), $\Delta y = +0.001$. La relación de la duración predice que esperamos que ΔB sea de $-235.39 \times 0.001 = -0.235$, de tal manera que el precio del bono baje a $94.213 - 0.235 = 93.978$. ¿Qué tan exacto es esto? Cuando el rendimiento del bono (compuesto semestralmente) aumenta 10 puntos base a 12.4673% (o a 12.0941% con una composición continua), un cálculo exacto similar al del ejemplo anterior muestra que el precio del bono cambia a 93.978. Esto muestra que el cálculo de la duración modificada proporciona una buena exactitud.

cuando y se expresa con una frecuencia de composición de m veces al año. El ejemplo 6.6 investiga la exactitud de la relación de la duración modificada.

Otro término que se usa en ocasiones es la *duración en dólares*. Ésta es el producto de la duración modificada y el precio del bono, de tal manera que $\Delta B = -D^{**}\Delta y$, donde D^{**} es la duración en dólares.

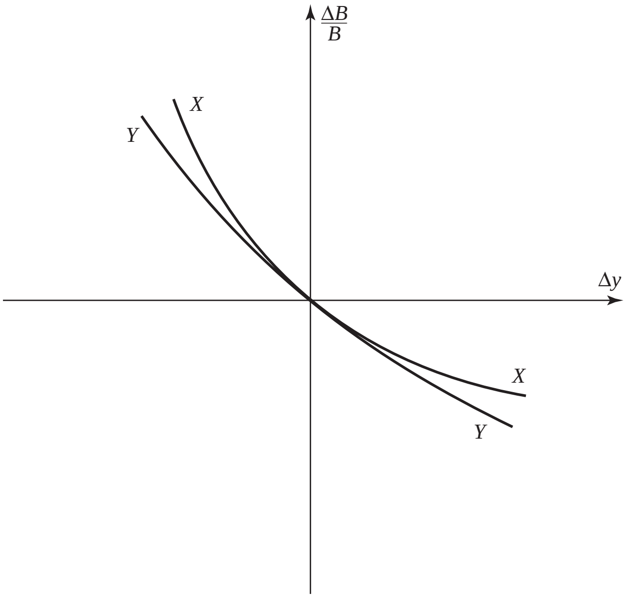
Carteras de bonos

La duración, D, de una cartera de bonos se define como un promedio ponderado de las duraciones de los bonos individuales incluidos en la cartera, siendo las ponderaciones proporcionales a los precios de los bonos. Entonces, se emplean las ecuaciones (6.7) a (6.9), donde B se define como el valor de la cartera de bonos. Estas ecuaciones calculan el cambio en el valor de la cartera de bonos cuando hay un cambio específico Δy en los rendimientos de todos los bonos.

Es importante darse cuenta de que, cuando la duración se usa para carteras de bonos, hay un supuesto implícito de que los rendimientos de todos los bonos cambiarán en el mismo monto. Cuando los bonos tienen vencimientos muy diferentes, esto ocurre únicamente cuando hay un desplazamiento paralelo de la curva de rendimiento. Por lo tanto, debemos interpretar las ecuaciones (6.7) a (6.9) como ecuaciones que proporcionan estimaciones del impacto de un desplazamiento paralelo, Δy, de la curva de rendimiento en el precio de una cartera de bonos.

La relación de la duración se aplica sólo a pequeños cambios en los rendimientos. Esto se ilustra en la figura 6.1, que muestra la relación entre el cambio porcentual en el valor y el cambio en el rendimiento de dos carteras de bonos con la misma duración. Los gradientes de ambas curvas son iguales en el origen. Esto significa que ambas carteras de bonos cambian en valor en el mismo porcentaje cuando hay pequeños cambios de rendimiento y es congruente con la ecuación (6.8). Cuando hay grandes cambios de rendimiento, las carteras se comportan de manera diferente. La cartera X tiene una curvatura mayor en su relación con los rendimientos que la cartera Y. Un factor conocido como *convexidad* mide esta curvatura y se usa para mejorar la relación representada en la ecuación (6.8).

Figura 6.1 Dos carteras de bonos con la misma duración



Cobertura de carteras de activos y pasivos

Las instituciones financieras suelen tratar de cubrirse a sí mismas contra el riesgo de tasa de interés asegurándose de que la duración promedio de sus activos sea igual a la duración promedio de sus pasivos. (Los pasivos son considerados como posiciones cortas en bonos). Esta estrategia se conoce como *calce de duraciones* o *inmunización de cartera*. Cuando se implementa, asegura que un pequeño desplazamiento paralelo en las tasas de interés tenga poco efecto sobre el valor de la cartera de activos y pasivos. La ganancia (pérdida) sobre los activos debe compensar la pérdida (ganancia) sobre los pasivos.

El calce de duraciones no inmuniza una cartera contra desplazamientos no paralelos de la curva cero. Ésta es una debilidad de la estrategia. En la práctica, las tasas a corto plazo suelen ser más volátiles que las tasas a largo plazo y no se correlacionan perfectamente con ellas. En ocasiones, las tasas a corto y largo plazos se mueven incluso en sentidos opuestos entre sí. Por lo tanto, el calce de duraciones es sólo un primer paso; por este motivo, las instituciones financieras han desarrollado otras herramientas que las ayuden a administrar su exposición a las tasas de interés (vea Panorámica de negocios 6.3).

6.5 ESTRATEGIAS DE COBERTURA BASADAS EN LA DURACIÓN CON EL USO DE FUTUROS

Considere una situación en la que se cubre una posición en un activo dependiente de tasas de interés, como una cartera de bonos o un título del mercado de dinero, utilizando un contrato de futuros sobre tasas de interés.

Panorámica de negocios 6.3 Administración de activos y pasivos por bancos

En la década de 1960, las tasas de interés eran bajas y no muy volátiles. Muchos bancos aceptaban depósitos a corto plazo y realizaban préstamos a largo plazo. En la década de 1970, las tasas de interés aumentaron y algunos de estos bancos descubrieron que estaban financiando préstamos a largo plazo con intereses bajos, realizados en la década de 1960, con depósitos a corto plazo relativamente costosos. En consecuencia, hubo algunas quiebras bancarias espectaculares (vea Panorámica de negocios 4.3).

Actualmente, los comités de administración de activos y pasivos (ALM, por sus siglas en inglés) de bancos vigilan su exposición a las tasas de interés de manera muy cuidadosa. El calce de las duraciones de activos y pasivos es un primer paso, pero esto no protege a un banco contra los desplazamientos no paralelos de la curva de rendimiento. Una estrategia popular es la *administración de brechas*, que consiste en dividir la curva de rendimiento cupón cero en segmentos conocidos como *periodos*. El primero podría ser de 0 a 1 mes, el segundo de 1 a 3 meses, etc. Entonces, el comité ALM investiga el efecto que produce el cambio de las tasas cero correspondientes a un periodo, en tanto que las tasas correspondientes a todos los demás periodos permanecen iguales, sobre los valores tanto de activos como de pasivos.

Si hay una discordancia, se toman usualmente medidas correctivas. Por suerte, los bancos tienen hoy muchas más herramientas para administrar sus exposiciones a las tasas de interés que las que tenían en la década de 1960. Estas herramientas incluyen swaps, FRAs, futuros sobre bonos, futuros sobre eurodólares y otros derivados de tasas de interés.

Defina:

- F_C: precio del contrato de futuros sobre tasas de interés
- D_F: duración del activo subyacente al contrato de futuros al vencimiento de éste
- P: valor a plazo de la cartera que se cubre al vencimiento de la cobertura. En la práctica, generalmente se asume que este valor es igual al valor de la cartera actual.
- D_P: duración de la cartera al vencimiento de la cobertura.

Si asumimos que el cambio en el rendimiento, Δy, es igual para todos los vencimientos, lo que significa que únicamente pueden ocurrir desplazamientos paralelos de la curva de rendimiento, es aproximadamente cierto que

$$\Delta P = -PD_P \, \Delta y$$

También es aproximadamente cierto que

$$\Delta F_C = -F_C D_F \, \Delta y$$

Por lo tanto, el número de contratos requeridos para cubrir contra un Δy incierto se obtiene por medio de

$$N^* = \frac{PD_P}{F_C D_F} \tag{6.10}$$

Ésta es la *razón de cobertura basada en la duración*, que se denomina en ocasiones *razón de cobertura basada en la sensibilidad al precio*.[5] Su uso tiene el efecto de hacer que la duración de toda la posición sea igual a cero.

[5] Para conocer un análisis más detallado de la ecuación (6.10), vea R. Rendleman, "Duration-Based Hedging with Treasury Bond Futures", *Journal of Fixed Income*, 9, 1 (junio de 1999), pp. 84-91.

Cuando el instrumento de cobertura es un contrato de futuros sobre bonos del Tesoro, el coberturista debe basar D_F en el supuesto de que se entregará un bono específico. Esto significa que el coberturista debe determinar cuál de los bonos disponibles es probablemente el bono cheapest-to-deliver al momento de implementar la cobertura. Si el ambiente de tasas de interés cambia posteriormente y, al parecer, un bono diferente será el bono cheapest-to-deliver, la cobertura debe ajustarse y su desempeño puede ser peor de lo previsto.

Cuando se diseñan coberturas usando futuros sobre tasas de interés, es importante tomar en cuenta que las tasas de interés y los precios de futuros se mueven en sentidos opuestos. Cuando las tasas de interés suben, el precio de futuros sobre tasas de interés baja. Cuando las tasas de interés bajan, ocurre lo opuesto, es decir, el precio de futuros sobre tasas de interés sube. Por lo tanto, una empresa que está en una situación de perder dinero si las tasas de interés bajan debe cubrir tomando una posición de futuros larga. Del mismo modo, una empresa que está en una situación de perder dinero si las tasas de interés suben debe cubrir tomando una posición de futuros corta.

El coberturista trata de elegir el contrato de futuros de tal manera que la duración del activo subyacente sea lo más cercana posible a la duración del activo que se cubre. Los futuros sobre eurodólares se usan para exposiciones a tasas de interés a corto plazo, en tanto que los contratos de futuros sobre bonos y notas del Tesoro se utilizan para exposiciones a tasas de interés de mayor plazo.

Cobertura de una cartera de bonos

El ejemplo 6.7 considera una situación en la que un administrador de fondos tiene $10 millones invertidos en bonos del gobierno el 2 de agosto y está preocupado porque se espera que las tasas de interés se vuelvan muy volátiles durante los próximos tres meses. El administrador de fondos decide usar el contrato de futuros sobre bonos del Tesoro de diciembre para cubrir el valor de la cartera. El precio de futuros actual es de 93-02 o 93.0625. Como cada contrato está estipulado para la entrega de bonos con un valor nominal de $100,000, el precio del contrato de futuros es de $93,062.50.

Ejemplo 6.7 Cobertura de una cartera de bonos

Hoy es 2 de agosto. Un administrador de fondos responsable de una cartera de bonos con un valor de $10 millones está preocupado porque se espera que las tasas de interés se vuelvan muy volátiles durante los tres meses siguientes. El administrador de fondos decide usar futuros sobre bonos del Tesoro para cubrir el valor de la cartera de bonos. El precio cotizado del contrato de futuros sobre bonos del Tesoro es de 93-02. Esto significa que el precio del contrato es de $93,062.50. La estrategia a seguir es:

1. Vender en corto 79 contratos de futuros sobre bonos del Tesoro de diciembre el 2 de agosto.
2. Cerrar la posición el 2 de noviembre.

Suponga que durante el periodo del 2 de agosto al 2 de noviembre las tasas de interés disminuyen rápidamente y que el valor de la cartera de bonos aumenta de $10 millones a $10,450,000. El 2 de noviembre el precio de futuros sobre bonos del Tesoro es de 98-16. (Esto corresponde a un contrato con un precio de $98,500.00). Por lo tanto, se genera una pérdida de

$$79 \times (\$98{,}500.00 - \$93{,}062.50) = \$429{,}562.50$$

sobre los contratos de futuros sobre bonos del Tesoro. El valor de la posición del administrador de la cartera cambia sólo en

$$\$450{,}000.00 - \$429{,}562.50 = \$20{,}437.50.$$

La duración de la cartera de bonos en tres meses es de 6.8 años. Se espera que el bono cheapest-to-deliver en el contrato sobre bonos del Tesoro sea un bono con un cupón de 12% anual a 20 años. El rendimiento sobre este bono es actualmente de 8.8% anual y la duración será de 9.2 años al vencimiento del contrato de futuros.

El administrador de fondos requiere una posición corta en el contrato de futuros sobre bonos del Tesoro para cubrir la cartera de bonos. Si las tasas de interés suben, se obtendrá una ganancia sobre la posición de futuros corta y se generará una pérdida sobre la cartera de bonos. Si las tasas de interés disminuyen, se generará una pérdida sobre la posición corta, pero habrá una ganancia sobre la cartera de bonos. El número de contratos de futuros sobre bonos que deben venderse en corto se calcula con la ecuación (6.10) de la siguiente manera

$$\frac{10{,}000{,}000 \times 6.80}{93{,}062.50 \times 9.20} = 79.42$$

Si redondeamos esta cifra al número entero más cercano, el administrador de la cartera debe vender en corto 79 contratos.

Suponga que durante el periodo del 2 de agosto al 2 de noviembre las tasas de interés disminuyen rápidamente y que el valor de la cartera de bonos aumenta de $10 millones a $10,450,000. Además, suponga que el 2 de noviembre el precio de futuros sobre bonos del Tesoro es de 98-16. Esto corresponde a un contrato con un precio de $98,500.00. La pérdida total sobre los contratos de futuros sobre bonos del Tesoro es

$$79 \times (\$98{,}500.00 - \$93{,}062.50) = \$429{,}562.50$$

Por lo tanto, el cambio neto en el valor de la posición del administrador de la cartera es únicamente

$$\$450{,}000.00 - \$429{,}562.50 = \$20{,}437.50$$

Debido a que el fondo incurre en una pérdida sobre la posición de futuros, el administrador puede lamentar la implementación de la cobertura. En promedio, podemos esperar que la mitad de nuestras coberturas den lugar al arrepentimiento. Por desgracia, ¡no sabemos cuál de la mitad de las coberturas lo ocasionará!

Cobertura de un préstamo de tasa variable

Los futuros sobre tasas de interés pueden usarse para cubrir la tasa de interés que paga una corporación grande sobre un préstamo de tasa variable. Los futuros sobre eurodólares son ideales para esto porque la tasa de interés sobre eurodólares se relaciona estrechamente con la tasa de interés de endeudamiento de las grandes corporaciones.

El ejemplo 6.8 considera a una empresa que, en abril, adquiere en préstamo $15 millones durante tres meses. La tasa de interés para cada uno de los tres periodos de un mes será la tasa LIBOR a un mes más 1%. Al momento de negociar el préstamo, la tasa LIBOR a un mes es de 8% anual, por lo que la empresa debe pagar 9% anual por el primer mes. Debido a que la tasa LIBOR a un mes se cotiza con una composición mensual, el interés para el primer mes es 0.75% de $15 millones, o $112,500. Esto se conoce con certeza al momento de negociar el préstamo, por lo que no requiere ser cubierto.

El interés pagado al final del segundo mes se determina por medio de la tasa LIBOR a un mes al inicio del segundo mes. Este interés puede cubrirse tomando una posición en el contrato de futuros sobre eurodólares de junio. Suponga que el precio cotizado de este contrato es de 91.88. Si consideramos la sección 6.4, el precio del contrato es

$$10{,}000 \times [100 - 0.25(100 - 91.88)] = \$979{,}700$$

Ejemplo 6.8 Cobertura de un préstamo de tasa variable

Hoy es 29 de abril. Una empresa acaba de adquirir en préstamo \$15 millones durante tres meses a una tasa de interés igual a la tasa LIBOR a un mes más 1% y le gustaría cubrir su riesgo. Se obtuvieron las siguientes cotizaciones:

1. La tasa LIBOR a un mes es de 8%.
2. El precio de futuros sobre eurodólares de junio es de 91.88.
3. El precio de futuros sobre eurodólares de septiembre es de 91.44.

La empresa decide realizar las acciones siguientes:

1. Vender en corto cinco contratos de junio y cinco contratos de septiembre.
2. Cerrar los contratos de junio el 29 de mayo.
3. Cerrar los contratos de septiembre el 29 de junio.

El 29 de mayo la tasa LIBOR a un mes resulta ser de 8.8% y el precio de futuros de junio es de 91.12. La empresa gana $5 \times (\$979{,}700 - \$977{,}800) = \$9{,}500$ sobre los cinco contratos de junio. Esto proporciona la compensación para el pago adicional de intereses de \$10,000 que se requiere en el segundo mes debido al incremento de la tasa LIBOR de 8% a 8.8%.

El 29 de junio la tasa LIBOR a un mes resulta ser de 9.4% y el precio de futuros de septiembre es de 90.16. La empresa gana \$16,000 sobre los cinco contratos de septiembre. Esto proporciona la compensación para los costos adicionales de intereses de \$17,500.

La empresa perderá dinero si las tasas de interés suben, y lo ganará si las tasas de interés bajan. Por lo tanto, requiere una posición corta en los contratos de futuros. La duración del activo subyacente al contrato de futuros al vencimiento del contrato es de tres meses o 0.25 años. La duración del pasivo que se cubre es de un mes, o 0.08333 años. Con base en la ecuación (6.10), el número de contratos que deben usarse para cubrir el pago de intereses en el segundo mes es

$$\frac{15{,}000{,}000 \times 0.08333}{979{,}700 \times 0.25} = 5.10$$

Si redondeamos al número entero más cercano, se requieren cinco contratos.

Para el tercer mes puede utilizarse el contrato de futuros sobre eurodólares de septiembre. Suponga que el precio cotizado de este contrato es de 91.44, que corresponde a un precio de futuros de \$978,600. El número de contratos de futuros que se deben vender en corto se calcula como antes:

$$\frac{15{,}000{,}000 \times 0.08333}{978{,}600 \times 0.25} = 5.11$$

De nuevo, encontramos que, al redondear al número entero más cercano, se requieren cinco contratos. Por lo tanto, deben venderse en corto cinco de los contratos de junio para cubrir la tasa LIBOR aplicable al segundo mes y deben venderse en corto cinco de los contratos de septiembre para cubrir la tasa LIBOR aplicable al tercer mes. Los contratos de junio se cierran el 29 de mayo y los contratos de septiembre se cierran el 29 de junio.

Suponga que el 29 de mayo la tasa LIBOR a un mes es de 8.8% y que el precio de futuros de junio es de 91.12. Éste último corresponde a un contrato con un precio de \$977,800, de tal manera que la empresa obtiene una utilidad de

$$5 \times (\$979{,}700 - \$977{,}800) = \$9{,}500$$

sobre los contratos de junio. Esto proporcionó la compensación para los intereses adicionales de \$10,000 (un doceavo de 0.8% de \$15 millones) que se debían pagar al final del segundo mes como resultado del incremento de la tasa LIBOR de 8% a 8.8%.

Además, suponga que el 29 de junio la tasa LIBOR a un mes es de 9.4% y que el precio de futuros de septiembre es de 90.16. Un cálculo similar al que acabamos de presentar muestra que la empresa gana \$16,000 sobre la posición de futuros corta, pero incurre en costos de intereses adicionales de \$17,500 como resultado del incremento de la tasa LIBOR a un mes de 8% anual a 9.4% anual.

RESUMEN

Dos contratos sobre tasas de interés muy populares son los contratos de futuros sobre bonos del Tesoro y sobre eurodólares que se negocian en Estados Unidos de América. En los contratos de futuros sobre bonos del tesoro, la parte con la posición corta tiene varias opciones de entrega interesantes:

1. La entrega puede realizarse cualquier día durante el mes de entrega.
2. Hay varios bonos alternativos que pueden entregarse.
3. En cualquier día durante el mes de entrega, el aviso de intención de entrega al precio de liquidación de las 2:00 PM puede realizarse a cualquier hora hasta las 8:00 PM.

Estas opciones reducen el precio de futuros.

El contrato de futuros sobre eurodólares es un contrato sobre la tasa a tres meses que comienza al tercer miércoles del mes de entrega. Los futuros sobre eurodólares se usan frecuentemente para calcular las tasas a plazo LIBOR con el propósito de crear una curva cero LIBOR. Cuando se usan contratos con vencimientos largos de esta manera, es importante realizar lo que se denomina ajuste por convexidad para permitir el ajuste al mercado del contrato de futuros.

El concepto de duración es importante en la cobertura del riesgo de tasa de interés. La duración mide cuánto tiene que esperar en promedio un inversionista antes de recibir pagos. Esta medida es un promedio ponderado de los tiempos en que se recibieron los pagos, siendo la ponderación de un tiempo de pago específico proporcional al valor presente del pago.

Un resultado clave subyacente a la estrategia de cobertura basada en la duración descrita en este capítulo es

$$\Delta B = -BD\,\Delta y$$

donde B es el precio de un bono, D es su duración, Δy es un pequeño cambio en su rendimiento (continuamente compuesto) y ΔB es el pequeño cambio correspondiente de B. La ecuación permite a un coberturista evaluar la sensibilidad del precio de un bono a pequeños cambios en su rendimiento. Además le permite evaluar la sensibilidad de un precio de futuros sobre tasas de interés a pequeños cambios en el rendimiento del instrumento subyacente. Si el coberturista está dispuesto a asumir que Dy es igual para todos los bonos, el resultado le permite calcular el número de contratos de futuros necesarios para proteger un bono o una cartera de bonos contra pequeños cambios en las tasas de interés.

El supuesto clave que subyace a la estrategia de cobertura basada en la duración es que todas las tasas de interés cambian en el mismo monto. Esto significa que únicamente se permiten desplazamientos paralelos de la estructura temporal. En la práctica, las tasas de interés a corto plazo son generalmente más volátiles que las tasas de interés a largo plazo y es probable que la cobertura tenga un desempeño pobre si la duración del bono subyacente al contrato de futuros difiere notablemente de la duración del activo que se cubre.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Burghardt, G. y W. Hoskins. "The Convexity Bias in Eurodollar Futures", *Risk*, 8, 3 (1995), pp. 63-70.

Duffie, D. "Debt Management and Interest Rate Risk" en W. Beaver y G. Parker (editores), *Risk Management: Challenges and Solutions*. Nueva York, McGraw-Hill, 1994.

Fabozzi, F.J. *Duration, Convexity, and Other Bond Risk Measures*, Frank J. Fabozzi Assoc., 1999.

Grinblatt, M. y N. Jegadeesh. "The Relative Price of Eurodollar Futures and Forward Contracts", *Journal of Finance*, 51, 4 (septiembre de 1996), pp. 1499-1522.

Examen (respuestas al final del libro)

6.1. Un bono del Tesoro de Estados Unidos de América paga un cupón de 7% el 7 de enero y el 7 de julio. ¿Cuánto interés se acumula por $100 de principal para el tenedor del bono entre el 7 de julio de 2008 y el 9 de agosto de 2008? ¿Cómo diferiría su respuesta si fuera un bono corporativo?

6.2. Hoy es 9 de enero de 2009. El precio de un bono del Tesoro con un cupón de 12%, que vence el 12 de octubre de 2020, se cotiza como 102-07. ¿Cuál es su precio en efectivo?

6.3. ¿Cómo calcula la Bolsa de Comercio de Chicago el factor de conversión de un bono? ¿De qué manera se usa este factor de conversión?

6.4. El precio de un contrato de futuros sobre eurodólares cambia de 96.76 a 96.82. ¿Cuál es la ganancia o la pérdida para un inversionista que tiene una posición larga en dos contratos?

6.5. ¿Cuál es el propósito del ajuste por convexidad que se realiza a las tasas de futuros sobre eurodólares? ¿Por qué es necesario el ajuste por convexidad?

6.6. ¿Qué le indica la duración sobre la sensibilidad de una cartera de bonos a las tasas de interés? ¿Cuáles son las limitaciones de la medida de duración?

6.7. Hoy es 30 de enero. Usted administra una cartera de bonos con un valor de 6 millones de dólares. La duración de la cartera en seis meses será de 8.2 años. Actualmente, el precio del contrato de futuros sobre bonos del Tesoro de septiembre es de 108-15 y el bono cheapest-to-deliver tendrá una duración de 7.6 años en septiembre. ¿Cómo debe cubrir contra los cambios en las tasas de interés durante los próximos seis meses?

Preguntas y problemas

6.8. El precio de una letra del Tesoro a 90 días se cotiza en 10.00. ¿Qué rendimiento compuesto continuamente, con base en una convención real/365, gana un inversionista sobre la letra del Tesoro para el periodo de 90 días?

6.9. Hoy es 5 de mayo de 2007. El precio cotizado de un bono del gobierno con un cupón de 12%, que vence el 27 de julio de 2011, es de 110-17. ¿Cuál es su precio en efectivo?

6.10. Suponga que el precio de futuros sobre bonos del Tesoro es de 101-12. ¿Cuál de los siguientes cuatro bonos es el bono cheapest-to-deliver?

Bono	*Precio*	*Factor de conversión*
1	125-05	1.2131
2	142-15	1.3792
3	115-31	1.1149
4	144-02	1.4026

6.11. Hoy es 30 de julio de 2009. El bono cheapest-to-deliver en un contrato de futuros sobre bonos del Tesoro de septiembre de 2009 es un bono con un cupón de 13% y cuya entrega se espera para el 30 de septiembre de 2009. Los pagos del cupón sobre el bono se realizan el 4 de febrero y el 4 de agosto de cada año. La estructura temporal es plana y la tasa de interés con una composición semestral es de 12% anual. El factor de conversión del bono es de 1.5. El precio actual cotizado del bono es de $110. Calcule el precio de futuros cotizado del contrato.

6.12. Un inversionista busca oportunidades de arbitraje en el mercado de futuros sobre bonos del Tesoro. ¿Qué complicaciones se crean por el hecho de que la parte con una posición corta puede decidir entregar cualquier bono con un vencimiento mayor de 15 años?

6.13. Suponga que la tasa de interés LIBOR a nueve meses es de 8% anual y que la tasa de interés LIBOR a seis meses es de 7.5% anual (ambas con una convención real/365 y una composición continua). Calcule la cotización del precio de futuros sobre eurodólares a tres meses para un contrato que vence dentro de seis meses.

6.14. Un bono a cinco años con un rendimiento de 11% (compuesto continuamente) paga un cupón de 8% al término de cada año.

a. ¿Cuál es el precio del bono?

b. ¿Cuál es la duración del bono?

c. Use la duración para calcular el efecto en el precio del bono de una disminución de 0.2% en su rendimiento.

d. Calcule nuevamente el precio del bono con base en un rendimiento anual de 10.8% y verifique que el resultado esté de acuerdo con su respuesta al inciso (c).

6.15. Suponga que una cartera de bonos con una duración de 12 años se cubre utilizando un contrato de futuros en el que el activo subyacente tiene una duración de cuatro años. ¿Cuál es el posible efecto en la cobertura si la tasa a 12 años es menos volátil que la tasa a cuatro años?

6.16. Suponga que es 20 de febrero y que un tesorero se da cuenta de que el 17 de julio la empresa deberá emitir $5 millones de papel comercial con un vencimiento de 180 días. Si el papel comercial se emitiera hoy, la empresa obtendría $4,820,000. (En otras palabras, la empresa recibiría $4,820,000 por su papel y tendría que rescatarlo por $5 millones en un tiempo de 180 días). El precio de futuros sobre eurodólares de septiembre se cotiza en 92.00. ¿Cómo debe cubrir el tesorero la exposición de la empresa?

6.17. El 1 de agosto un administrador de carteras tiene una cartera de bonos con un valor de $10 millones. La duración de la cartera en octubre será de 7.1 años. Actualmente, el precio de futuros sobre bonos del Tesoro de diciembre es de 91-12 y el bono cheapest-to-deliver tendrá una duración de 8.8 años al vencimiento. ¿Cómo debe inmunizar la cartera el administrador contra los cambios en las tasas de interés durante los dos meses siguientes?

6.18. ¿Cómo puede el administrador de carteras cambiar la duración de la cartera a 3.0 años en el problema 6.17?

6.19. Entre el 30 de octubre de 2009 y el 1 de noviembre de 2009 usted puede elegir entre un bono del gobierno estadounidense, que paga un cupón de 12% y un bono corporativo que paga un cupón de 12%. Considere detalladamente las convenciones del cálculo de días que se analizaron en este capítulo y decida, siempre que todo lo demás permanezca sin cambios, cuál de los dos bonos preferiría poseer.

6.20. Suponga que una cotización de futuros sobre eurodólares es de 88 para un contrato que vence en 60 días. ¿Cuál es la tasa a plazo LIBOR para el periodo de 60 a 150 días? Ignore la diferencia entre los contratos de futuros y a plazo al responder esta pregunta.

6.21. El precio de futuros sobre eurodólares a tres meses para un contrato que vence en seis años se cotiza en 95.20. La desviación estándar del cambio en la tasa de interés a corto plazo en un año es de 1.1%. Calcule la tasa de interés a plazo LIBOR para un periodo entre 6.00 y 6.25 años en el futuro.

6.22. Explique por qué la tasa de interés a plazo es menor que la tasa de interés de futuros correspondiente calculada a partir de un contrato de futuros sobre eurodólares.

Preguntas de tarea

6.23. Asuma que un banco puede adquirir en préstamo o prestar dinero a la misma tasa de interés que en el mercado LIBOR. La tasa a 90 días es de 10% anual y la tasa a 180 días es de 10.2% anual, ambas expresadas con una composición continua y un cálculo de días real/real. El precio de futuros sobre eurodólares para un contrato que vence en 90 días se cotiza en 89.5. ¿Qué oportunidades de arbitraje están abiertas para el banco?

6.24. Una empresa canadiense desea crear un contrato de futuros LIBOR canadiense con base en un contrato de futuros sobre eurodólares estadounidense y contratos a plazo sobre divisas. Explique, con un ejemplo, cómo debe proceder la empresa. Para resolver este problema, asuma que un contrato de futuros es igual a un contrato a plazo.

6.25. La cartera A consiste en un bono cupón cero a un año con un valor nominal de $2,000 y un bono cupón cero a 10 años con un valor nominal de $6,000. La cartera B está integrada por un bono cupón cero a 5.95 años con un valor nominal de $5,000. El rendimiento actual sobre todos los bonos es de 10% anual.

a. Demuestre que ambas carteras tienen la misma duración.
b. Demuestre que son iguales los cambios porcentuales en los valores de ambas carteras para un incremento de 0.1% anual de los rendimientos.
c. ¿Cuáles son los cambios porcentuales en los valores de ambas carteras para un incremento de 5% anual de los rendimientos?

6.26. Hoy es 25 de junio de 2007. El precio de futuros del contrato de futuros sobre bonos de junio de 2007 que se negocia en la CBOT es de 118-23.

a. Calcule el factor de conversión de un bono que vence el 1 de enero de 2023 y que paga un cupón de 10%.
b. Calcule el factor de conversión de un bono que vence el 1 de octubre de 2028 y que paga un cupón de 7%.
c. Suponga que los precios cotizados de los bonos de los incisos (a) y (b) son 169.00 y 136.00, respectivamente. ¿Cuál de los bonos es el bono cheapest-to-deliver?
d. Si asumimos que el bono cheapest-to-deliver se entrega realmente, ¿cuál es el precio en efectivo que se recibe por el bono?

6.27. Un administrador de carteras planea usar un contrato de futuros sobre bonos del Tesoro para cubrir una cartera de bonos durante los tres meses siguientes. La cartera tiene un valor de $100 millones y tendrá una duración de 4.0 años en tres meses. El precio de futuros es de 122 y cada contrato de futuros se estipula sobre $100,000 de bonos. El bono que se espera sea el bono cheapest-to-deliver tendrá una duración de 9.0 años al vencimiento del contrato de futuros. ¿Qué posición se requiere en los contratos de futuros?

a. ¿Qué ajustes requiere la cobertura si después de un mes el bono que se espera sea el bono cheapest-to-deliver cambia a un bono con una duración de siete años?

b. Suponga que todas las tasas aumentan durante los tres meses, pero que las tasas a largo plazo aumentan menos que las tasas a corto y mediano plazos. ¿Qué efecto tiene esto en el desempeño de la cobertura?

CAPÍTULO 7

Swaps

Los primeros contratos de swaps se negociaron a principios de la década de 1980. Desde entonces, el mercado ha experimentado un enorme crecimiento. En la actualidad, los swaps ocupan una posición muy importante en el mercado de derivados OTC (over-the-counter).

Un swap es un acuerdo entre dos empresas para intercambiar flujos de efectivo en el futuro. El acuerdo define las fechas de pago de los flujos de efectivo y cómo deben calcularse. Por lo general, el cálculo de los flujos de efectivo implica el valor futuro de una tasa de interés, un tipo de cambio u otra variable de mercado.

Podemos considerar que un contrato a plazo es un ejemplo sencillo de swap. Suponga que hoy es 1 de marzo de 2008 y que una empresa participa en un contrato a plazo para comprar 100 onzas de oro a $600 por onza dentro de un año. La empresa puede vender el oro en un año, tan pronto como lo reciba. Por lo tanto, el contrato a plazo equivale a un swap en cuanto a que la empresa acuerda que el 1 de marzo de 2009 pagará $60,000 y recibirá 100$S$, donde S es el precio de mercado de una onza de oro en esa fecha.

En tanto que un contrato a plazo equivale al intercambio de flujos de efectivo únicamente en una fecha futura, por lo común los swaps dan lugar a intercambios de flujo de efectivo que ocurren en varias fechas futuras. En este capítulo examinamos de qué manera se diseñan los swaps, en qué forma se utilizan y cómo se valúan. Nuestro análisis se centra en dos swaps populares: swaps plain vanilla de tasas de interés y swaps de divisas fijo por fijo. En el capítulo 20 se analizan otros tipos de swaps.

7.1 MECÁNICA DE LOS SWAPS DE TASAS DE INTERÉS

El tipo más común de swap es un swap “plain vanilla” de tasas de interés. En este swap, una empresa acuerda pagar flujos de efectivo iguales a una tasa de interés fija predeterminada sobre un principal nocional (o ficticio) durante cierto número de años. A cambio, recibe intereses a una tasa variable sobre el mismo principal nocional durante el mismo periodo.

LIBOR

La tasa variable en la mayoría de los acuerdos de swaps de tasas de interés es la Tasa Interbancaria de Oferta del Mercado de Londres (LIBOR), que ya presentamos en el capítulo 4. Ésta es la tasa de interés a la que un banco está dispuesto a depositar dinero en otros bancos en el mercado de eurodivisas. La tasa LIBOR a uno, tres, seis y 12 meses se cotiza comúnmente en todas las divisas importantes.

Al igual que la tasa preferencial es la tasa de interés de referencia para los préstamos de tasa variable en el mercado financiero doméstico, la tasa LIBOR es una tasa de interés de referencia para préstamos en los mercados financieros internacionales. Para entender cómo se usa, considere un bono a cinco años con una tasa de interés definida como la tasa LIBOR a seis meses, más 0.5% anual. La vida del bono se divide en 10 periodos, cada uno de seis meses de duración. Para cada periodo, la tasa de interés se establece en 0.5% anual por arriba de la tasa LIBOR a seis meses al inicio del periodo. Los intereses se pagan al final del periodo.

Ejemplo

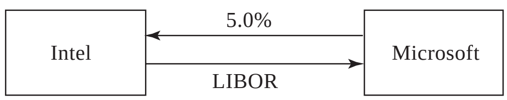
Considere un swap hipotético a tres años que inició el 5 de marzo de 2007 entre Microsoft e Intel. Supongamos que Microsoft acuerda pagar a Intel una tasa de interés de 5% anual sobre un principal de $100 millones y, a cambio, Intel acuerda pagar a Microsoft la tasa LIBOR a seis meses sobre el mismo principal. Asumimos que el acuerdo especifica que los pagos se intercambiarán cada seis meses y que la tasa de interés de 5% se cotiza con una composición semestral. La figura 7.1 presenta un diagrama de este swap.

El primer intercambio de pagos ocurriría el 5 de septiembre de 2007, seis meses después del inicio del acuerdo. Microsoft pagaría a Intel $2.5 millones. Éste es el interés sobre el principal de $100 millones durante seis meses a 5%. Intel pagaría a Microsoft intereses sobre el principal de $100 millones a la tasa LIBOR a seis meses vigente seis meses antes del 5 de septiembre de 2007, es decir, el 5 de marzo de 2007. Suponga que, en esta fecha, la tasa LIBOR a seis meses es de 4.2%. Intel paga a Microsoft $0.5 \times 0.042 \times \$100 = \$2.1$ millones.[1] Observe que no hay incertidumbre con este primer intercambio de pagos porque se determina por medio de la tasa LIBOR al momento de iniciar el contrato.

El segundo intercambio de pagos ocurriría el 5 de marzo de 2008, un año después del inicio del acuerdo. Microsoft pagaría $2.5 millones a Intel y esta empresa pagaría a Microsoft intereses sobre el principal de $100 millones a la tasa LIBOR a seis meses vigente seis meses antes del 5 de marzo de 2008, es decir, el 5 de septiembre de 2007. Suponga que en esta fecha la tasa LIBOR a seis meses es de 4.8%. Intel paga $0.5 \times 0.048 \times \$100 = \$2.4$ millones a Microsoft.

En total, hay seis intercambios de pago en el swap. Los pagos fijos son siempre de $2.5 millones. Los pagos a tasa variable en una fecha de pago se calculan usando la tasa LIBOR a seis meses, vigente seis meses antes de la fecha de pago. En general, un swap de tasas de interés se estructura de modo que una parte remita a la otra la diferencia entre los dos pagos. En nuestro ejem-

Figura 7.1 Swap de tasas de interés entre Microsoft e Intel



[1] Aquí se simplifican los cálculos en cuanto a que ignoran las convenciones del cálculo de días. Este punto se analiza con mayor detalle más adelante en este capítulo.

Tabla 7.1 Flujos de efectivo (millones de dólares) para Microsoft en un swap de tasas de interés a tres años sobre $100 millones cuando se paga una tasa fija de 5% y se recibe una tasa LIBOR

Fecha	*Tasa LIBOR a seis meses (%)*	*Flujo de efectivo variable recibido*	*Flujo de efectivo fijo pagado*	*Flujo de efectivo neto*
5 de marzo, 2007	4.20			
5 de sept. 2007	4.80	+2.10	−2.50	−0.40
5 de marzo, 2008	5.30	+2.40	−2.50	−0.10
5 de sept. 2008	5.50	+2.65	−2.50	+0.15
5 de marzo, 2009	5.60	+2.75	−2.50	+0.25
5 de sept. 2009	5.90	+2.80	−2.50	+0.30
5 de marzo, 2010		+2.95	−2.50	+0.45

plo, Microsoft pagaría a Intel $0.4 millones (= $2.5 millones − $2.1 millones) el 5 de septiembre de 2007 y $0.1 millones (= $2.5 millones − $2.4 millones) el 5 de marzo de 2008.

La tabla 7.1 presenta un ejemplo completo de los pagos realizados bajo el swap para una serie específica de tasas LIBOR a seis meses. La tabla muestra los flujos de efectivo del swap desde la perspectiva de Microsoft. Observe que el principal de $100 millones se usa únicamente para realizar el cálculo de los pagos de intereses. El principal mismo no se intercambia. Por esta razón, generalmente se le denomina *principal nocional*, o sólo *nocional*.

Si el principal se intercambiara al final de la vida del swap, la naturaleza del acuerdo no cambiaría en modo alguno. El principal es el mismo tanto para los pagos fijos como para los variables. El intercambio de $100 millones por $100 millones al final de la vida del swap es una transacción que no tendría ningún valor financiero para Microsoft o Intel. La tabla 7.2 muestra los flujos de efectivo de la tabla 7.1, agregando un intercambio final del principal. Esto proporciona una manera interesante de considerar el swap. Los flujos de efectivo de la tercera columna de esta tabla son los flujos de efectivo de una posición larga en un bono de tasa variable. Los flujos de efectivo de la cuarta columna de la tabla son los flujos de efectivo de una posición corta en un bono de tasa fija. La tabla muestra que el swap puede considerarse como el intercambio de un bono de tasa fija por un bono de tasa variable. Microsoft, cuya posición se describe en la tabla 7.2, tiene una posición

Tabla 7.2 Flujos de efectivo (millones de dólares) de la tabla 7.1 cuando hay un intercambio final del principal

Fecha	*Tasa LIBOR a seis meses (%)*	*Flujo de efectivo variable recibido*	*Flujo de efectivo fijo pagado*	*Flujo de efectivo neto*
5 de marzo, 2007	4.20			
5 de sept. 2007	4.80	+2.10	−2.50	−0.40
5 de marzo, 2008	5.30	+2.40	−2.50	−0.10
5 de sept. 2008	5.50	+2.65	−2.50	+0.15
5 de marzo, 2009	5.60	+2.75	−2.50	+0.25
5 de sept. 2009	5.90	+2.80	−2.50	+0.30
5 de marzo, 2010		+102.95	−102.50	+0.45

Ejemplo 7.1 Versatilidad de los swaps

Los swaps han tenido tanto éxito porque se usan en diversas formas. El swap de la figura 7.1 se puede usar para transformar la naturaleza de pasivos o activos.

Transformación de pasivos
La figura 7.2 muestra que Microsoft puede usar el swap para cambiar sus pasivos de una tasa variable a una tasa fija y que Intel puede hacer lo contrario:

	Microsoft	*Intel*
Pago del préstamo	LIBOR + 0.1%	5.2%
Más: pagado bajo el swap	5.0%	LIBOR
Menos: recibido bajo el swap	−LIBOR	−5.0%
Pago neto	5.1%	LIBOR + 0.2%

Transformación de activos
Con el mismo swap, la figura 7.3 muestra que Microsoft puede cambiar sus activos de una tasa fija a una tasa variable y que Intel puede hacer lo contrario:

	Microsoft	*Intel*
Ingresos de inversión	4.7%	LIBOR 20.%
Menos: pagado bajo el swap	−5.0%	−LIBOR
Más: recibido bajo el swap	LIBOR	5.0%
Ingresos netos	LIBOR 20.3%	4.8%

larga en un bono de tasa variable y una posición corta en un bono de tasa fija. Intel tiene una posición larga en un bono de tasa fija y una posición corta en un bono de tasa variable.

Esta descripción de los flujos de efectivo del swap ayuda a explicar por qué la tasa variable del swap se establece seis meses antes de su pago. En el caso de un bono de tasa variable, los intereses se establecen generalmente al inicio del periodo en el que se aplicarán y se pagan al final del periodo. El cálculo de los pagos de tasa variable en un swap "plain vanilla" de tasas de interés, como el que se presenta en la tabla 7.2, refleja esto.

Los swaps son instrumentos financieros versátiles y esto los ha hecho muy populares. El ejemplo 7.1 usa las figuras 7.2 y 7.3 para resumir algunas de las razones que podrían tener Microsoft e Intel para participar en las transacciones ilustradas en la figura 7.1.

Figura 7.2 Microsoft e Intel usan el swap para transformar un pasivo

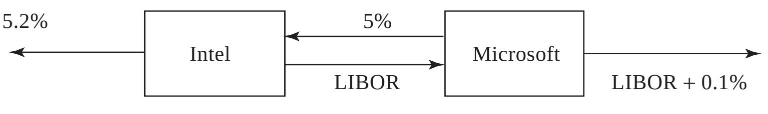
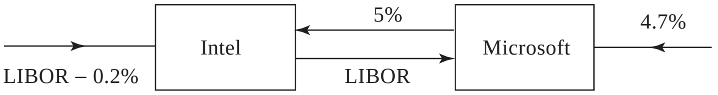


Figura 7.3 Microsoft e Intel usan el swap para transformar un activo



Uso del swap para transformar un pasivo

En el caso de Microsoft, el swap podría usarse para transformar un préstamo de tasa variable en uno de tasa fija. Suponga que Microsoft acordó adquirir en préstamo \$100 millones a la tasa LIBOR más 10 puntos base. (Un punto base es un centésimo de 1%, por lo que la tasa es igual a la tasa LIBOR más 0.1%). Después de que Microsoft ingresa en el swap, tiene tres series de flujos de efectivo:

1. Paga la tasa LIBOR más 0.1% a sus prestamistas externos.
2. Recibe la tasa LIBOR bajo los términos del swap.
3. Paga 5% bajo los términos del swap.

Estas tres series de flujos de efectivo generan un pago de tasa interés de 5.1%. Así, en el caso de Microsoft, el swap podría tener el efecto de transformar pasivos a una tasa variable igual a la tasa LIBOR más 10 puntos base en pasivos a una tasa fija de 5.1%.

En el caso de Intel, el swap podría tener el efecto de transformar un préstamo de tasa fija en un préstamo de tasa variable. Suponga que Intel tiene un préstamo pendiente a tres años de \$100 millones por el que paga 5.2%. Después de ingresar en el swap tiene tres series de flujos de efectivo:

1. Paga 5.2% a sus prestamistas externos.
2. Paga la tasa LIBOR bajo los términos del swap.
3. Recibe 5% bajo los términos del swap.

Estas tres series de flujos de efectivo generan un pago de tasa de interés de la tasa LIBOR más 0.2% (o la tasa LIBOR más 20 puntos base). Así, en el caso de Intel, el swap podría tener el efecto de transformar pasivos a una tasa fija de 5.2% en pasivos a una tasa variable igual a la tasa LIBOR más 20 puntos base.

Uso del swap para transformar un activo

Los swaps también se usan para transformar la naturaleza de un activo. Considere el caso de Microsoft en nuestro ejemplo. El swap podría tener el efecto de transformar un activo que gana una tasa de interés fija en un activo que gana una tasa de interés variable. Suponga que Microsoft posee \$100 millones en bonos que le proporcionarán intereses de 4.7% anual durante los próximos tres años. Después de que Microsoft ingresa en el swap, tiene tres series de flujos de efectivo:

1. Recibe 4.7% sobre los bonos.
2. Recibe la tasa LIBOR bajo los términos del swap.
3. Paga 5% bajo los términos del swap.

Estas tres series de flujos de efectivo generan una tasa de interés igual a la tasa LIBOR menos 30 puntos base. Así, para Microsoft, un uso posible del swap consiste en transformar un activo que gana 4.7% en un activo que gana una tasa LIBOR menos 30 puntos base.

A continuación considere el caso de Intel. El swap podría tener el efecto de transformar un activo que gana una tasa de interés variable en un activo que gana una tasa de interés fija. Suponga que Intel posee una inversión de $100 millones que genera una tasa LIBOR menos 20 puntos base. Después de ingresar en el swap, tiene tres series de flujos de efectivo:

1. Recibe la tasa LIBOR menos 20 puntos base sobre su inversión.
2. Paga la tasa LIBOR bajo los términos del swap.
3. Recibe 5% bajo los términos del swap.

Estas tres series de flujos de efectivo generan una tasa de interés de 4.8%. Así, para Intel, un uso posible del swap consiste en transformar un activo que gana la tasa LIBOR menos 20 puntos base en un activo que gana 4.8%.

Rol del intermediario financiero

Generalmente, dos empresas no financieras, como Intel y Microsoft, no establecen contacto directamente para acordar un swap como se indica en las figuras 7.2 y 7.3, sino que cada una trata con un intermediario financiero, como un banco u otra institución financiera. Los swaps “plain vanilla” fijos por variable sobre tasas de interés estadounidenses se estructuran usualmente de manera que la institución financiera gana alrededor de 3 o 4 puntos base (0.03 o 0.04%) sobre un par de transacciones de compensación.

La figura 7.4 muestra cuál podría ser el rol de la institución financiera en la situación presentada en la figura 7.2. La institución financiera participa en dos transacciones de swap compensatorias con Intel y Microsoft. Si asumimos que ambas empresas cumplen con sus obligaciones, la institución financiera tiene la certeza de ganar una utilidad de 0.03% (3 puntos base) anual multiplicado por el principal nocional de $100 millones. (Esto asciende a $30,000 anuales durante el periodo de tres años). Microsoft adquiere un préstamo a 5.115% (en vez de 5.1%, como en la figura 7.2). Intel adquiere un préstamo a la tasa LIBOR más 21.5 puntos base (en vez de una tasa LIBOR más 20 puntos base, como en la figura 7.2).

La figura 7.5 ilustra el rol de la institución financiera en la situación de la figura 7.3. El swap es el mismo que antes y la institución financiera tiene la certeza de que ganará una utilidad de 3 puntos base si ninguna de las empresas incumple en el pago. Microsoft gana la tasa LIBOR menos 31.5 puntos base (en lugar de la tasa LIBOR menos 30 puntos base, como en la figura 7.3). Intel gana 4.785% (en vez de 4.8%, como en la figura 7.3).

Observe que, en cada caso, la institución financiera tiene dos contratos separados: uno con Intel y el otro con Microsoft. En la mayoría de los casos, Intel ni siquiera sabrá que la institución financiera ingresó en un swap de compensación con Microsoft, y viceversa. Si una de las empresas incumple con el pago, la institución financiera aún debe cumplir su acuerdo con la otra empresa. La diferencia de 3 puntos base que gana la institución financiera la compensa en parte por el riesgo de que una de las dos empresas incumpla con los pagos del swap.

Figura 7.4 Swap de tasas de interés de la figura 7.2 cuando participa una institución financiera

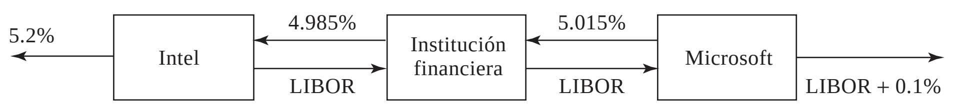
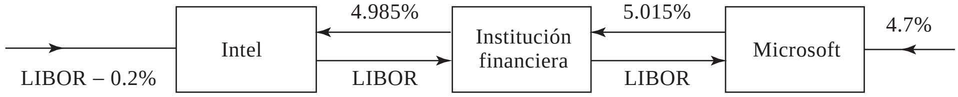


Figura 7.5 Swap de tasas de interés de la figura 7.3 cuando participa una institución financiera



Creadores de mercado

En la práctica es poco probable que dos empresas establezcan contacto con una institución financiera y que, al mismo tiempo, deseen tomar posiciones opuestas exactamente en el mismo swap. Por esta razón, muchas instituciones financieras importantes actúan como creadores de mercado de swaps. Esto significa que están dispuestas a participar en un swap sin tener un swap de compensación con una contraparte.[2] Los creadores de mercado deben cuantificar y cubrir cuidadosamente los riesgos que asumen. Los bonos, los acuerdos de interés futuro y los futuros sobre tasas de interés son ejemplos de los instrumentos que utilizan los creadores de mercado de swaps con fines de cobertura. La tabla 7.3 muestra las cotizaciones de swaps plain vanilla de dólar estadounidense que podría anunciar un creador de mercado.[3] Por lo común, el diferencial de demanda y oferta es de 3 a 4 puntos base. El promedio de las tasas fijas de demanda y oferta se conoce como *tasa swap*. Ésta se muestra en la última columna de la tabla 7.3.

Considere un nuevo swap en el que la tasa fija es igual a la tasa swap actual. Es razonable asumir que el valor de este swap es de cero. (¿Por qué otro motivo elegiría un creador de mercado cotizaciones de demanda y oferta centradas en la tasa swap?) En la tabla 7.2 vimos que un swap se describe como la diferencia entre un bono de tasa fija y uno de tasa variable. Defina:

B_{fij}: valor del bono de tasa fija subyacente al swap que consideramos
B_{var}: valor del bono de tasa variable subyacente al swap que consideramos

Como el valor del swap es de cero, deducimos que

$$B_{\text{fij}} = B_{\text{var}} \tag{7.1}$$

Usaremos este resultado más adelante en el capítulo al analizar cómo se determina la curva LIBOR /swap cero.

Tabla 7.3 Tasas fijas de demanda y oferta en el mercado de swaps y tasas swap (porcentaje anual); pagos intercambiados semestralmente

Vencimiento (años)	*Demanda*	*Oferta*	*Tasas swap*
2	6.03	6.06	6.045
3	6.21	6.24	6.225
4	6.35	6.39	6.370
5	6.47	6.51	6.490
7	6.65	6.68	6.665
10	6.83	6.87	6.850

[2] En ocasiones esto se conoce como *almacenamiento* de swaps.

[3] En Estados Unidos de América, los pagos fijos realizados cada seis meses en el swap estándar se intercambian por pagos LIBOR variables realizados cada tres meses. En la tabla 7.1 asumimos que los pagos fijos y variables se intercambian semestralmente. Como veremos más adelante, la tasa fija debe, en teoría, ser igual aun cuando los pagos variables se realicen cada tres o cada seis meses.

7.2 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL CÁLCULO DE DÍAS

En la sección 6.1 analizamos las convenciones del cálculo de días, las cuales afectan los pagos sobre un swap; sin embargo, algunas de las cifras calculadas en los ejemplos que hemos proporcionado no reflejan con exactitud estas convenciones. Por ejemplo, considere los pagos de la tasa LIBOR a seis meses presentados en la tabla 7.1. Debido a que es una tasa del mercado de dinero, la tasa LIBOR a seis meses se cotiza sobre una convención real/360. El primer pago variable de la tabla 7.1, basado en la tasa LIBOR de 4.2%, es de $2.10 millones. Como hay 184 días entre el 5 de marzo de 2007 y el 5 de septiembre de 2007, este pago debe ser de

$$100 \times 0.042 \times \frac{184}{360} = \$2.1467 \text{ millones}$$

En general, un flujo de efectivo de tasa variable basado en la tasa LIBOR sobre una fecha de pago de swap se calcula como $LRn/360$, donde L es el principal, R es la tasa LIBOR relevante y n es el número de días desde la última fecha de pago.

La tasa fija que se paga en una transacción de swap se cotiza de manera similar que cuando se especifica una convención determinada del cálculo de días. Como resultado, los pagos fijos no pueden ser exactamente igual en cada fecha de pago. La fecha fija se cotiza usualmente como real/365 o 30/360. Por lo tanto, no es directamente comparable a la tasa LIBOR porque se aplica a todo un año. Para que las tasas sean comparables, la tasa LIBOR a seis meses debe multiplicarse por 365/360 o la tasa fija debe multiplicarse por 360/365. Para hacer más clara la exposición, ignoraremos los aspectos relacionados con el cálculo de días en las estimaciones presentadas en el resto de este capítulo.

7.3 CONFIRMACIONES

Una *confirmación* es el acuerdo legal subyacente a un swap, que firman los representantes de las dos partes. La elaboración de confirmaciones se ha facilitado por el trabajo de la Asociación Internacional de Swaps y Derivados (ISDA, por sus siglas en inglés, *International Swaps and Derivatives Association*), con sede en Nueva York. Esta organización ha producido varios Convenios Maestros que consisten en cláusulas que definen con cierto detalle la terminología utilizada en los acuerdos de swap, lo que ocurre en caso de incumplimiento de alguna de las partes, etcétera. En la Panorámica de negocios 7.1, mostramos un posible extracto de la confirmación del swap entre Microsoft y la institución financiera (asumimos que es Goldman Sachs) presentado en la figura 7.4. Casi con seguridad, la confirmación completa establecería que las disposiciones de un Convenio Maestro ISDA se aplicarían al contrato.

La confirmación especifica que se usará la convención del siguiente día hábil y que el calendario estadounidense determina cuáles días son hábiles y cuáles son festivos. Esto significa que, si una fecha de pago cae en un fin de semana o en un día festivo de Estados Unidos de América, el pago se realiza al siguiente día hábil.[4] El 5 de septiembre de 2009 es sábado. Por lo tanto, el penúltimo intercambio de pagos del swap entre Microsoft y Goldman Sachs se realiza el lunes 7 de septiembre de 2009.

[4] Otra convención del cálculo de días que se especifica en ocasiones es la convención del día hábil *siguiente modificada*, que es igual a la convención del día hábil siguiente con la excepción de que, cuando el día hábil siguiente cae en un mes distinto al de la fecha especificada, el pago se realiza en el día hábil anterior inmediato. Las convenciones del día hábil *precedente* y *precedente modificada* se definen de la misma forma.

Panorámica de negocios 7.1 Extracto de una confirmación de swap hipotética

Fecha de transacción	27 de febrero de 2007
Fecha efectiva:	5 de marzo de 2007
Convención del día hábil (todas las fechas):	Día hábil siguiente
Calendario festivo:	Estadounidense
Fecha de terminación:	5 de marzo de 2010
Montos fijos	
Pagador de tasa fija:	Microsoft
Principal nocional de tasa fija:	USD $100 millones
Tasa fija:	5.015% anual
Convención del cálculo de días de tasa fija:	Real/365
Fechas de pago de tasa fija:	Cada 5 de marzo y 5 de septiembre, comenzando el 5 de septiembre de 2007 hasta el 5 de marzo de 2010, inclusive
Montos variables	
Pagador de tasa variable:	Goldman Sachs
Principal nocional de tasa variable:	USD $100 millones
Tasa variable:	Tasa LIBOR a seis meses en USD
Convención del cálculo de días de tasa variable:	Real/360
Fechas de pago de tasa variable:	Cada 5 de marzo y 5 de septiembre, comenzando el 5 de septiembre de 2007 hasta el 5 de marzo de 2010, inclusive

7.4 ARGUMENTO DE LA VENTAJA COMPARATIVA

Una explicación sugerida comúnmente para justificar la popularidad de los swaps tiene que ver con las ventajas comparativas. Considere el uso de un swap de tasas de interés para transformar un pasivo. Se argumenta que algunas empresas tienen una ventaja comparativa al adquirir préstamos en mercados de tasa fija, en tanto que otras la tienen en mercados de tasa variable. Para obtener un nuevo préstamo, tiene sentido que una empresa recurra al mercado donde tenga una ventaja comparativa. En consecuencia, la empresa puede adquirir un préstamo de tasa fija cuando desee uno de tasa variable o adquirir un préstamo de tasa variable cuando desee uno de tasa fija. El swap se usa para transformar un préstamo de tasa fija en uno de tasa variable y viceversa.

El argumento

Imagine que dos empresas, AAACorp y BBBCorp, desean adquirir en préstamo 10 millones de dólares durante cinco años y que les han ofrecido las tasas presentadas en las tabla 7.4. AAACorp tiene una calificación de crédito AAA; BBBCorp tiene una calificación de crédito BBB.[5] Asumimos

[5] Las calificaciones de crédito que asigna S&P a las empresas (en orden de solvencia decreciente) son AAA, AA, A, BBB, BB, B y CCC. Las calificaciones correspondientes que asigna Moody's son Aaa, Aa, A, Baa, Ba, B y Caa, respectivamen-

Tabla 7.4 Tasas de endeudamiento que fundamentan el argumento de la ventaja comparativa

	Tasa fija	*Tasa variable*
AAAcorp	4.0%	Tasa LIBOR a seis meses + 0.3%
BBBcorp	5.2%	Tasa LIBOR a seis meses + 1.0%

que BBBCorp desea adquirir el préstamo a una tasa de interés fija, en tanto que AAACorp desea adquirirlo a una tasa de interés variable relacionada con la tasa LIBOR a seis meses. Como BBBCorp tiene una peor calificación de crédito que AAACorp, paga una tasa de interés más alta que esta empresa tanto en el mercado de tasa fija como en el de tasa variable.

Una característica clave de las tasas ofrecidas a AAACorp y BBBCorp es que la diferencia entre las dos tasas fijas es mayor que la diferencia entre las dos tasas variables. BBBCorp paga 1.2% más que AAACorp en los mercados de tasa fija y sólo 0.7% más que esta empresa en los mercados de tasa variable. Al parecer, BBBCorp tiene una ventaja comparativa en los mercados de tasa variable, en tanto que AAACorp la tiene en los mercados de tasa fija.[6] Esta anomalía aparente es la que da lugar a la negociación de un swap. AAACorp adquiere en préstamo fondos de tasa fija a 4% anual. BBBCorp adquiere en préstamo fondos de tasa variable a la tasa LIBOR más 1% anual. Entonces, ambas empresas participan en un acuerdo de swap para garantizar que AAACorp termine adquiriendo fondos de tasa variable y BBBCorp termine adquiriendo fondos de tasa fija.

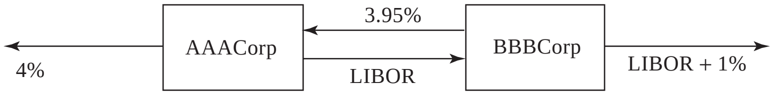
Para entender cómo podría funcionar el swap, primero asumimos que AAACorp y BBBCorp establecen contacto entre sí directamente. La figura 7.6 muestra el tipo de swap que podrían negociar. Éste es muy similar a nuestro ejemplo presentado en la figura 7.2. AAACorp acuerda pagar a BBBCorp intereses a la tasa LIBOR a seis meses sobre $10 millones. A cambio, BBBCorp acuerda pagar a AAACorp intereses a una tasa fija de 3.95% anual sobre $10 millones.

AAACorp tiene tres series de flujos de efectivo de tasa de interés:

1. Paga 4% anual a prestamistas externos.
2. Recibe 3.95% anual de BBBCorp.
3. Paga la tasa LIBOR a BBBCorp.

El efecto neto de los tres flujos de efectivo es que AAACorp paga la tasa LIBOR más 0.05% anual. Esto es 0.25% anual menos de lo que la empresa pagaría si recurriera directamente a

Figura 7.6 Acuerdo de swap entre AAACorp y BBBCorp cuando se aplican las tasas de la tabla 7.4



[6] Observe que la ventaja comparativa de BBBCorp en los mercados de tasa variable no implica que esta empresa pague menos que AAACorp en este mercado. Significa que el monto adicional que BBBCorp paga sobre el monto que paga AAACorp es menor en este mercado. Uno de mis estudiantes resumió la situación de la manera siguiente: “AAACorp paga un poco menos en los mercados de tasa fija; BBBCorp no paga tanto en los mercados de tasa variable”.

Figura 7.7 Acuerdo de swap entre AAACorp y BBBCorp cuando se aplican las tasas de la tabla 7.4 y participa un intermediario financiero

los mercados de tasa variable. BBBCorp también tiene tres series de flujos de efectivo de tasa de interés:

1. Paga la tasa LIBOR + 1% anual a prestamistas externos.
2. Recibe la tasa LIBOR de AAACorp.
3. Paga 3.95% anual a AAACorp.

El efecto neto de los tres flujos de efectivo es que BBBCorp paga 4.95% anual. Esto es 0.25% anual menos de lo que la empresa pagaría si recurriera directamente a los mercados de tasa fija.

El acuerdo de swap parece mejorar la posición tanto de AAACorp como de BBBCorp en 0.25% anual. Por lo tanto, la ganancia total es de 0.5% anual. Es posible mostrar que la ganancia total aparente obtenida de este tipo de acuerdo de swap de tasas de interés es siempre $a - b$, donde a es la diferencia entre las tasas de interés que enfrentan ambas empresas en los mercados de tasa fija y b es la diferencia entre las tasas de interés que enfrentan ambas empresas en los mercados de tasa variable. En este caso, $a = 1.2\%$ y $b = 0.7\%$.

Si AAACorp y BBBCorp no negocian directamente entre sí y recurren a una institución financiera, podría resultar un acuerdo como el que se presenta en la figura 7.7. (Éste es similar al ejemplo de la figura 7.4.) En este caso, AAACorp termina adquiriendo el préstamo a la tasa LIBOR + 0.07%, BBBCorp termina adquiriendo el préstamo a 4.97% y la institución financiera gana una diferencia de 4 puntos base por año. La ganancia para AAACorp es de 0.23%; la ganancia para BBBCorp es de 0.23% y la ganancia para la institución financiera es de 0.04%. La ganancia total para las tres partes es de 0.50% como antes.

Crítica al argumento

El argumento de la ventaja comparativa que hemos descrito para explicar el atractivo de los swaps de tasas de interés es cuestionable. ¿Por qué, en la tabla 7.4, los diferenciales entre las tasas ofrecidas a AAACorp y BBBCorp deben ser distintos en los mercados de tasa fija y variable? Ahora que el mercado de swaps existe desde hace algún tiempo, podríamos esperar razonablemente que estos tipos de diferencias desaparecieran a través de operaciones de arbitraje.

La razón de que haya diferenciales se debe a la naturaleza de los contratos disponibles para las empresas en los mercados de tasa fija y de tasa variable. Las tasas de 4.0% y 5.2% disponibles para AAACorp y BBBCorp en los mercados de tasa fija son tasas a cinco años (es decir, las tasas a las que las empresas pueden emitir bonos de tasa fija a cinco años). Las tasas LIBOR + 0.3% y LIBOR + 1.0% disponibles para AAACorp y BBBCorp en los mercados de tasa variable son tasas a seis meses. En el mercado de tasa variable, el prestamista tiene usualmente la oportunidad de revisar las tasas variables cada seis meses. Si la solvencia de AAACorp o de BBBCorp ha disminuido, el prestamista tiene la opción de aumentar el diferencial sobre la tasa LIBOR que se cobra. En circunstancias extremas, el prestamista puede negarse a renovar el préstamo. Los proveedores de financiamiento de tasa fija no tienen la opción de cambiar los términos del préstamo de esta manera.[7]

Los diferenciales entre las tasas ofrecidas a AAACorp y BBBCorp son un reflejo del grado de probabilidad de incumplimiento de pagos de BBBCorp en comparación con AAACorp. Durante los seis meses siguientes, hay pocas posibilidades de que AAACorp o BBBCorp incumplan sus pagos. Como veremos más adelante, las estadísticas de incumplimiento muestran que, en promedio, la probabilidad de incumplimiento de una empresa con una calificación de crédito relativamente baja (como BBBCorp) aumenta más rápido que la probabilidad de incumplimiento de una empresa con una calificación de crédito relativamente alta (como AAACorp). Éste es el motivo por el que el diferencial entre las tasas a cinco años es mayor que el diferencial entre las tasas a seis meses.

Después de negociar un préstamo de tasa variable a la tasa LIBOR + 1.0% y de participar en el swap de la figura 7.7, BBBCorp obtiene, al parecer, un préstamo de tasa fija a 4.97%. Los argumentos que acabamos de presentar muestran que éste no es realmente el caso. En la práctica, la tasa pagada es de 4.97% sólo si BBBCorp puede seguir adquiriendo en préstamo fondos de tasa variable a un diferencial de 1.0% por arriba de la tasa LIBOR. Si, por ejemplo, la calificación de crédito de BBBCorp disminuye de tal manera que el préstamo de tasa variable se renueva a la tasa LIBOR + 2.0%, la tasa que paga BBBCorp aumenta a 5.97%. El mercado espera que el diferencial de BBBCorp sobre la tasa LIBOR a seis meses aumente en promedio durante la vida del swap. Por lo tanto, la tasa de endeudamiento promedio esperada de BBBCorp cuando ingresa al swap es mayor de 4.97%.

El swap de la figura 7.7 asegura la tasa LIBOR + 0.07% para AAACorp durante los próximos cinco años, no sólo durante los seis meses siguientes. Éste parece ser un buen trato para AAACorp. La desventaja es que corre el riesgo de incumplimiento de parte de la institución financiera. Si adquiriera en préstamo fondos de tasa variable en la forma usual, no correría este riesgo.

7.5 NATURALEZA DE LAS TASAS SWAP

Es el momento de examinar la naturaleza de las tasas swap y la relación entre los mercados de swaps y LIBOR. En la sección 4.1 explicamos que la tasa LIBOR es la tasa de interés a la que los bancos con una calificación de crédito AA adquieren préstamos de otros bancos durante periodos de 1 a 12 meses. Además, como se indicó en la tabla 7.3, una tasa swap es el promedio de: a) la tasa fija que un creador de mercado de swaps está dispuesto a pagar a cambio de recibir la tasa LIBOR (su tasa de demanda) y b) la tasa fija que está dispuesto a recibir a cambio de pagar la tasa LIBOR (su tasa de oferta).

Al igual que las tasas LIBOR, las tasas swap no son tasas de préstamo libres de riesgo, pero casi lo son. Una institución financiera puede ganar la tasa swap a cinco años sobre determinado principal por:

1. Prestar el principal durante los primeros seis meses a un prestatario AA y después volverlo a prestar durante periodos sucesivos de seis meses a otros prestatarios AA, y
2. Participar en un swap para intercambiar la tasa LIBOR por la tasa swap a cinco años.

Esto muestra que la tasa swap a cinco años es una tasa de interés con un riesgo de crédito correspondiente a una situación en la que se realizan de manera consecutiva 10 préstamos LIBOR a seis meses a empresas AA. De modo similar, la tasa swap a siete años es una tasa de interés con un riesgo de crédito correspondiente a una situación en la que se realizan de manera consecutiva 14 préstamos LIBOR a seis meses a empresas AA. Las tasas swap de otros vencimientos se interpretan en forma semejante.

---

[7] Si los préstamos de tasa variable se estructuran de modo que el diferencial sobre la tasa LIBOR se garantice por adelantado, independientemente de los cambios en la calificación de crédito, en la práctica la ventaja comparativa es escasa o nula.

Observe que las tasas swap a cinco años son menos que las tasas de endeudamiento AA a cinco años. Es mucho más atractivo prestar dinero para periodos sucesivos de seis meses a prestatarios que siempre tengan una calificación de crédito AA al inicio de los periodos, que prestarlo a un prestatario durante todo el periodo de cinco años cuando de lo único que estamos seguros es que el prestatario tiene una calificación de crédito AA al inicio del periodo de cinco años.

7.6 DETERMINACIÓN DE TASAS LIBOR/SWAP CERO

En la sección 4.1 explicamos que los negociantes de derivados usan las tasas LIBOR como sustitutos de las tasas libres de riesgo al valuar derivados. Un problema con las tasas LIBOR es que las observaciones directas son posibles únicamente para vencimientos hasta de 12 meses. Los negociantes usan las tasas swap para tasas cero de mayor plazo. En esta sección describimos cómo se determina la curva LIBOR/swap cero.

El primer punto que debemos señalar es que el valor de un bono de tasa variable recién emitido que paga la tasa LIBOR a seis meses es siempre igual al valor de su principal (o valor a la par) cuando se descuenta usando la curva LIBOR/swap cero. La razón es que el bono proporciona una tasa de interés igual a la tasa LIBOR y ésta es la tasa de descuento. El interés sobre el bono equivale exactamente a la tasa de descuento y, en consecuencia, el bono se valúa justamente a su valor nominal.

En la ecuación (7.1) mostramos que, para un swap emitido recientemente en el que la tasa fija equivale a la tasa swap, $B_{\text{fij}} = B_{\text{var}}$. Hemos argumentado que B_{var} equivale al principal nocional. Se deduce que B_{fij} también equivale al principal nocional del swap. Por lo tanto, las tasas swap definen una serie de bonos de rendimiento a la par. Por ejemplo, a partir de las tasas swap de la tabla 7.3 deducimos que el rendimiento a la par LIBOR/swap a dos años es de 6.045%; el rendimiento a la par LIBOR/swap a tres años es de 6.225%, etcétera.[8]

El método usual para determinar la curva LIBOR/swap cero es el método bootstrap (de remuestreo), el cual usamos para determinar la curva cero del Tesoro en la sección 4.5. Las tasas LIBOR definen la curva cero para vencimientos hasta de un año. Las tasas swap definen los bonos de rendimiento a la par que se usan para determinar las tasas de mayor plazo. El ejemplo 7.2 proporciona una aplicación del método bootstrap.

Ejemplo 7.2 Determinación de tasas cero a partir de swaps

Suponga que las tasas LIBOR/swap cero a 6, 12 y 18 meses se determinaron en 4, 4.5 y 4.8% con una composición continua y que la tasa swap a 2 años (para un swap en el que los pagos se realizan semestralmente) es de 5%. Esta tasa swap de 5% significa que un bono con un principal de 100 dólares y un cupón semestral de 5% anual se vende a su valor nominal. Se deduce que, si R es la tasa cero a 2 años, entonces

$$2.5e^{-0.04\times 0.5} + 2.5e^{-0.045\times 1.0} + 2.5e^{-0.048\times 1.5} + 102.5e^{2R} = 100$$

Si resolvemos esta ecuación, tenemos que $R = 4.953\%$. (Observe que este cálculo se ha simplificado en cuanto a que no toma en cuenta las convenciones del cálculo de días del swap ni los calendarios festivos. Vea la sección 7.2).

[8] Los analistas suelen calcular valores intermedios de las tasas swap antes de calcular la curva cero, de modo que tengan tasas swap para vencimientos con intervalos de seis meses. Por ejemplo, para los datos de la tabla 7.3, se asumiría que la tasa swap a 2.5 años sería de 6.135%, la tasa swap a 7.5 años sería de 6.696%, etcétera.

Uso de futuros sobre eurodólares

En la sección 6.3 analizamos los contratos de futuros sobre eurodólares, los cuales vencen en marzo, junio, septiembre y diciembre y a veces se usan para ayudar a calcular la curva LIBOR/swap cero. Después de realizar un ajuste por convexidad como el que se describió en la sección 6.3, los contratos de futuros sobre eurodólares definen las tasas LIBOR a plazo para periodos futuros de tres meses. Suponga que el i^{mo} contrato de futuros sobre eurodólares vence en la fecha T_i (i = 1, 2,...). Por lo general se asume que la tasa de interés a plazo calculada a partir del i^{mo} contrato de futuros se aplica exactamente al periodo *Ti* a T_{i+1} (en la práctica, esto se aproxima a la verdad), lo que permite usar un procedimiento bootstrap para determinar las tasas cero. Suponga que F_i es la tasa a plazo calculada a partir del i^{mo} contrato de futuros sobre eurodólares y que R_i es la tasa cero para un vencimiento T_i. Con base en la ecuación (4.5), tenemos

$$F_i = \frac{R_{i+1}T_{i+1} - R_iT_i}{T_{i+1} - T_i}$$

de tal manera que

$$R_{i+1} = \frac{F_i(T_{i+1} - T_i) + R_iT_i}{T_{i+1}} \tag{7.2}$$

El ejemplo 7.3 proporciona una aplicación de estas fórmulas.

En Estados Unidos de América, las tasas LIBOR spot se usan comúnmente para definir la curva LIBOR cero para vencimientos hasta de un año. Entonces, los futuros sobre eurodólares se usan para vencimientos entre uno y dos años y, en ocasiones, para vencimientos hasta de cinco años. Las tasas swap se emplean para calcular la curva cero para vencimientos mayores. En otros países se sigue un procedimiento similar para determinar las tasas LIBOR cero. Por ejemplo, las tasas LIBOR cero sobre francos suizos se determinan a partir de las tasas LIBOR spot sobre francos suizos, de los futuros sobre eurofrancos a tres meses y de las tasas swap sobre francos suizos.

7.7 VALUACIÓN DE SWAPS DE TASAS DE INTERÉS

Ahora pasamos al análisis de la valuación de los swaps de tasas de interés. Un swap de tasa de interés tiene un valor de cero, o cercano a cero, cuando se inicia por primera vez. Después de existir durante algún tiempo, puede adquirir un valor positivo o negativo. Hay dos sistemas de valuación. El primero considera al swap como la diferencia entre dos bonos; el segundo lo considera como una cartera de FRAs.

Ejemplo 7.3 Determinación de tasas cero a partir de futuros sobre eurodólares

La tasa LIBOR cero a 400 días se calculó en 4.80% con una composición continua y, a partir de una cotización de futuros sobre eurodólares, se calculó que la tasa a plazo para un periodo de 91 días que comienza en 400 días es de 5.30% con una composición continua. Usamos la ecuación (7.2) para obtener la tasa a 491 días de la manera siguiente

$$\frac{0.053 \times 91 + 0.048 \times 400}{491} = 0.04893$$

o 4.893%.

Valuación en términos de precios de bonos

Los pagos del principal no se intercambian en un swap de tasas de interés. Sin embargo, como se ilustró en la tabla 7.2, asumimos que los pagos del principal se reciben y pagan al término del swap sin que cambie el valor de éste. Al hacerlo así encontramos que un swap en el que se reciben flujos de efectivo fijos y se pagan flujos de efectivo variables se considera como una posición larga en un bono de tasa fija, y una posición corta en un bono de tasa variable, de tal manera que

$$V_{\text{swap}} = B_{\text{fij}} - B_{\text{var}}$$

donde V_{swap} es el valor del swap, B_{var} es el valor del bono de tasa variable subyacente al swap y B_{fij} es el valor de los pagos de tasa fija subyacentes al swap. Del mismo modo, un swap en el que se reciben flujos de efectivo variables y se pagan flujos de efectivo fijos se considera como una posición larga en un bono de tasa variable y una posición corta en un bono de tasa fija, de tal manera que el valor del swap es

$$V_{\text{swap}} = B_{\text{var}} - B_{\text{fij}}$$

El valor del bono de tasa fija, B_{fij} se determina como se describe en la sección 4.4. Al calcular el valor del bono de tasa variable, observamos que el valor del bono es su valor nominal, L, después de un pago de intereses. Esto se debe a que, en este momento, el bono es un "trato justo" en el que el prestatario paga la tasa LIBOR para cada periodo de acumulación subsiguiente.

Suponga que el siguiente intercambio de pagos se realizará en la fecha t^* y que el pago variable que se efectuará en esta fecha t^* (la cual se determinó en la última fecha de pago) es k^*. Inmediatamente después del pago, $B_{\text{var}} = L$, donde L es el principal, por la razón que acabamos de explicar. Se deduce que inmediatamente antes del pago $B_{\text{var}} = L + k^*$. Por lo tanto, el bono de tasa variable se considera como un instrumento que proporciona un flujo de efectivo único de $L + k^*$ en la fecha t^*. Si descontamos esto, el valor del bono de tasa variable es hoy de

$$(L + k^*)e^{-r^*t^*}$$

donde r^* es la tasa LIBOR/swap cero para un vencimiento de t^*. El ejemplo 7.4 ilustra este método.

Valuación en términos de FRAs

Un swap puede describirse como una cartera de acuerdos de interés futuro. Considere el swap entre Microsoft e Intel de la figura 7.1. El swap es un acuerdo a tres años iniciado el 5 de marzo de 2007, con pagos semestrales. El primer intercambio de pagos se conoce al momento de negociar el swap. Los otros cinco intercambios pueden considerarse como FRAs. El intercambio del 5 de marzo de 2008 es un FRA en el que se intercambia un interés de 5% por un interés a la tasa a seis meses observada en el mercado el 5 de septiembre de 2007; el intercambio del 5 de septiembre de 2008 es un FRA en el que se intercambia un interés de 5% por un interés a la tasa a seis meses observada en el mercado el 5 de marzo de 2008, etcétera.

Como se muestra al final de la sección 4.7, un FRA se valúa asumiendo que se obtienen tasas de interés a plazo. Puesto que no es más que una cartera de acuerdos de interés futuro, un swap plain vanilla de tasas de interés también se valúa asumiendo que se obtienen tasas de interés a plazo. El procedimiento es el siguiente:

1. Usar la curva LIBOR/swap cero para calcular tasas a plazo para cada una de las tasas LIBOR que determinarán los flujos de efectivo del swap.

Ejemplo 7.4 Valuación de swaps de tasas de interés en términos de bonos

Suponga que una institución financiera acordó pagar la tasa LIBOR a seis meses y recibir 8% anual (con una composición semestral) sobre un principal nocional de $100 millones. El swap tiene una vida restante de 1.25 años. Las tasas LIBOR con una composición continua para vencimientos a 3, 9 y 15 meses son de 10, 10.5 y 11%, respectivamente. La tasa LIBOR a seis meses en la última fecha de pago fue de 10.2% (con una composición semestral).

Los cálculos para valuar el swap en términos de bonos se resumen en la tabla siguiente (donde todos los flujos de efectivo se indican en millones de dólares):

Tiempo	*Flujo de efectivo* B_{fij}	*Flujo de efectivo* B_{var}	*Factor de descuento*	*Valor presente del flujo de efectivo* B_{fij}	*Valor presente del flujo de efectivo* B_{var}
0.25	4.0	105.100	0.9753	3.901	102.505
0.75	4.0		0.9243	3.697	
1.25	104.0		0.8715	90.640	
Total				98.238	102.505

El bono de tasa fija tiene flujos de efectivo de 4, 4 y 104 en las tres fechas de pago. Los factores de descuento para estos flujos de efectivo son $e^{-0.1\times 0.25}$, $e^{-0.105\times 0.75}$ y $e^{-0.11\times 1.25}$, respectivamente, y se presentan en la cuarta columna de la tabla. La tabla muestra que el valor del bono de tasa fija (en millones de dólares) es de 98.238.

En este ejemplo, $L = \$100$ millones, $k^* = 0.5 \times 0.102 \times 100 = \$5.1$ millones y $t^* = 0.25$, de tal manera que el bono de tasa variable se valúa como si produjera un flujo de efectivo de $105.1 millones en tres meses. La tabla muestra que el valor del bono variable (en millones de dólares) es de $105.100 \times 0.9753 = 102.505$.

El valor del swap es la diferencia entre los precios de los dos bonos:

$$V_{\text{swap}} = 98.238 - 102.505 = -4.267$$

o $-\$4.267$ millones.

Si la institución financiera hubiera estado en la posición contraria de pagar una tasa fija y recibir una tasa variable, el valor del swap habría sido de $+\$4.267$ millones. Observe que nuestros cálculos no toman en cuenta las convenciones del cálculo de días ni los calendarios festivos.

2. Calcular los flujos de efectivo del swap bajo el supuesto de que las tasas LIBOR serán iguales a las tasas a plazo.
3. Descontar estos flujos de efectivo del swap (usando la curva LIBOR/swap cero) para obtener el valor del swap.

El ejemplo 7.5 ilustra este procedimiento.

La tasa fija en un swap de tasas de interés se elige de modo que el swap tenga inicialmente un valor de cero. Esto significa que, al inicio del swap, la suma de los valores de los FRAs subyacentes al swap es igual a cero, aunque no quiere decir que el valor de cada FRA individual sea de cero. En general, algunos FRAs tendrán valores positivos, en tanto que los valores de otros serán negativos.

Ejemplo 7.5 Valuación de swaps de tasas de interés en términos de FRAs

De nuevo, considere la situación del ejemplo 7.4. Bajo los términos del swap, una institución financiera acordó pagar la tasa LIBOR a seis meses y recibir 8% anual (con una composición semestral) sobre un principal nocional de $100 millones. El swap tiene una vida restante de 1.25 años. Las tasas LIBOR con una composición continua para vencimientos a 3, 9 y 15 meses son de 10, 10.5 y 11%, respectivamente. La tasa LIBOR a seis meses en la última fecha de pago fue de 10.2% (con una composición semestral). Los cálculos se resumen en la tabla siguiente (donde todos los flujos de efectivo se indican en millones de dólares):

Tiempo	*Flujo de efectivo fijo*	*Flujo de efectivo variable*	*Flujo de efectivo neto*	*Factor de descuento*	*Valor presente del flujo de efectivo neto*
0.25	4.0	−5.100	−1.100	0.9753	−1.073
0.75	4.0	−5.522	−1.522	0.9243	−1.407
1.25	4.0	−6.051	−2.051	0.8715	−1.787
Total					−4.267

La primera fila de la tabla muestra los flujos de efectivo que se intercambiarán dentro de tres meses, los cuales ya se determinaron. La tasa fija de 8% generará una entrada de efectivo de $100 \times 0.08 \times 0.5 =$ $4 millones. La tasa variable de 10.2% (que se estableció hace tres meses) dará lugar a una salida de efectivo de $100 \times 0.102 \times 0.5 =$ $5.1 millones. La segunda fila de la tabla muestra los flujos de efectivo que se intercambiarán dentro de nueve meses, asumiendo que se obtendrán tasas a plazo. La entrada de efectivo es de $4.0 millones, igual que antes. Para calcular la salida de efectivo, primero debemos calcular la tasa a plazo correspondiente al periodo entre tres y nueve meses. Con base en la ecuación (4.5), ésta es de

$$\frac{0.105 \times 0.75 - 0.10 \times 0.25}{0.5} = 0.1075$$

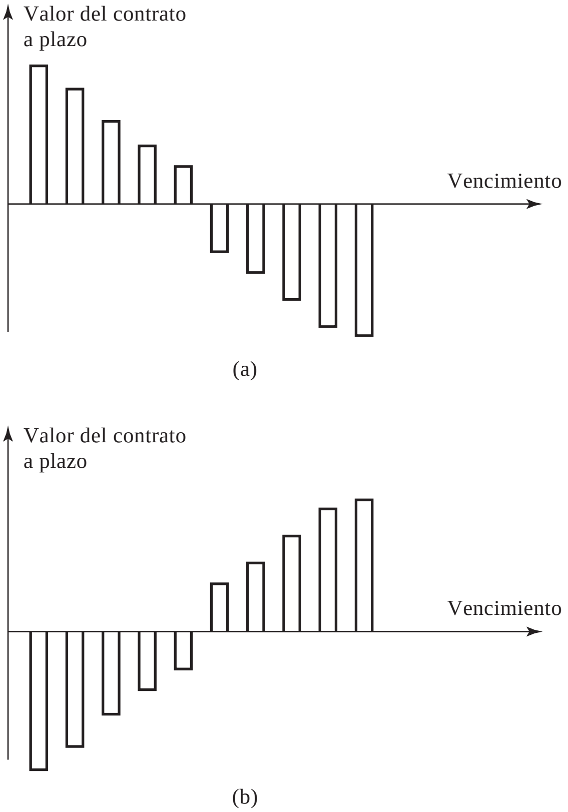
o 10.75% con una composición continua. Con base en la ecuación (4.4), la tasa a plazo cambia a 11.044% con una composición semestral. Por lo tanto, la salida de efectivo es de $100 \times 0.11044 \times 0.5 =$ $5.522 millones. Del mismo modo, la tercera fila muestra los flujos de efectivo que se intercambiarán dentro de 15 meses, asumiendo que se obtendrán tasas a plazo. Los factores de descuento para las tres fechas de pago son $e^{-0.1\times0.25}$, $e^{-0.105\times0.75}$ y $e^{-0.11\times1.25}$, respectivamente.

El valor presente del intercambio dentro de tres meses es de −$1.073 millones. Los valores de los FRAs correspondientes a los intercambios dentro de 9 y 15 meses son −1.407 y −$1.787 millones, respectivamente. El valor total del swap es de −$4.267 millones. Esto está de acuerdo con el valor que calculamos en el ejemplo 7.4 al descomponer el swap en una posición larga en un bono y una posición corta en el otro.

Considere los FRAs subyacentes al swap entre Microsoft e Intel de la figura 7.1:

Valor del FRA para Microsoft > 0 cuando la tasa de interés a plazo > 5.0%
Valor del FRA para Microsoft = 0 cuando la tasa de interés a plazo = 5.0%
Valor del FRA para Microsoft < 0 cuando la tasa de interés a plazo < 5.0%

Figura 7.8 Valor de los acuerdos de interés futuro subyacentes a un swap en función del vencimiento. En (a), la estructura temporal de las tasas de interés es ascendente y recibimos una tasa fija o descendente y recibimos una tasa variable; en (b), la estructura temporal de las tasas de interés es ascendente y recibimos una tasa variable o descendente y recibimos una tasa fija

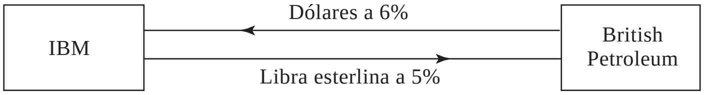


Suponga que la estructura temporal de las tasas de interés es ascendente al momento de negociar el swap. Esto significa que las tasas de interés a plazo se incrementan a medida que aumenta el vencimiento del FRA. Como la suma de los valores de los FRAs es igual a cero, la tasa de interés a plazo debe ser menor de 5.0% para las fechas de pago iniciales y mayor de 5.0% para las fechas de pago posteriores. Por lo tanto, para Microsoft, el valor de los FRAs correspondientes a las fechas de pago iniciales es negativo, en tanto que el valor de los FRAs correspondientes a las fechas de pago posteriores es positivo. Si la estructura temporal de las tasas de interés es descendente al momento de negociar el swap, ocurre lo contrario. El efecto de la forma de la estructura temporal de las tasas de interés sobre los valores de los contratos a plazo subyacentes a un swap se resume en la figura 7.8.

7.8 SWAPS DE DIVISAS

Otro tipo popular de swap es un *swap de divisas*. En su forma más sencilla, este swap consiste en intercambiar el principal y los pagos de intereses en una moneda por el principal y los pagos de intereses en otra moneda.

Figura 7.9 Un swap de divisas



Un acuerdo de swap de divisas requiere que el principal se especifique en cada una de las dos monedas. Por lo general, los montos del principal se intercambian al inicio y al final de la vida del swap. Por lo común, los montos del principal se eligen de modo que sean aproximadamente equivalentes usando la tasa de intercambio al inicio del swap.

Ejemplo

Considere un acuerdo hipotético de swap de divisas a cinco años entre IBM y British Petroleum, que inició el 1 de febrero de 2007. Supongamos que IBM paga una tasa de interés fija de 5% en libras esterlinas y recibe de British Petroleum una tasa de interés fija de 6% en dólares. Los pagos de las tasas de interés se realizan una vez al año y los montos del principal son de $18 millones y de £10 millones. Este swap se denomina swap de divisas *fijo por fijo* debido a que la tasa de interés en ambas monedas es fija. La figura 7.9 muestra este swap. Inicialmente, los montos del principal fluyen en la dirección opuesta a las flechas de la figura 7.9. Los pagos de intereses durante la vida del swap y el pago final del principal fluyen en la misma dirección que las flechas. Por lo tanto, al inicio del swap, IBM paga $18 millones y recibe £10 millones. Cada año, durante la vida del contrato del swap, IBM recibe $1.08 millones (= 6% de $18 millones) y paga £0.50 millones (= 5% de £10 millones). Al final de la vida del swap, paga un principal de £10 millones y recibe un principal de $18 millones. La tabla 7.5 muestra estos flujos de efectivo.

Uso de un swap de divisas para transformar préstamos y activos

Un swap como el que acabamos de considerar se usa para transformar préstamos en una moneda en préstamos en otra moneda. Suponga que IBM emite $18 millones en bonos denominados en dólares estadounidenses a 6% de interés. El swap tiene el efecto de transformar esta transacción en

Tabla 7.5 Flujos de efectivo para IBM en un swap de divisas

Fecha	*Flujo de efectivo en dólares (millones)*	*Flujo de efectivo en libras esterlinas (millones)*
1 de febrero, 2007	−18.00	+10.0
1 de febrero, 2008	+1.08	−0.5
1 de febrero, 2009	+1.08	−0.5
1 de febrero, 2010	+1.08	−0.5
1 de febrero, 2011	+1.08	−0.5
1 de febrero, 2012	+19.08	−10.5

una donde IBM adquiere en préstamo £10 millones a 5% de interés. El intercambio inicial del principal convierte el producto de la emisión de bonos de dólares estadounidenses a libras esterlinas. Los intercambios posteriores del swap tienen el efecto de cambiar los pagos de intereses y del principal de dólares a libras esterlinas.

El swap también se usa para transformar la naturaleza de los activos. Suponga que IBM puede invertir £10 en el Reino Unido que redituarán 5% anual durante los próximos cinco años, pero considera que el dólar estadounidense se fortalecerá frente a la libra esterlina y prefiere una inversión denominada en dólares estadounidenses. El swap tiene el efecto de transformar la inversión británica en una inversión de $18 millones con el rendimiento estadounidense de 6%.

Ventaja comparativa

Los swaps de divisas pueden estar motivados por la ventaja comparativa. Para ilustrar esto, consideremos otro ejemplo hipotético. Suponga que los costos de endeudamiento de tasa fija a cinco años para General Electric y Qantas Airways en dólares estadounidenses (USD) y dólares australianos (AUD) son los que se muestran en la tabla 7.6. Los datos de la tabla sugieren que las tasas australianas son más altas que las tasas de interés estadounidenses y además que General Electric es más solvente que Qantas Airways porque le ofrecieron una tasa de interés más favorable en ambas monedas. Desde el punto de vista de un negociante de swaps, el aspecto interesante de la tabla 7.6 es que los diferenciales entre las tasas que pagan General Electric y Qantas Airways en los dos mercados no son iguales. Qantas Airways paga 2% más que General Electric en el mercado de dólares estadounidenses y sólo 0.4% más que esta empresa en el mercado de dólares australianos.

Esta situación es semejante a la que se presenta en la tabla 7.4. General Electric tiene una ventaja comparativa en el mercado de dólares estadounidenses, en tanto que Qantas Airways la tiene en el mercado de dólares australianos. En la tabla 7.4, en la que se consideró un swap plain vanilla de tasas de interés, argumentamos que las ventajas comparativas son ilusorias en gran medida. Aquí, comparamos las tasas ofrecidas en dos monedas diferentes y es más probable que las ventajas comparativas sean reales. Una posible fuente de ventaja comparativa son los impuestos. La situación de General Electric podría ser tal que los préstamos en dólares estadounidenses generaran impuestos más bajos sobre su ingreso mundial que los préstamos en dólares australianos. La posición de Qantas Airways podría ser lo contrario. (Observe que asumimos que las tasas de interés presentadas en la tabla 7.6 se ajustaron para reflejar estos tipos de ventajas fiscales).

Supongamos que General Electric desea adquirir en préstamo AUD $20 millones, que Qantas Airways desea adquirir en préstamo USD $15 millones y que el tipo de cambio actual (dólares estadounidenses por dólares australianos) es de 0.7500. Esto crea una situación perfecta para un swap de divisas. General Electric y Qantas Airways adquieren préstamos en el mercado donde tienen una ventaja comparativa; es decir, General Electric adquiere en préstamo dólares estadounidenses y Qantas Airways adquiere en préstamo dólares australianos. Entonces, usan un swap de divisas pa-

Tabla 7.6 Tasas de endeudamiento que proporcionan una base para un swap de divisas

	*USD**	*AUD**
General Electric	5.0%	7.6%
Qantas Airways	7.0%	8.0%

*Las tasas cotizadas se ajustaron para reflejar el efecto diferencial de los impuestos.

Figura 7.10 Swap de divisas motivado por una ventaja comparativa

ra transformar el préstamo de General Electric en un préstamo en dólares australianos y el préstamo de Qantas Airways en un préstamo en dólares estadounidenses.

Como ya mencionamos, la diferencia entre las tasas de interés en dólares estadounidenses es de 2%, en tanto que la diferencia entre las tasas de interés en dólares australianos es de 0.4%. Por analogía con el caso del swap de tasas de interés, esperamos que la ganancia total para todas las partes sea de $2.0 - 0.4 = 1.6\%$ anual.

Hay muchas formas de arreglar un swap. La figura de 7.10 muestra una manera de participar en swaps con una institución financiera. General Electric adquiere en préstamo dólares estadounidenses y Qantas Airways adquiere en préstamo dólares australianos. El efecto del swap es transformar la tasa de interés en dólares estadounidenses de 5% anual a una tasa de interés en dólares australianos de 6.9% anual para General Electric. En consecuencia, General Electric termina ganando 0.7% anual por arriba de lo que ganaría si recurriera directamente a los mercados de dólares australianos. Del mismo modo, Qantas intercambia un préstamo en dólares australianos a 8% anual por un préstamo en dólares estadounidenses a 6.3% anual y termina ganando 0.7% anual por arriba de lo que ganaría si recurría directamente a los mercados de dólares estadounidenses. La institución financiera gana 1.3% anual sobre sus flujos de efectivo en dólares estadounidenses y pierde 1.1% anual sobre sus flujos en dólares australianos. Si ignoramos la diferencia entre las dos monedas, la institución financiera obtiene una ganancia neta de 0.2% anual. Como se predijo, la ganancia total para todas las partes es de 1.6% anual.

Cada año, la institución financiera obtiene una ganancia de USD \$195,000 (= 1.3% de \$15 millones) e incurre en una pérdida de AUD \$220 mil (= 1.1% de AUD \$20 millones). La institución financiera puede evitar cualquier riesgo cambiario y compra AUD \$220,000 al año en el mercado a plazo durante cada año de la vida del swap, asegurando así una ganancia neta en dólares estadounidenses.

Es posible rediseñar el swap de tal manera que la institución financiera obtenga un diferencial de 0.2% en dólares estadounidenses. Las figuras 7.11 y 7.12 presentan dos alternativas. Es poco probable que estas alternativas se utilicen en la práctica porque no liberan a General Electric y Qantas del riesgo cambiario.[9] En la figura 7.11, Qantas asume cierto riesgo cambiario porque paga 1.1% anual en dólares australianos y 5.2% anual en dólares estadounidenses. En la figura 7.12, General Electric asume cierto riesgo cambiario porque recibe 1.1% anual en dólares estadounidenses y paga 8% anual en dólares australianos.

Figura 7.11 Acuerdo alternativo para un swap de divisas: Qantas Airways asume algún riesgo cambiario

[9] Por lo general tiene sentido para la institución financiera asumir el riesgo cambiario porque está en la mejor posición para cubrir el riesgo.

Figura 7.12 Acuerdo alternativo para un swap de divisas: General Electric asume algún riesgo cambiario

7.9 VALUACIÓN DE SWAPS DE DIVISAS

Al igual que los swaps de tasas de interés, los swaps de divisas fijo por fijo se pueden descomponer en la diferencia entre dos bonos o en una cartera de contratos a plazo.

Valuación en términos de precios de bonos

Si definimos V_{swap} como el valor en dólares estadounidenses de un swap vigente en el que se reciben dólares y se paga en moneda extranjera, entonces

$$V_{\text{swap}} = B_D - S_0 B_F$$

donde B_F es el valor, medido en la moneda extranjera, del bono definido por los flujos de efectivo en moneda extranjera sobre el swap, B_D es el valor del bono definido por los flujos de efectivo en moneda doméstica sobre el swap y S_0 es el tipo de cambio spot (expresado como un número de dólares por unidad de moneda extranjera). Por lo tanto, el valor de un swap puede determinarse a partir de las tasas LIBOR en las dos monedas, la estructura temporal de las tasas de interés en la moneda doméstica y el tipo de cambio spot.

Del mismo modo, el valor de un swap en el que se recibe la moneda extranjera y se paga en dólares es

$$V_{\text{swap}} = S_0 B_F - B_D$$

El ejemplo 7.6 ilustra el uso de esta fórmula.

Valuación como una cartera de contratos a plazo

Cada intercambio de pagos en un swap de divisas fijo por fijo es un contrato de tipo de cambio a plazo. Como se muestra en la sección 5.7, los contratos de tipo de cambio a plazo se valúan asumiendo que se obtienen tasas a plazo. Los tipos de cambio a plazo se calculan con base en la ecuación (5.9). El ejemplo 7.7 ilustra este sistema.

El valor de un swap de divisas es normalmente de cero cuando se negocia por primera vez. Si los dos principales valen exactamente lo mismo usando el tipo de cambio al inicio del swap, el valor del swap es también de cero inmediatamente después del intercambio inicial del principal. No obstante, al igual que en el caso de los swaps de tasas de interés, esto no significa que cada uno de los contratos a plazo individuales subyacentes al swap tenga un valor de cero. Es posible mostrar que, cuando las tasas de interés en dos monedas son significativamente diferentes, el pagador de la moneda con tasa de interés alta está en una situación en la que los contratos a plazo correspondientes a los intercambios iniciales de flujos de efectivo tienen valores negativos y el contrato a plazo correspondiente al intercambio final de los principales tiene un valor positivo. (Ésta es la situación que se observa en la tabla del ejemplo 7.7). Es probable que el pagador de la moneda con tasa de

Ejemplo 7.6 Valuación de swaps de divisas en términos de bonos

Suponga que la estructura temporal de las tasas de interés LIBOR/swap es plana tanto en Japón como en Estados Unidos de América. La tasa japonesa es de 4% anual y la estadounidense es de 9% anual (ambas con una composición continua). Una institución financiera ingresó en un swap de divisas en el que recibe 5% anual en yenes y paga 8% anual en dólares una vez al año. Los principales en las dos monedas son $10 millones y 1,200 millones de yenes. El swap durará tres años más y el tipo de cambio actual es de 110 yenes = $1. Los cálculos se resumen en la tabla siguiente (todos los montos se indican en millones):

Tiempo	*Flujos de efectivo sobre el bono en dólares ($)*	*Valor presente ($)*	*Flujos de efectivo sobre el bono en yenes (yen)*	*Valor presente (yen)*
1	0.8	0.7311	60	57.65
2	0.8	0.6682	60	55.39
3	0.8	0.6107	60	53.22
3	10.0	7.6338	1,200	1,064.30
Total		9.6439		1,230.55

En este caso, los flujos de efectivo del bono en dólares subyacente al swap se muestran en la segunda columna. El valor presente de los flujos de efectivo usando la tasa de descuento en dólares de 9% se muestra en la tercera columna. Los flujos de efectivo del bono en yenes subyacentes al swap se muestran en la cuarta columna de la tabla. El valor presente de los flujos de efectivo usando la tasa de descuento en yenes de 4% se muestra en la última columna de la tabla.

El valor del bono en dólares, B_D, es de 9.6439 millones de dólares. El valor del bono en yenes es de 1,230.55 millones de yenes. Por lo tanto, el valor del swap en dólares es de

$$\frac{1,230.55}{110} - 9.6439 = 1.5430 \text{ millones}$$

interés baja esté en la situación contraria; es decir, que los intercambios iniciales de flujos de efectivo tengan valores positivos y que el intercambio final tenga un valor negativo.

En el caso del pagador de la moneda con tasa de interés baja, el swap tenderá a tener un valor negativo durante la mayor parte de su vida. Los contratos a plazo correspondientes a los intercambios iniciales de pagos tienen valores positivos y, una vez que se han realizado estos intercambios, hay una tendencia a que los contratos a plazo restantes tengan, en total, un valor negativo. En el caso del pagador de la moneda con tasa de interés alta, ocurre lo contrario. El valor del swap tenderá a ser positivo durante la mayor parte de su vida. Estos resultados son importantes al evaluar el riesgo de crédito del swap.

7.10 RIESGO DE CRÉDITO

Los contratos como los swaps, que son acuerdos privados entre dos empresas, conllevan riesgos de crédito. Considere el caso de una institución financiera que participa en contratos de compensación con dos empresas (vea las figuras 7.4, 7.5 o 7.7). Si todas las partes incumplen sus pagos, la

Ejemplo 7.7 Valuación de swaps de divisas en términos de contratos a plazo

Considere nuevamente la situación descrita en el ejemplo 7.6. La estructura temporal de las tasas de interés LIBOR/swap es plana tanto en Japón como en Estados Unidos de América. La tasa japonesa es de 4% anual y la estadounidense es de 9% anual (ambas con una composición continua). Una institución financiera ingresa en un swap de divisas en el que recibe 5% anual en yenes y paga 8% anual en dólares una vez al año. Los principales en las dos monedas son 10 millones de dólares y 1,200 millones de yenes. El swap durará tres años más y el tipo de cambio actual es de 110 yenes = 1 dólar. Los cálculos se resumen en la tabla siguiente (todos los montos se indican en millones).

Tiempo	*Flujo de efectivo en dólares*	*Flujo de efectivo en yenes*	*Tipo de cambio a plazo*	*Valor en dólares del flujo de efectivo en yenes*	*Flujo de efectivo neto (dólares)*	*Valor presente*
1	−0.8	60	0.009557	0.5734	−0.2266	−0.2071
2	−0.8	60	0.010047	0.6028	−0.1972	−0.1647
3	−0.8	60	0.010562	0.6337	−0.1663	−0.1269
3	−10.0	1,200	0.010562	12.6746	+2.6746	2.0417
Total						1.5430

La institución financiera paga $0.08 \times 10 = \$0.8$ millones y recibe $1{,}200 \times 0.05 = 60$ millones de yenes cada año. Además, se paga el principal en dólares de \$10 millones y se recibe el principal en yenes de 1,200 al final del año 3. El tipo de cambio spot actual es de 0.009091 dólares por yen. En este caso, $r = 4\%$ y $r_f = 9\%$, así que la tasa a plazo a un año es, con base en la ecuación (5.9), de $0.009091e^{(0.09\text{-}0.04)\times 1} = 0.009557$. Así se calcularon también las tasas a plazo a dos y tres años de la tabla. Los contratos a plazo subyacentes al swap se valúan asumiendo que se obtienen tasas a plazo. Si se obtiene la tasa a plazo a un año, el valor del flujo de efectivo en yenes al final del año 1 será de $60 \times 0.009557 = \$0.5734$ millones y el flujo de efectivo neto al final del año 1 será de $0.8 - 0.5734 = -\$0.2266$ millones. Esto tiene un valor presente de $-0.2266e^{-0.09\times 1} = -\$0.2071$ millones. Éste es el valor del contrato a plazo correspondiente al intercambio de flujos de efectivo al final del año 1. El valor de los otros contratos a plazo se calcula del mismo modo. Como se muestra en la tabla, el valor del swap es de 1.5430. Esto está de acuerdo con el valor que calculamos en el ejemplo 7.6 al descomponer el swap y en una posición larga en un bono y una posición corta en el otro.

institución financiera permanece totalmente cubierta. Una disminución del valor de un contrato siempre se compensará con un incremento del valor del otro contrato. Sin embargo, existe la posibilidad de que una parte experimente dificultades financieras e incumpla sus pagos. Aún así, la institución financiera debe cumplir el contrato que tiene con la otra parte.

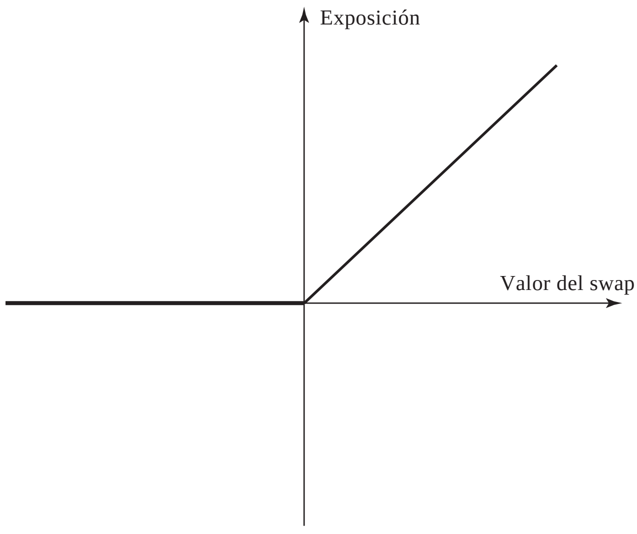
Supongamos que algún tiempo después del inicio de los contratos de la figura 7.4, el contrato con Microsoft tiene un valor positivo para la institución financiera, en tanto que el contrato con Intel tiene un valor negativo. Si Microsoft incumple sus pagos, es posible que la institución financiera pierda todo el valor positivo que tiene en este contrato. Para mantener una posición cubierta, tendría que encontrar un tercero dispuesto a tomar la posición de Microsoft. Para persuadir al tercero a que tome la posición, la institución financiera tendría que pagarle un monto aproximadamente igual al valor de su contrato con Microsoft antes del incumplimiento.

Una institución financiera tiene una exposición al riesgo de crédito de un swap únicamente cuando el valor de éste es positivo para la institución. ¿Qué ocurre cuando este valor es negativo y la contraparte experimenta dificultades financieras? En teoría, la institución financiera podría obtener una ganancia inesperada porque un incumplimiento daría lugar a que se deshiciera de un pasivo. En la práctica, es probable que la contraparte decida vender el contrato a un tercero o que reestructure sus negocios a fin de no perder su valor positivo en el contrato. El supuesto más realista para la institución financiera es el siguiente. Si la contraparte cae en bancarrota, habrá una pérdida si el valor del swap es positivo para la institución financiera, pero no producirá ningún efecto en la posición de la institución financiera si para ésta el valor del swap es negativo. La figura 7.13 resume esta situación.

Las pérdidas potenciales por incumplimientos sobre un swap son mucho menores que las pérdidas potenciales por incumplimiento sobre un préstamo con el mismo principal. Esto se debe a que el valor del swap suele ser sólo una pequeña fracción del valor del préstamo. Las pérdidas potenciales por incumplimientos sobre un swap de divisas son mayores que por incumplimientos sobre un swap de tasas de interés. La razón es que, como se intercambian montos de principal en dos monedas diferentes al final de la vida de un swap de divisas, éste es susceptible a tener un valor mayor al momento de un incumplimiento que un swap de tasas de interés.

Es importante distinguir entre el riesgo de crédito y el riesgo de mercado para una institución financiera en cualquier contrato. Como analizamos anteriormente, el riesgo de crédito surge debido a la posibilidad de un incumplimiento de la contraparte cuando el valor del contrato para la institución financiera es positivo. El riesgo de mercado surge debido a la posibilidad de que las variables de mercado, como las tasas de interés y los tipos de cambio, cambien de tal manera que el valor de un contrato para la institución financiera se vuelva negativo. Los riesgos de mercado pueden cubrirse participando en contratos de compensación; los riesgos de crédito son más difíciles de cubrir.

Figura 7.13 Exposición de crédito en un swap



Panorámica de negocios 7.2 La historia de Hammersmith y Fulham

Entre 1987 y 1989, el distrito londinense de Hammersmith y Fulham del Reino Unido participaron en 600 swaps de tasas de interés e instrumentos relacionados con un principal nocional total aproximado de £6,000 millones. Al parecer, las transacciones se realizaron por razones especulativas más que con fines de cobertura. Los dos empleados de Hammersmith y Fulham responsables de las transacciones tenían sólo una comprensión superficial de los riesgos que asumían y de cómo funcionaban los productos que negociaban.

Para 1989, debido a las variaciones en las tasas de interés de la libra esterlina, Hammersmith y Fulham perdieron varios cientos de millones de libras en los swaps. Para los bancos que integraban la otra parte de las transacciones, los swaps valieron varios cientos de millones de libras. Los bancos estaban preocupados por el riesgo de crédito. Habían ingresado en swaps de compensación para cubrir sus riesgos de tasa de interés. Si Hammersmith y Fulham no cumplía con sus pagos, aún tendrían que cumplir sus obligaciones sobre los swaps de compensación y experimentarían una enorme pérdida.

Lo que ocurrió fue algo un poco distinto de un incumplimiento. El auditor de Hammersmith y Fulham solicitó la anulación de las transacciones debido a que Hammersmith y Fulham no tenía la autoridad para participar en ellas. Las cortes británicas estuvieron de acuerdo. El caso se apeló y llegó hasta la Cámara de los Lores, la más alta corte del Reino Unido. La decisión final fue que Hammersmith y Fulham no tenía la autoridad para ingresar en los swaps, pero que debía tenerla para hacerlo en el futuro con fines de administración de riesgos. No hace falta decir que los bancos se enfurecieron porque las cortes anularon sus contratos en esta forma.

La Panorámica de negocios 7.2 describe una de las historias más extrañas de los mercados de swaps. Concierne a la autoridad local inglesa, Hammersmith y Fulham, y muestra que, además de asumir riesgos de crédito y de mercado, los bancos que negocian swaps asumen en ocasiones riesgo legal.

7.11 OTROS TIPOS DE SWAPS

En este capítulo hemos abordado los swaps de tasas de interés, en los que la tasa LIBOR se intercambia por una tasa de interés fija, y los swaps de divisas, en los que una tasa de interés fija en una moneda se intercambia por una tasa de interés fija en otra moneda. Hay muchos otros tipos de swaps que se negocian; analizaremos muchos de ellos en el capítulo 20. Aquí presentamos un resumen.

Variaciones del swap estándar de tasas de interés

En los swaps de tasas de interés fijo por variable, la tasa LIBOR es la tasa de interés variable de referencia más común. En los ejemplos presentados en este capítulo, la naturaleza (es decir, la frecuencia de pago) de la tasa LIBOR ha sido de seis meses, pero se negocian regularmente swaps en los que la naturaleza de la tasa LIBOR es de un mes, tres meses y 12 meses. La naturaleza del lado variable no necesita concordar con la del lado fijo. (De hecho, como se señaló en la nota al pie 3, en el swap de tasas de interés estándar de Estados Unidos de América se realizan pagos trimestrales de la tasa LIBOR y pagos fijos semestrales). La tasa LIBOR es la tasa variable más común, pero otras se usan ocasionalmente, como la tasa del papel comercial (PC). A veces se negocian swaps de tasas de interés variable por variable. Por ejemplo, la tasa PC a tres meses más 10 puntos base se podría intercambiar por la tasa LIBOR a tres meses, aplicando ambas al mismo principal. (Este acuerdo permitiría a una empresa cubrir su exposición cuando sus activos y pasivos están sujetos a diferentes tasas variables).

El principal en un acuerdo de swap puede variar a lo largo del plazo del swap para satisfacer las necesidades de una contraparte. En un *swap amortizable*, el principal disminuye de manera predeterminada. (Esto podría diseñarse para que concuerde con el plan de amortización de un préstamo). En un *swap step-up*, el principal aumenta de manera predeterminada. (Esto podría diseñarse para que concuerde con las disposiciones en un acuerdo de préstamo). También pueden negociarse *swaps diferidos* o *swaps a plazo*, en los que las partes no comienzan a intercambiar los pagos de intereses sino hasta alguna fecha futura. En ocasiones se negocian swaps en los que el principal al que se aplican los pagos fijos es diferente del principal al que se aplican los pagos variables.

Un *swap de vencimiento constante* (swap CMS, por sus siglas en inglés, constant maturity swap) es un acuerdo que consiste en intercambiar una tasa LIBOR con una tasa swap. Un ejemplo podría ser un acuerdo para intercambiar la tasa LIBOR a seis meses aplicada a cierto principal por la tasa swap a 10 años aplicada al mismo principal, cada seis meses durante los cinco años siguientes. Un *swap del Tesoro de vencimiento constante* (swap CMT, por sus siglas en inglés, constant maturity Treasury) es un acuerdo similar para intercambiar una tasa LIBOR por una tasa del Tesoro específica (por ejemplo, la tasa del Tesoro a 10 años).

En un *swap de composición*, el interés sobre uno o ambos lados se compone durante la vida del swap de acuerdo con reglas preestablecidas y sólo hay una fecha de pago al final de la vida del swap. En un *swap LIBOR-in-arrears*, la tasa LIBOR observada en una fecha de pago se usa para calcular el pago en esa fecha. (Como se explicó en la sección 7.1, en un acuerdo estándar, la tasa LIBOR observada en una fecha de pago se usa para determinar el pago en la fecha siguiente). En un *swap acumulado*, el interés de un lado del swap se acumula sólo cuando la tasa de referencia variable está en determinado nivel.

Otros swaps de divisas

En este capítulo hemos considerado los swaps de divisas fijo por fijo. Otro tipo de swap es el swap de divisas fijo por variable, en el que una tasa variable (usualmente la tasa LIBOR) en una moneda se intercambia por una tasa fija en otra moneda. Este swap es una combinación de un swap de tasas de interés fijas por variables y un swap de divisas fijo por fijo y se conoce como *swap de tasas de interés de divisas cruzadas*. Otro tipo más de swap de divisas es un *swap de divisas variable por variable*, en el que una tasa variable en una moneda se intercambia por una tasa variable en otra moneda.

En ocasiones, una tasa observada en una moneda se aplica a un monto de principal en otra moneda. Un acuerdo de este tipo sería uno en el que la tasa LIBOR a tres meses observada en Estados Unidos de América se intercambia por la tasa LIBOR a tres meses observada en el Reino Unido, aplicando ambos principales a un principal de £10 millones. Este tipo de swap se conoce como *swap de diferenciales* o *quanto*.

Swaps de acciones

Un *swap de acciones* es el acuerdo de intercambiar el rendimiento total (dividendos y ganancias de capital) obtenido sobre un índice accionario por una tasa de interés fija o variable. Por ejemplo, el rendimiento total sobre el índice S&P 500 en periodos sucesivos de seis meses se podría intercambiar por la tasa LIBOR, aplicando ambos al mismo principal. Los administradores de cartera usan swaps de acciones para convertir los rendimientos de una inversión fija o variable en los rendimientos de una inversión en un índice accionario, y viceversa.

Opciones

En ocasiones hay opciones incluidas en un acuerdo de swap. Por ejemplo, en un *swap prorrogable*, una parte tiene la opción de prolongar la vida del swap más allá del periodo especificado. En un *swap redimible*, una de las partes tiene la opción de concluir el swap antes de su vencimiento. También están disponibles opciones sobre swaps, o *swaptions*. Éstas otorgan a una parte el derecho, en una fecha futura, de ingresar en un swap en el que una tasa fija predeterminada se intercambia por una tasa variable.

Swaps de commodity, swaps de volatilidad y otros

Los *swaps de commodity* son, en esencia, una serie de contratos a plazo sobre un commodity (mercancía) con diferentes fechas de vencimiento y los mismos precios de entrega. En un *swap de volatilidad*, hay series de periodos. Al final de cada periodo, una parte paga una volatilidad predeterminada, en tanto que la otra parte paga la volatilidad histórica obtenida durante el periodo. Ambas volatilidades se multiplican por el mismo principal nocional al calcular los pagos.

El único límite de los swaps es la imaginación de los ingenieros financieros y el deseo de los tesoreros corporativos y administradores de fondos por estructuras exóticas. En el capítulo 20 describiremos el famoso swap 5/30 entre Procter and Gamble y Bankers Trust, en el que los pagos dependieron en forma compleja de la tasa del papel comercial a 30 días, el precio de un bono del Tesoro a 30 años y el rendimiento sobre un bono del Tesoro a cinco años.

RESUMEN

Los dos tipos más comunes de swaps son los swaps de tasas de interés y los swaps de divisas. En un swap de tasas de interés, una parte acuerda pagar a la otra parte intereses a una tasa fija sobre un principal nocional durante cierto número de años. A cambio, recibe intereses a una tasa variable sobre el mismo principal nocional durante el mismo periodo. En un swap de divisas, una parte acuerda pagar intereses sobre un monto de principal en una moneda. A cambio, recibe intereses sobre un monto de principal en otra moneda.

Por lo general, los montos de principal no se intercambian en un swap de tasas de interés. En un swap de divisas, los montos de principal se intercambian usualmente tanto al inicio como al final de la vida del swap. En el caso de una parte que paga intereses en moneda extranjera, recibe el principal en moneda extranjera y paga el principal en moneda doméstica al inicio de la vida del swap. Al final de la vida del swap paga el principal en moneda extranjera y recibe el principal en moneda doméstica.

Un swap de tasas de interés se puede usar para transformar un préstamo de tasa variable en un préstamo de tasa fija o viceversa. También se utiliza para transformar una inversión de tasa variable en una inversión de tasa fija, o viceversa. Un swap de divisas se usa para transformar un préstamo en una moneda en un préstamo en otra moneda. Además, se utiliza para transformar una inversión denominada en una moneda en una inversión denominada en otra moneda.

Hay dos formas de valuar los swaps de tasas de interés y de divisas. En la primera, el swap se descompone en una posición larga en un bono y una posición corta en otro bono; en la segunda, el swap se considera como una cartera de contratos a plazo.

Una institución financiera se expone al riesgo de crédito cuando participa en un par de swaps de compensación con diferentes contrapartes. Si una de las contrapartes incumple sus pagos cuando la institución financiera tiene un valor positivo en su swap con esa contraparte, la institución financiera pierde dinero debido a que aún debe cumplir su acuerdo de swap con la otra contraparte.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Baz, J. y M. Pascutti. "Alternative Swap Contracts Analysis and Pricing", *Journal of Derivatives* (invierno de 1996), pp. 7-21.

Brown, K.C. y D.J. Smith. *Interest Rate and Currency Swaps: A Tutorial*. Association for Investment Management and Research, 1996.

Cooper, I. y A. Mello. "The Default Risk in Interest Rate Swaps", *Journal of Finance*, 46, 2 (1991), pp. 597-620.

Dattatreya, R.E. y K. Hotta. *Advanced Interest Rate and Currency Swaps: State-of-the Art Products, Strategies, and Risk Management Applications*, Irwin, 1993.

Flavell, R. *Swaps and Other Instruments*. Chichester: Wiley, 2002.

Gupta, A. y M.G. Subrahmanyam. "An Empirical Examination of the Convexity Bias in the Pricing of Interest Rate Swaps", *Journal of Financial Economics*, 55, 2 (2000), pp. 239-79.

Litzenberger, R.H. "Swaps: Plain and Fanciful", *Journal of Finance*, 47, 3 (1992), pp. 831-50.

Minton, B.A. "An Empirical Examination of the Basic Valuation Models for Interest Rate Swaps", *Journal of Financial Economics*, 44, 2 (1997), pp. 251-77.

Sun, T., S. Sundaresan, y C. Wang. "Interest Rate Swaps: An Empirical Investigation", *Journal of Financial Economics*, 34, 1 (1993), pp. 77-99.

Titman, S. "Interest Rate Swaps and Corporate Financing Choices", *Journal of Finance*, 47, 4 (1992), pp. 1503-16.

Examen (respuestas al final del libro)

7.1. A las empresas A y B les ofrecieron las siguientes tasas anuales sobre un préstamo a cinco años de $20 millones:

	Tasa fija	*Tasa variable*
Empresa A:	5.0%	LIBOR + 0.1%
Empresa B:	6.4%	LIBOR + 0.6%

La empresa A requiere un préstamo de tasa variable; la empresa B requiere un préstamo de tasa fija. Diseñe un swap que proporcione a un banco, actuando como intermediario, 0.1% anual y que parezca igualmente atractivo para ambas empresas.

7.2. Un swap de tasas de interés de $100 millones tiene una vida restante de 10 meses. Bajo los términos del swap, la tasa LIBOR a seis meses se intercambia por una tasa de interés de 7% anual (compuesta semestralmente). El promedio de la tasa de interés de demanda y oferta que se intercambia por la tasa LIBOR a seis meses en swaps de todos los vencimientos es actualmente de 5% anual con una composición continua. La tasa LIBOR a seis meses fue de 4.6% anual hace dos meses. ¿Cuál es el valor actual del swap para la parte que paga la tasa variable? ¿Cuál es su valor para la parte que paga la tasa fija?

7.3. La empresa X desea adquirir en préstamo dólares estadounidenses a una tasa de interés fija. La empresa Y desea adquirir en préstamo yenes japoneses a una tasa de interés fija. Los montos que requieren las dos empresas son aproximadamente iguales al tipo de cambio actual. Se ajustaron las siguientes tasas de interés para reflejar el impacto de los impuestos:

	Yenes	*Dólares*
Empresa X:	5.0%	9.6%
Empresa Y:	6.5%	10.0%

Diseñe un swap que proporcione a un banco, actuando como intermediario, 50 puntos base por año. Haga que el swap sea igualmente atractivo para las dos empresas y asegúrese de que el banco asumirá todo el riesgo cambiario.

7.4. Explique qué es una tasa swap. ¿Cuál es la relación entre las tasas swap y los rendimientos a la par?

7.5. Un swap de divisas tiene una vida restante de 15 meses. Requiere intercambiar un interés de 10% sobre £20 millones por un interés de 6% sobre $30 millones una vez al año. Actualmente, la estructura temporal de las tasas de interés tanto en el Reino Unido como en Estados Unidos de América es plana y, si el swap se negociara hoy, las tasas de interés intercambiadas serían de 4% en dólares y de 7% en libras esterlinas. Todas las tasas de interés se cotizan con una composición anual. Si el tipo de cambio (dólares por libra esterlina) es de 1.8500. ¿Cuál es el valor del swap para la parte que paga en libras esterlinas? ¿Cuál es el valor del swap para la parte que paga en dólares?

7.6. Explique la diferencia entre el riesgo de crédito y el riesgo de mercado en un contrato financiero.

7.7. Un tesorero corporativo le dice que acaba de negociar un préstamo a cinco años a una tasa de interés fija competitiva de 5.2%. El tesorero explica que logró la tasa de 5.2% adquiriendo un préstamo a la tasa LIBOR a seis meses más 150 puntos base e intercambiando la tasa LIBOR por 3.7%. Continúa diciendo que esto fue posible debido a que su empresa tiene una ventaja comparativa en el mercado de tasa variable. ¿Que pasó por alto el tesorero?

Preguntas y problemas

7.8. Explique por qué un banco está sujeto al riesgo de crédito cuando participa en dos contratos de swap de compensación.

7.9. A las empresas X y Y se les ofrecieron las siguientes tasas anuales sobre una inversión de $5 millones a 10 años:

	Tasa fija	*Tasa variable*
Empresa X:	8.0%	LIBOR
Empresa Y:	8.8%	LIBOR

La empresa X requiere una inversión de tasa fija; la empresa Y requiere una inversión de tasa variable. Diseñe un swap que proporcione a un banco, actuando como intermediario, 0.2% anual y que parezca igualmente atractivo para las empresas X y Y.

7.10. Una institución financiera inició un swap de tasas de interés con la empresa X. Bajo los términos del swap recibe 10% anual y paga la tasa LIBOR a seis meses sobre un principal de 10 millones de dólares durante cinco años. Los pagos se realizan cada seis meses. Suponga que la empresa X no cumple con la sexta fecha de pago (fin del año 3) cuando la tasa de interés (con una composición semestral) es de 8% anual para todos los vencimientos. ¿Cuál es la pérdida para la institución financiera? Asuma que la tasa LIBOR a seis meses fue de 9% anual a la mitad del año 3.

7.11. Una institución financiera participa en un swap de divisas a 10 años con la empresa Y. Bajo los términos del swap, la institución financiera recibe un interés de 3% anual en francos suizos y paga un interés de 8% anual en dólares estadounidenses. Los pagos de intereses se intercambian una vez al año. Los montos de principal son de $7 millones y de 10 millones de francos. Suponga que la empresa Y se declara en quiebra al final del año 6, cuando el tipo de cambio es de $0.80 por franco. ¿Cuál es el costo para la institución financiera? Asuma que, al final del año 6, la tasa de interés es de 3% anual en francos suizos y de 8% anual en dólares estadounidenses para todos los vencimientos. Todas las tasas de interés se cotizan con una composición anual.

7.12. Las empresas A y B se enfrentan a las siguientes tasas de interés (ajustadas para reflejar el impacto diferencial de los impuestos):

	A	*B*
Dólares estadounidenses (tasa variable):	LIBOR + 0.5%	LIBOR + 1.0%
Dólares canadienses (tasa fija):	5.0%	6.5%

Asuma que la empresa A desea adquirir en préstamo dólares estadounidenses a una tasa de interés variable y que la empresa B desea adquirir en préstamo dólares canadienses a una tasa de interés fija. Una institución financiera planea concertar un swap y requiere un diferencial de 50 puntos base. Para que el swap les parezca igualmente atractivo a las empresas A y B, ¿qué tasas de interés terminarán pagando estas empresas?

7.13. Después de cubrir su riesgo cambiario usando contratos a plazo, ¿es probable que el diferencial promedio de la institución financiera de la figura 7.10 sea mayor o menor de 20 puntos base? Explique su respuesta.

7.14. "Las empresas con riesgos de crédito altos no pueden tener acceso directo a los mercados de tasa fija. Éstas son las empresas que muy probablemente pagarán una tasa fija y recibirán una tasa variable en un swap de tasas de interés". Asuma que esta afirmación es cierta. ¿Considera que aumenta o disminuye el riesgo de la cartera de swaps de una institución financiera? Asuma que es muy probable que las empresas incumplan sus pagos cuando las tasas de interés sean altas.

7.15. ¿Por qué es la pérdida esperada de un incumplimiento sobre un swap menor que la pérdida esperada del incumplimiento sobre un préstamo con el mismo principal?

7.16. Un banco descubre que sus activos no concuerdan con sus pasivos, ya que recibe depósitos de tasa variable y realiza préstamos de tasa fija. ¿De qué manera puede usar swaps para compensar el riesgo?

7.17. Explique cómo valuaría un swap que consiste en el intercambio de una tasa variable en una moneda por una tasa fija en otra moneda.

7.18. La curva LIBOR cero es plana en una tasa de 5% (continuamente compuesta) hasta 1.5 años. Las tasas para swaps de pago semestral a 2 y 3 años son de 5.4% y 5.6%, respectivamente. Calcule las tasas LIBOR cero para vencimientos de 2.0, 2.5 y 3.0 años. (Asuma que la tasa swap a 2.5 años es el promedio de las tasas swap a 2 y 3 años).

Preguntas de tarea

7.19. La tasa LIBOR a un año es de 10%. Un banco negocia swaps en los que se intercambia una tasa de interés fija por la tasa LIBOR a 12 meses, con pagos que se intercambian anualmente. Las tasas swap a dos y tres años (expresadas con una composición anual) son de 11% y 12% anual. Calcule las tasas LIBOR cero a dos y tres años.

7.20. La empresa A, un fabricante británico, desea adquirir en préstamo dólares estadounidenses a una tasa de interés fija. La empresa B, una multinacional estadounidense, desea adquirir en préstamo libras esterlinas a una tasa de interés fija. Les han cotizado las siguientes tasas anuales (ajustadas para reflejar su diferencia de los impuestos):

	Libras esterlinas	*Dólares estadounidenses*
Empresa A:	11.0%	7.0%
Empresa B:	10.6%	6.2%

Diseñe un swap que proporcione a un banco, actuando como intermediario, 10 puntos base por año y que produzca una ganancia de 15 puntos base por año para cada una de las dos empresas.

7.21. Bajo los términos de un swap de tasas de interés, una institución financiera acordó pagar 10% anual y recibir a cambio la tasa LIBOR a tres meses sobre un principal nocional de $100 millones, con intercambios de pagos cada tres meses. Al swap aún le restan 14 meses de vida. El promedio de las tasas fijas de demanda y oferta que se intercambian actualmente por la tasa LIBOR a tres meses, es de 12% anual para todos los vencimientos. Hace un mes, la tasa LIBOR a tres meses era de 11.8% anual. Todas las tasas se componen trimestralmente. ¿Cuál es el valor del swap?

7.22. Suponga que la estructura temporal de las tasas de interés es plana en Estados Unidos de América y Australia. La tasa de interés estadounidense es de 7% anual y la australiana es de 9% anual. El valor actual del dólar australiano es de 0.62 dólares estadounidenses. Bajo los términos de un acuerdo de swap, una institución financiera paga 8% anual en dólares australianos y recibe 4% anual en dólares estadounidenses. Los principales en las dos monedas son 12 millones de dólares estadounidenses y 20 millones de dólares australianos. Los pagos se intercambian cada año, habiendo realizado el último recientemente. El swap durará dos años más. ¿Cuál es el valor del swap para la institución financiera? Asuma que todas las tasas de interés se cotizan con una composición continua.

7.23. La empresa X tiene su sede en el Reino Unido y le gustaría adquirir en préstamo $50 millones en fondos estadounidenses a una tasa de interés fija durante cinco años. Como la empresa no es muy conocida en Estados Unidos de América, esto ha resultado imposible; no obstante, recibió una cotización de 12% anual sobre fondos en libras esterlinas de tasa fija a cinco años. La empresa Y se ubica en Estados Unidos de América y le gustaría adquirir en préstamo el equivalente a $50 millones en fondos en libras esterlinas a una tasa de interés fija durante cinco años. No ha logrado conseguir una cotización, pero le han ofrecido fondos en dólares estadounidenses a 10.5% anual. Actualmente, los bonos del gobierno a cinco años generan un rendimiento de 9.5% anual en Estados Unidos de América, y de 10.5% en el Reino Unido. Sugiera un swap de divisas adecuado que dé al intermediario financiero 0.5% anual.

8

CAPÍTULO

Mecánica de los mercados de opciones

El resto de este libro trata, en su mayor parte, de las opciones. Este capítulo explica cómo se organizan los mercados de opciones, qué terminología se usa, de qué manera se negocian los contratos, en qué forma se establecen los requisitos de margen, etc. En capítulos posteriores se analizarán temas como las estrategias de negociación que incluyen opciones, la determinación de los precios de opciones y las maneras de cubrir carteras de opciones. Este capítulo aborda principalmente las opciones sobre acciones. Los capítulos 13 y 14 proporcionan detalles relacionados con los mercados de opciones sobre divisas, opciones sobre índices y opciones sobre futuros.

Las opciones son fundamentalmente distintas de los contratos a plazo y de futuros. Una opción otorga a su tenedor el derecho a hacer algo. El tenedor no requiere ejercer este derecho. Por el contrario, en un contrato a plazo o de futuros, ambas partes se comprometen a realizar alguna acción. A un negociante no le cuesta nada (excepto los requisitos de margen) ingresar en un contrato a plazo o de futuros, en tanto que la compra de una opción requiere un pago por adelantado.

8.1 TIPOS DE OPCIONES

Como se mencionó en el capítulo 1, hay dos tipos básicos de opciones. Una *opción de compra* otorga a su tenedor el derecho a comprar un activo a determinado precio en una fecha específica. Una *opción de venta* otorga a su tenedor el derecho a vender un activo a determinado precio en una fecha específica. La fecha especificada en el contrato se conoce como *fecha de vencimiento*. El precio determinado en el contrato se conoce como *precio de ejercicio* o *precio strike*.

Las opciones pueden ser americanas o europeas, una distinción que no tiene que ver con su ubicación geográfica. Las *opciones americanas* pueden ser ejercidas en cualquier momento de su vida hasta su fecha de vencimiento, en tanto que las *opciones europeas* pueden ser ejercidas únicamente en su fecha de vencimiento. Casi todas las opciones que se negocian en bolsas de valores son americanas. Sin embargo, las opciones europeas son generalmente más fáciles de analizar que las americanas, por lo que algunas de las propiedades de una opción americana se deducen con frecuencia de las propiedades de su contraparte europea.

Opciones de compra

El ejemplo 8.1 considera la situación de un inversionista que adquiere una opción de compra europea con un precio de ejercicio de \$100 para comprar 100 acciones de cierta empresa. Imagine que

Ejemplo 8.1 Utilidad de una opción de compra

Un inversionista adquiere una opción de compra para comprar 100 acciones.

Precio de ejercicio = \$100
Precio actual de la acción = \$98
Precio de una opción para comprar una acción = \$5
La inversión inicial es de $100 \times \$5 = \$500$

Al vencimiento de la opción, el precio por acción es de \$115. En este momento, la opción se ejerce para obtener una ganancia de

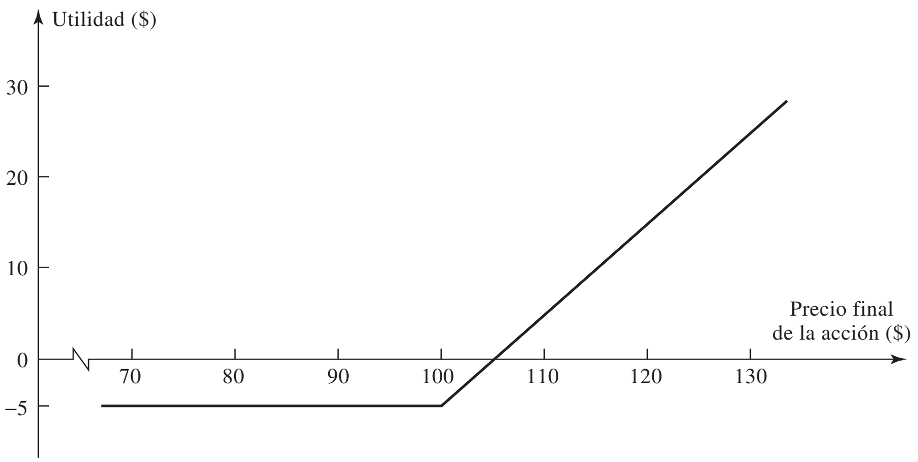
$$(\$115 - \$100) \times 100 = \$1{,}500$$

Cuando se toma en cuenta el costo inicial de la opción, la ganancia neta es de

$$\$1{,}500 - \$500 = \$1{,}000$$

el precio actual de la acción es de \$98, la fecha de vencimiento de la opción es dentro de cuatro meses y el precio de una opción para comprar una acción es de \$5. La inversión inicial es de \$500. Como la opción es europea, el inversionista puede ejercerla únicamente en la fecha de vencimiento. Si el precio de la acción en esta fecha es menor a \$100, el inversionista decidirá, evidentemente, no ejercerla. (No tiene caso comprar en \$100 una acción que tiene un valor de mercado menor a este precio). En estas circunstancias, el inversionista pierde la totalidad de su inversión inicial de \$500. Si el precio de la acción es mayor a \$100 en la fecha de vencimiento, la opción se ejercerá. Por ejemplo, suponga que el precio de la acción es de \$115. Al ejercer la opción, el inversionista puede comprar 100 acciones a \$100 por acción. Si las acciones se venden inmediatamente, el inversionista obtiene una ganancia de \$15 por acción, o de \$1,500, si ignoramos los costos de transacción. Cuando se toma en cuenta el costo inicial de la opción, la utilidad neta para el inversionista es de \$1,000.

Figura 8.1 Utilidad obtenida de la adquisición de una opción de compra europea sobre una acción de empresa. Precio de la opción = \$5; precio de ejercicio = \$100



La figura 8.1 muestra cómo la utilidad o la pérdida neta del inversionista sobre una opción para comprar una acción varían con el precio final de la acción presentada en el ejemplo. Es importante destacar que, en ocasiones, un inversionista ejerce una opción y tiene una pérdida general. Suponga que, en el ejemplo, el precio de la acción es de $102 al vencimiento de la opción. El inversionista ejercería el contrato de opción para obtener una ganancia de $100 \times (\$102 - \$100) = \$200$ y experimentaría una pérdida general de $300 al tomar en cuenta el costo inicial de la opción. Se argumenta que el inversionista no debe ejercer la opción en estas circunstancias. Sin embargo, no ejercerla daría lugar a una pérdida general de $500, que es peor que la pérdida de $300 dólares cuando el inversionista la ejerce. En general, las opciones de compra siempre deben ejecutarse en la fecha de vencimiento si el precio de la acción es mayor que el precio de ejercicio.

Opciones de venta

En tanto que el comprador de una opción de compra espera que el precio de la acción aumente, el comprador de una opción de venta espera que éste disminuya. El ejemplo 8.2 considera a un inversionista que compra una opción de venta europea con un precio de ejercicio de $70 para vender 100 acciones de determinada empresa. Suponga que el precio actual de la acción es de $65, la fecha de vencimiento de la opción es dentro de tres meses y el precio de una opción para vender una acción es de $7. La inversión inicial es de $700. Como la opción es europea, se ejercerá únicamente si el precio de la acción es menor a $70 en la fecha de vencimiento. Suponga que el precio de la acción es de $55 en esta fecha. El inversionista puede comprar 100 acciones a $55 por acción y, bajo los términos de la opción de venta, puede vender las mismas acciones a $70 dólares para obtener una ganancia de $15 por acción, o de $1,500 (de nuevo se ignoran los costos de transacción). Cuando se toma en cuenta el costo inicial de la opción, de $700 dólares, la utilidad neta del inversionista es de $800. No hay ninguna garantía de que el inversionista obtendrá una ganancia. Si el precio final de la acción es mayor a $70, la opción de venta vence sin valor y el inversionista pierde $700. La figura 8.2 muestra la manera en que la utilidad o la pérdida del inversionista sobre una opción para vender una acción varían con el precio final de la acción presentada en este ejemplo.

Ejercicio anticipado

Como se mencionó anteriormente, por lo común las opciones sobre acciones cotizadas en bolsa son americanas en vez de europeas. Esto significa que el inversionista de los ejemplos anteriores no tendría que esperar hasta la fecha de vencimiento para ejercer la opción. Más adelante veremos que hay algunas circunstancias en las que lo óptimo es ejercer las opciones americanas antes de la fecha de vencimiento.

Ejemplo 8.2 Utilidad de una opción de venta

Un inversionista compra una opción de venta para vender 100 acciones.

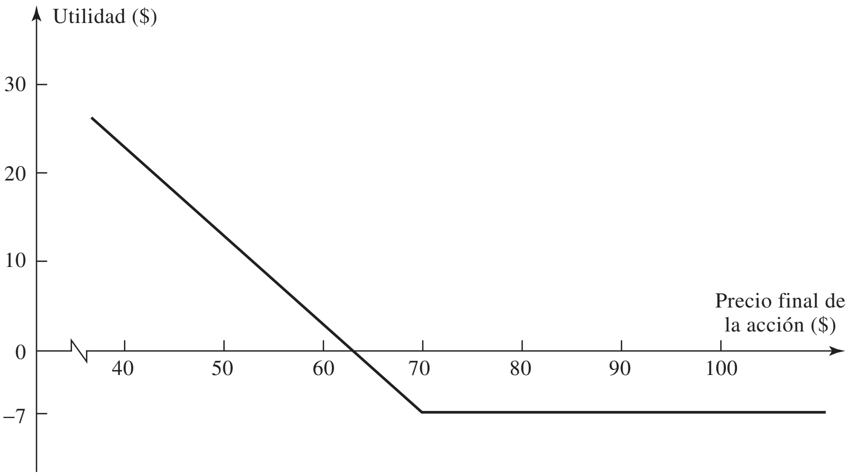
Precio de ejercicio = $70
Precio actual de la acción = $65
Precio de una opción de venta para vender una acción = $7

La inversión inicial es de $100 \times \$7 = \$700$.

Al vencimiento de la opción, el precio por acción es de $55. En este momento, el inversionista compra 100 acciones y, bajo los términos de la opción de venta, las vende a $70 por acción para obtener una ganancia de $15 por acción, o de $1,500 en total. Cuando se toma en cuenta el costo inicial de la opción, la ganancia neta es de

$$\$1{,}500 - \$700 = \$800$$

Figura 8.2 Utilidad obtenida de la compra de una opción de venta europea sobre una acción. Precio de la opción = \$7; precio de ejercicio = \$70



8.2 POSICIONES DE OPCIONES

Hay dos partes en todo contrato de opción. Por una parte está el inversionista que tomó la posición larga (es decir, que compró la opción). Por la otra parte está el inversionista que tomó la posición corta (es decir, que vendió o *suscribió* la opción). El suscriptor de una opción recibe efectivo por adelantado, pero después tiene pasivos potenciales. La utilidad o la pérdida del suscriptor es lo contrario a la del comprador de la opción. Las figuras 8.3 y 8.4 muestran la variación de la utilidad o la pérdida para los suscriptores de las opciones con el precio final de la acción considerado en las figuras 8.1 y 8.2.

Figura 8.3 Utilidad obtenida de la suscripción de una opción de compra europea sobre una acción. Precio de la opción = \$5; precio de ejercicio = \$100

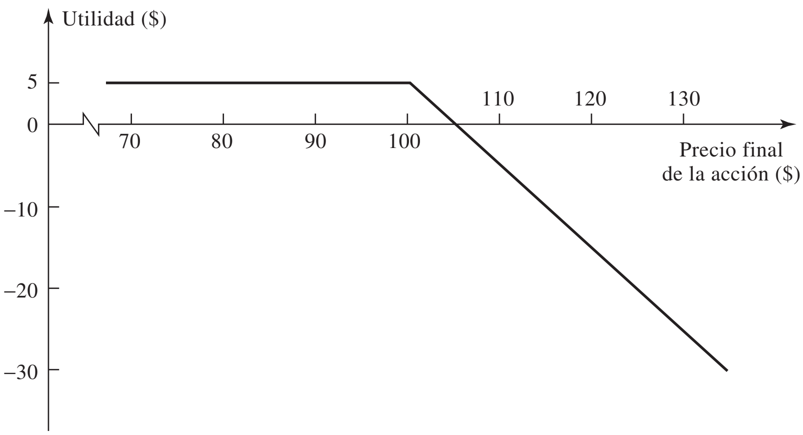
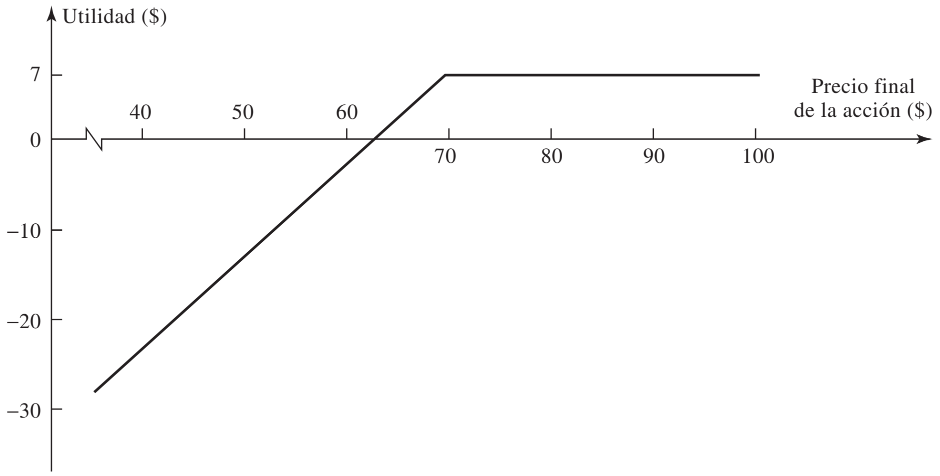


Figura 8.4 Utilidad obtenida de la suscripción de una opción de venta europea sobre una acción. Precio de la opción = \$7; precio de ejercicio = \$70



Hay cuatro tipos de posiciones de opciones:

1. Una posición larga en una opción de compra
2. Una posición larga en una opción de venta
3. Una posición corta en una opción de compra
4. Una posición corta en una opción de venta

Con frecuencia es útil describir una opción europea en términos de su beneficio para el comprador de la opción. En este caso, el costo inicial de la opción no se incluye en el cálculo. Si K es el precio de ejercicio y S_T es el precio final del activo subyacente, el beneficio obtenido de una posición larga en una opción de compra europea es de

$$\text{máx}(S_T - K, 0)$$

Esto refleja el hecho de que la opción se ejercerá si $S_T > K$ y no se ejercerá si $S_T \leq K$. El beneficio para el tenedor de una posición corta en la opción de compra europea es de

$$-\text{máx}(S_T - K, 0) = \text{mín}(K - S_T, 0)$$

El beneficio para el tenedor de una posición larga en una opción de venta europea es de

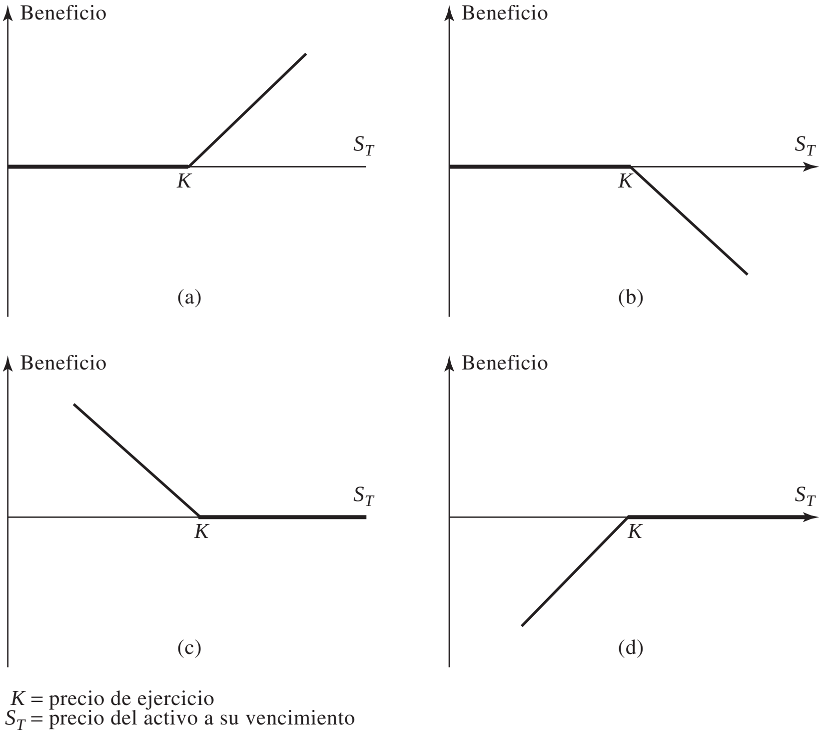
$$\text{máx}(K - S_T, 0)$$

y el beneficio obtenido de una posición corta en una opción de venta europea es de

$$-\text{máx}(K - S_T, 0) = \text{mín}(S_T - K, 0)$$

La figura 8.5 ilustra estos beneficios.

Figura 8.5 Beneficios obtenidos de las posiciones en opciones europeas: a) posición larga en una opción de compra, b) posición corta en una opción de compra, c) posición larga en una opción de venta, d) posición corta en una opción de venta. Precio de ejercicio = K; precio del activo a su vencimiento = S_T



8.3 ACTIVOS SUBYACENTES

En esta sección proporcionamos un breve resumen de la negociación de opciones sobre acciones, divisas, índices bursátiles y futuros.

Opciones sobre acciones

Casi todas las negociaciones de opciones sobre acciones se realizan en bolsas. En Estados Unidos de América, las principales bolsas son la Bolsa de Opciones de Chicago (`www.cboe.com`), la Bolsa de Valores de Filadelfia (`www.phlx.com`), la Bolsa de Valores Americana (`www.amex.com`), la Bolsa de Valores Internacional (`www.iseoptions.com`) y la Bolsa de Opciones de Boston (`www.bostonoptions.com`). Las opciones se negocian sobre más de 1,000 acciones diferentes. Un contrato otorga al tenedor el derecho a comprar o vender 100 acciones y al precio de ejercicio especificado. Este tamaño del contrato es conveniente porque las acciones mismas se negocian normalmente en lotes de 100.

Opciones sobre divisas

Actualmente, casi todas las negociaciones de opciones sobre divisas se realizan en el mercado OTC (*over-the-counter*), pero algunas negociaciones se llevan a cabo en bolsas. La principal bolsa para la negociación de opciones sobre divisas en Estados Unidos es la Bolsa de Valores de Filadelfia. Esta bolsa ofrece contratos tanto europeos como americanos sobre diversas divisas. El tamaño de un contrato depende de la divisa. Por ejemplo, en el caso de la libra británica, un contrato otorga al tenedor el derecho a comprar o vender £31,250; en el caso del yen japonés, un contrato otorga al tenedor el derecho a comprar o vender 6.25 millones de yenes. En el capítulo 13 se analizan con más detalle los contratos de opciones sobre divisas.

Opciones sobre índices

En la actualidad se negocian diversas opciones sobre índices en todo el mundo, tanto en el mercado OTC como en el mercado cotizado en bolsa. Los contratos cotizados en bolsa más populares en Estados Unidos de América son los contratos de opciones sobre el Índice S&P 500 (SPX), el Índice S&P 100 (OEX), el Índice Nasdaq 100 (NDX) y el Índice Industrial Dow Jones (DJX). Todos estos contratos se negocian en la Bolsa de Opciones de Chicago. Casi todos los contratos son europeos. Una excepción es el contrato sobre el S&P 100, el cual es americano. Un contrato compra o vende 100 veces el índice al precio de ejercicio especificado. La liquidación es siempre en efectivo, en lugar de entregar la cartera subyacente al índice. Por ejemplo, considere un contrato de opción de compra sobre el S&P 100 con un precio de ejercicio de 980. Si se ejerce cuando el valor del índice es de 992, el suscriptor del contrato paga al tenedor $(992 - 980) \times 100 = \$1,200$. Este pago en efectivo se basa en el valor del índice al final del día en que se emitieron las instrucciones de ejercicio. No es sorprendente que los inversionistas esperen por lo general hasta el final del día anterior a la emisión de estas instrucciones. En el capítulo 13 se analizan con más detalle las opciones sobre índices.

Opciones sobre futuros

Cuando una bolsa negocia un contrato de futuros específico, también suele negociar opciones sobre ese contrato. Una opción sobre futuros vence normalmente justo antes del periodo de entrega del contrato de futuros. Cuando se ejerce una opción de compra, el tenedor adquiere del suscriptor una posición larga en el contrato de futuros subyacente más un monto en efectivo igual al excedente del precio de futuros sobre el precio de ejercicio. Cuando se ejerce una opción de venta, el tenedor adquiere una posición corta en el contrato de futuros subyacente más un monto en efectivo igual al excedente del precio de ejercicio sobre el precio de futuros. En el capítulo 14 se analizan con más detalle los contratos de opciones sobre futuros.

8.4 ESPECIFICACIÓN DE LAS OPCIONES SOBRE ACCIONES

En el resto de este capítulo, nos centraremos en las opciones sobre acciones. Como ya se mencionó, una opción sobre acciones cotizadas en bolsa en Estados Unidos de América es un contrato de opción estilo americano para comprar o vender 100 acciones. La bolsa especifica los detalles del contrato, como la fecha de vencimiento, el precio de ejercicio, qué ocurre cuando se declaran dividendos, el tamaño de la posición que pueden mantener los inversionistas, etcétera.

Fechas de vencimiento

Una de las características para describir una opción sobre acciones es el mes en el que ocurre la fecha de vencimiento. Así, una opción de compra de enero que se negocia sobre IBM es una opción de compra sobre IBM con una fecha de vencimiento en enero. La fecha exacta de vencimiento es el sábado siguiente al tercer viernes del mes de vencimiento. El último día de negociación de las opciones es el tercer viernes del mes de vencimiento. Un inversionista con una posición larga en una opción tiene normalmente hasta las 4:30 PM hora del centro de ese viernes para dar instrucciones a un intermediario de ejercer la opción. Entonces, el intermediario tiene hasta las 10:59 PM del día siguiente para completar el trámite administrativo de notificar a la bolsa que se ejercerá la opción.

Las opciones sobre acciones corresponden al ciclo de enero, febrero o marzo. El ciclo de enero consta de los meses de enero, abril, julio y octubre; el ciclo de febrero incluye los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre, y el ciclo de marzo tiene los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre. Si aún no ha ocurrido la fecha de vencimiento del mes en curso, las opciones se negocian con fechas de vencimiento en el mes en curso, el mes siguiente y los dos meses siguientes del ciclo. Si la fecha de vencimiento del mes en curso ya pasó, las opciones se negocian con fechas de vencimiento en el mes siguiente, a los dos meses de éste y en los dos meses siguientes del ciclo de vencimiento. Por ejemplo, IBM está en un ciclo de enero. A principios de enero, las opciones se negocian con fechas de vencimiento en enero, febrero, abril y julio; a fines de enero se negocian con fechas de vencimiento en febrero, marzo, abril y julio; a inicios de mayo se negocian con fechas de vencimiento en mayo, junio, julio y octubre, etc. Cuando una opción llega a su vencimiento, se inicia la negociación de otra opción. Las opciones de mayor plazo, conocidas como LEAPS (del inglés, l*ong-term equity anticipation securities*; valores de anticipación de capital a largo plazo), también se negocian sobre aproximadamente 500 acciones estadounidenses. Estas opciones tienen fechas de vencimiento hasta de 39 meses en el futuro. Las fechas de vencimiento de LEAPS sobre acciones son siempre en enero.

Precios de ejercicio

La bolsa elige normalmente los precios de ejercicio al que las opciones pueden suscribirse de modo que haya entre ellos una diferencia de $2.50, $5 o $10. Por lo común, la diferencia es de $2.50 cuando el precio de la acción está entre $5 y $25; de $5 cuando está entre $25 y $200, y de $10 con precios de acciones mayores a $200. Como explicaremos en breve, los splits y los dividendos en acciones pueden dar lugar a precios de ejercicio no estándar.

Cuando se introduce una nueva fecha de vencimiento, la bolsa suele seleccionar los dos o tres precios de ejercicio más cercanos al precio actual de la acción. Si el precio de la acción varía de tal manera que se sale de los límites definidos por el precio de ejercicio más alto y más bajo, en general se negocia una opción con un nuevo precio de ejercicio. Para ilustrar estas reglas, suponga que el precio de la acción es de $84 cuando inicia la negociación de las opciones de octubre. Probablemente se ofrecerían primero las opciones de compra y venta con precios de ejercicio de $80, $85 y $90. Si el precio de la acción excede a $90, es posible que se ofrezca un precio de ejercicio de $95; si bajara a $80, quizá se ofrecería un precio de ejercicio de $75, etcétera.

Terminología

Para cualquier activo y fecha específicos se negocian diversos contratos de opciones. Considere una acción que tiene cuatro fechas de vencimiento y cinco precios de ejercicio. Si se negocian opciones de compra y venta con cada fecha de vencimiento y precio de ejercicio, hay un total de 40 contratos diferentes. Todas las opciones del mismo tipo (de compra o venta) se denominan *clase de* *opciones*. Por ejemplo, las opciones de compra sobre IBM son una clase, en tanto que las opciones de venta sobre IBM constituyen otra clase. Una *serie de opciones* consta de todas las opciones de una clase específica con la misma fecha de vencimiento y el mismo precio de ejercicio. En otras palabras, una serie de opciones se refiere a determinado contrato que se negocia. Las 70 opciones de compra de octubre sobre IBM constituyen una serie de opciones.

Las opciones se conocen como *in the money*, *at the money* y *out of the money*. Si S es el precio de la acción y K es el precio de ejercicio, una opción de compra está *in the money* cuando $S > K$, *at the money* cuando $S = K$ y *out of the money* cuando $S < K$. Una opción de venta está *in the money* cuando $S < K$, *at the money* cuando $S = K$ y *out of the money* cuando $S > K$. Evidentemente, una opción se ejercerá únicamente cuando esté *in the money*. No habiendo costos de transacción, una opción *in the money* siempre se ejercerá en la fecha de vencimiento si no se ha ejercido previamente.

El *valor intrínseco* de una opción se define como el valor máximo entre cero y el valor que la opción tendría si se ejerciera inmediatamente. Por lo tanto, en el caso de una opción de compra, el valor intrínseco es $\text{máx}(S - K, 0)$; en el caso de una opción de venta es $\text{máx}(K - S, 0)$. Una opción americana *in the money* debe valer por lo menos su valor intrínseco debido a que el tenedor puede obtener un valor intrínseco positivo si la ejerce inmediatamente. Con frecuencia, lo óptimo para el tenedor de una opción americana *in the money* es esperar en vez de ejercerla inmediatamente. Entonces, se dice que la opción tiene *valor temporal*. El valor total de una opción se considera como la suma de su valor intrínseco y su valor temporal.

Opciones flexibles

La Bolsa de Opciones de Chicago ofrece *opciones flexibles* sobre acciones e índices accionarios. En estas opciones, los operadores de piso de la bolsa aceptan términos no estándar, que incluyen un precio de ejercicio o una fecha de vencimiento diferente a los que la bolsa suele ofrecer. Además, la opción puede ser europea en vez de americana. Las opciones flexibles son un intento de las bolsas de opciones de recuperar los negocios de los mercados OTC. La bolsa especifica un tamaño mínimo (por ejemplo, 100 contratos) para las negociaciones de opciones flexibles.

Dividendos y splits

Las primeras opciones OTC tenían protección de dividendos. Si una empresa declaraba un dividendo en efectivo, el precio de ejercicio de las opciones sobre la acción de la empresa se reducía en el monto del dividendo el día ex dividendo. Las opciones cotizadas en bolsa no se ajustan usualmente en cuanto a los dividendos en efectivo. En otras palabras, cuando ocurre un dividendo en efectivo, no se ajustan los términos del contrato de opción. En ocasiones se hace una excepción en el caso de un monto importante de dividendos en efectivo (vea Panorámica de negocios 8.1).

Las opciones cotizadas en bolsa se ajustan por splits. Un split ocurre cuando las acciones existentes se "dividen" en más acciones. Por ejemplo, en un split 3 por 1, se emiten tres nuevas acciones para reemplazar cada acción existente. Puesto que un split no cambia los activos ni la capacidad

Ejemplo 8.3 Impacto de un split en los términos de un contrato de opción

Considere una opción de compra para adquirir 100 acciones de una empresa a $30 por acción. Suponga que la empresa realiza un split de 2 por 1. Entonces, los términos del contrato de opción se modifican de modo que éste otorgue al tenedor el derecho a comprar 200 acciones a $15 por acción.

Panorámica de negocios 8.1 Monto importante de dividendos de Gucci Group

Cuando hay un monto importante de dividendos en efectivo (comúnmente mayor a 10% del precio de la acción), un comité de la Options Clearing Corporation (OCC, por sus siglas en inglés, Corporación de Compensación de Opciones) de la Bolsa de Opciones de Chicago puede decidir realizar ajustes a los términos de las opciones negociadas en la bolsa.

El 28 de mayo de 2003, Gucci Group N.V. (GUC) declaró un dividendo en efectivo de 13.50 euros (aproximadamente $15.88) por acción ordinaria, aprobado en la reunión anual de accionistas de GUC el 16 de julio de 2003. El dividendo era aproximadamente de 16% del precio de la acción cuando se declaró. En este caso, el comité OCC decidió ajustar los términos de las opciones. Por consiguiente, el ejercicio de un contrato de opción requería la entrega de 100 acciones más $100 \times 15.88 = \$1{,}588$ en efectivo. El tenedor de un contrato de opción de compra pagó 100 veces el precio strike al ejercicio de la opción y recibió $1,588 en efectivo además de 100 acciones. El tenedor de un contrato de opción de venta recibió 100 veces el precio strike al ejercicio de la opción y entregó $1,588 en efectivo, además de 100 acciones.

Los ajustes por montos importantes de dividendos no siempre se realizan. Por ejemplo, Deutsche Terminbörse decidió no ajustar los términos de las opciones negociadas en esa bolsa cuando Daimler-Benz sorprendió al mercado el 10 de marzo de 1998 con un dividendo equivalente a 12% del precio de su acción.

de rendimiento de una empresa, no debemos esperar que el split produzca algún efecto en la riqueza de los accionistas de la empresa. Siempre que todo permanezca constante, el split 3 por 1 debe disminuir el precio de la acción a un tercio de su valor anterior. En general, un split n-por-m debe disminuir el precio de la acción a m/n de su valor anterior. Los términos de los contratos de opciones se ajustan para reflejar los cambios esperados en el precio de una acción debidos a un split. Después de un split n-por-m, el precio de ejercicio se reduce a m/n de su valor anterior del número de acciones cubiertas por un contrato y aumenta a n/m de su valor anterior. Si el precio de la acción disminuye en la forma esperada, las posiciones tanto del suscriptor como del comprador de un contrato permanecen sin cambios. El ejemplo 8.3 proporciona una aplicación de esta regla.

Las opciones sobre acciones se ajustan a los dividendos en acciones. Un dividendo en acciones implica que una empresa debe emitir más acciones para sus accionistas existentes. Por ejemplo, un dividendo en acciones de 20% significa que los inversionistas reciben una nueva acción por cada cinco acciones que ya poseen. Un dividendo en acciones, como un split, no tiene efecto en los activos ni en la capacidad de rendimiento de una empresa. Se espera que el precio de la acción baje como consecuencia de un dividendo en acciones. El dividendo en acciones de 20% es básicamente igual a un split 6-por-5. Siempre que todo lo demás permanezca constante, este split debe disminuir el precio de la acción a 5/6 de su valor anterior. Los términos de una opción se ajustan para reflejar la disminución de precio esperada como consecuencia de un dividendo en acciones de la misma manera en que se ajustan debido a un split. El ejemplo 8.4 ilustra esta situación.

Ejemplo 8.4 Efecto de un dividendo sobre las acciones en los términos de un contrato de opción

Considere una opción de venta para vender 100 acciones de una empresa a $15 por acción. Suponga que la empresa declara un dividendo en acciones de 25%, que equivale a un split 5 por 4. Los términos del contrato de opción se modifican de manera que éste otorgue al tenedor el derecho a vender 125 acciones a $12.

Los ajustes también se realizan para emisiones de derechos. El procedimiento básico consiste en calcular el precio teórico de la emisión de derechos y después reducir el precio de ejercicio en este monto.

Límites de posición y límites de ejercicio

La Bolsa de Opciones de Chicago especifica frecuentemente un *límite de posición* para los contratos de opciones. Esto define el número máximo de contratos de opciones que un inversionista puede mantener en un lado del mercado. Con este fin se considera que las opciones de compra largas y las opciones de venta cortas están del mismo lado del mercado; asimismo, que las opciones de compra cortas y las opciones de venta largas están del mismo lado del mercado. El *límite de ejercicio* equivale usualmente al límite de posición y define el número máximo de contratos que puede ejercer un individuo (o grupo de individuos que actúan juntos) en cualquier periodo de cinco días hábiles consecutivos. Las opciones sobre las acciones más grandes y negociadas con mayor frecuencia tienen límites de posiciones de 250 mil contratos. Las acciones de capitalización más pequeñas tienen límites de posición de 200 mil, 75 mil, 50 mil o 25 mil contratos.

Los límites de posición y los límites de ejercicio están diseñados para evitar que el mercado reciba una influencia excesiva de las actividades de un inversionista individual o grupo de inversionistas. No obstante, hay controversia en cuanto a la necesidad real de estos límites.

8.5 NEGOCIACIÓN

Tradicionalmente, las bolsas han tenido que proporcionar un área grande y abierta para que los individuos se reúnan y negocien opciones. Esto está cambiando. Muchas bolsas de derivados son totalmente electrónicas, de modo que los negociantes no necesitan reunirse físicamente. La Bolsa de Valores Internacional (`www.iseoptions.com`) lanzó el primer mercado de opciones totalmente electrónico para acciones en Estados Unidos de América en mayo de 2000. La Bolsa de Opciones de Chicago y la Bolsa Mercantil de Chicago tienen sistemas electrónicos que operan junto con sus mercados a viva voz en el piso de la bolsa.

Creadores de mercado

Casi todas las bolsas de opciones usan creadores de mercado para facilitar las negociaciones. Un creador de mercado de determinada opción es un individuo que, cuando se le pide hacerlo, cotizará un precio tanto de demanda como de oferta sobre la opción. La demanda es el precio al que el creador de mercado está dispuesto a comprar y la oferta es el precio al que el creador de mercado está dispuesto a vender. Al momento de cotizar el precio de demanda y de oferta, el creador de mercado no sabe si el negociante que solicitó las cotizaciones desea comprar o vender la opción. La oferta es siempre más alta que la demanda y el monto en el que la oferta excede a la demanda se conoce como diferencial de demanda y oferta, cuyo límite superior lo establece la bolsa. Por ejemplo, podría especificar que el diferencial no sea mayor de $0.25 para las opciones valuadas en menos de $0.50, de $0.50 para las opciones valuadas entre $0.50 y $10, de $0.75 para las opciones valuadas entre $10 y $20 y de $1 para las opciones valuadas en más de $20.

La existencia del creador de mercado asegura que las órdenes de compra y venta se ejecuten siempre a algún precio, sin retrasos. Por lo tanto, los creadores de mercado agregan liquidez al mercado. Los creadores de mercado mismos obtienen sus utilidades del diferencial de demanda y oferta y usan algunos de los métodos analizados en el capítulo 15 para cubrir sus riesgos.

Órdenes de compensación

Un inversionista que compró una opción puede cerrar la posición emitiendo una orden de compensación para vender la misma opción. Del mismo modo, un inversionista que suscribió una opción puede cerrar la posición emitiendo una orden de compensación para comprar la misma opción. Si ninguno de los inversionistas está compensando una posición existente cuando se negocia un contrato de opciones, el interés abierto aumenta en un contrato. Si uno de los inversionistas está compensando una posición existente y el otro no, el interés abierto permanece igual. Si ambos inversionistas están compensando posiciones existentes, el interés abierto disminuye en un contrato.

8.6 COMISIONES

Los tipos de órdenes que se emiten con un intermediario para la negociación de opciones son similares a las que se emiten para la negociación de futuros (vea la sección 2.7). Una orden de mercado se ejecuta inmediatamente; una orden limitada especifica el precio menos favorable al que la orden puede ejecutarse, etcétera.

Para un inversionista al detalle, las comisiones varían significativamente de un intermediario a otro. Los intermediarios de descuento cobran generalmente comisiones más bajas que los intermediarios de servicio completo. Con frecuencia, el monto real cobrado se calcula como un costo fijo más una proporción del monto en dólares de la transacción. La tabla 8.1 muestra el tipo de plan que podría ofrecer un intermediario de descuento. Así, la compra de ocho contratos cuando el precio de la opción es de \$3 costaría \$20 + (0.02 × \$2,400) = \$68 de comisiones.

Si la posición de una opción se cierra participando en una transacción de compensación, la comisión debe pagarse nuevamente. Si la opción se ejerce, la comisión es igual a la que se cobraría si el inversionista emitiera una orden para comprar o vender la acción subyacente. Por lo común, es de 1 a 2% del valor de la acción.

Considere a un inversionista que adquiere un contrato de opción de compra con un precio de ejercicio de \$50 cuando el precio de la acción es de \$49. Supongamos que el precio de la opción es de \$4.50, de modo que el costo del contrato sea de \$450. De acuerdo con el plan de la tabla 8.1, la compra o venta de un contrato siempre cuesta \$30 (tanto la comisión máxima como la mínima es de \$30 para el primer contrato). Suponga que el precio de la acción sube y que la opción se ejerce cuando la acción llega a \$60. Si asumimos que el inversionista paga una comisión de 1.5% sobre las negociaciones de acciones, la comisión pagadera cuando la opción se ejerce es de

$$0.015 \times \$60 \times 100 = \$90$$

Tabla 8.1 Plan de comisiones típico para un intermediario de descuento

Monto en dólares de la transacción	*Comisión**
< \$2,500	\$20 + 0.02 del monto en dólares
\$2,500 a \$10,000	\$45 + 0.01 del monto en dólares
> \$10,000	\$120 + 0.0025 del monto en dólares

*La comisión máxima es de \$30 por contrato para los primeros cinco contratos más \$20 por contrato para cada contrato adicional. La comisión mínima es de \$30 por contrato para los primeros cinco contratos más \$2 por contrato para cada contrato adicional.

Por consiguiente, la comisión total pagada es de \$120 y la utilidad neta para el inversionista es de

$$\$1,000 - \$450 - \$120 = \$430$$

Observe que vender la opción a \$10 en vez de ejercerla ahorraría al inversionista \$60 de comisiones. (La comisión pagadera cuando una opción se vende es únicamente de \$30 en nuestro ejemplo). En general, el sistema de comisiones impulsa al inversionista a vender las opciones en vez de ejercerlas.

Un costo oculto en la negociación de opciones (y en la negociación de acciones) es el diferencial de demanda y oferta del creador de mercado. Suponga que, en el ejemplo que acabamos de considerar, el precio de demanda fue de \$4.00 y el precio de oferta de \$4.50 al momento de comprar la opción. Lógicamente, asumimos que un precio "justo" para la opción es un monto intermedio entre el precio de demanda y el de oferta, es decir, de \$4.25. El costo para el comprador y el vendedor del sistema del creador de mercado es la diferencia entre el precio justo y el precio pagado. Este costo es de \$0.25 por opción o \$25 por contrato.

8.7 MÁRGENES

En Estados Unidos de América, cuando se compran acciones, un inversionista puede pagar en ese tipo o pedir prestado usando una cuenta de margen (esto se conoce como *comprar con margen*). Por lo general, el margen inicial es igual a 50% del valor de las acciones y el margen de mantenimiento es usualmente 25% del valor de las acciones. La cuenta de margen opera de manera similar a la de un contrato de futuros (vea el capítulo 2).

Cuando se adquieren opciones de compra o venta con vencimientos menores a nueve meses, el precio de la opción debe pagarse en su totalidad. Los inversionistas no tienen permitido comprar opciones con margen debido a que las opciones ya contienen mucho apalancamiento, y comprar con margen aumentaría este apalancamiento a un nivel inaceptable. En el caso de opciones con vencimientos mayores a nueve meses, los inversionistas pueden comprar con margen, adquiriendo en préstamo hasta 25% del valor de la opción.

Un inversionista que expide opciones debe mantener fondos en una cuenta de margen. Tanto el intermediario del inversionista como la bolsa desean tener la seguridad de que el inversionista no dejará de cumplir si la opción se ejerce. El monto del margen requerido depende de las circunstancias, como veremos a continuación.

Suscripción de opciones descubiertas

Una *opción descubierta* es aquella que no se combina con una posición de compensación en la acción subyacente. El margen inicial para una opción de compra descubierta suscrita es el mayor de los dos cálculos siguientes:

1. Un total de 100% del producto de la venta más 20% del precio de la acción subyacente, menos el monto en que la opción está *out of the money*
2. Un total de 100% del producto de la opción, más 10% del precio de la acción subyacente

Para una opción de venta descubierta suscrita es el mayor de

1. Un total de 100% del producto de la venta más 20% del precio de la acción subyacente, menos el monto en que la opción está *out of the money*
2. Un total de 100% del producto de la opción, más 10% del precio de ejercicio

Ejemplo 8.5 Cálculos de margen para una opción de compra descubierta

Un inversionista expide cuatro contratos de opción de compra descubierta sobre una acción. El precio de la opción es de $5, el precio de ejercicio es de $40, y el precio de la acción es de $38. Como la opción está $2 *out of the money*, el primer cálculo nos da

$$400 \times (5 + 0.2 \times 38 - 2) = \$4.240$$

El segundo cálculo nos da

$$400 \times (5 + 0.1 \times 38) = \$3.520$$

Por lo tanto, el requisito de margen inicial es de $4,240. Observe que si la opción hubiera sido una opción de venta, estaría $2 *in the money*, y el requisito de margen sería de

$$400 \times (5 + 0.2 \times 38) = \$5.040$$

En ambos casos, el producto de la venta, $2,000, se puede usar para que forme parte de la cuenta de margen.

El ejemplo 8.5 ilustra estos cálculos. El 20% de estos cálculos se reemplaza por 15% en el caso de opciones sobre un índice accionario amplio porque un índice accionario es generalmente menos volátil que el precio de una acción individual.

Un cálculo similar al cálculo de margen inicial (pero en el cual el precio de mercado actual reemplaza al producto de la venta) se repite todos los días. Se pueden retirar fondos de la cuenta de margen cuando el cálculo indica que el margen requerido es menor que el saldo actual de la cuenta de margen. Cuando el cálculo indica que se requiere un margen significativamente mayor, se realizará una llamada de garantía adicional.

Otras reglas

En el capítulo 10 examinaremos las estrategias de negociación de opciones, como las opciones de compra cubiertas, las opciones de venta de protección, los spreads, las combinaciones, los straddles y los strangles. La CBOE tiene reglas especiales para determinar los requisitos de margen cuando se utilizan estas estrategias de negociación. Estas reglas se describen en el *CBOE Margin Manual*, que esta disponible en el sitio Web de la CBOE (`www.cboe.com`).

Como un ejemplo de las reglas, considere a un inversionista que expide una opción de compra cubierta. Ésta es una opción de compra suscrita cuando las acciones que deberían entregarse ya se poseen. Las opciones de compra cubiertas son mucho menos riesgosas que las opciones descubiertas, porque lo peor que puede suceder es que el inversionista deba vender acciones que ya posee por debajo de su valor de mercado. No se requiere margen sobre la opción suscrita. Sin embargo, el inversionista puede adquirir en préstamo un monto igual a 0.5 mín(S, K), en vez del usual 0.5S, sobre la posición de la acción.

8.8 CORPORACIÓN DE COMPENSACIÓN DE OPCIONES

La Corporación de Compensación de Opciones (OCC) desempeña para los mercados de opciones una función similar a la que realiza la cámara de compensación para los mercados de futuros (vea el capítulo 2). Esta corporación garantiza que los suscriptores de opciones cumplan sus obligaciones bajo los términos de los contratos de opciones y mantengan un registro de todas las posiciones largas y cortas. La OCC tiene varios miembros y todas las negociaciones de opciones deben compensarse a través de uno de ellos. Si una casa de corretaje no es miembro de la OCC de la bolsa de opciones, debe compensar sus negociaciones con un miembro. Los miembros deben tener un monto mínimo determinado de capital y contribuir a un fondo especial que se use en caso de que algún miembro no cumpla una obligación de opción.

Al comprar una opción, el comprador debe pagar la totalidad de ésta a la mañana del siguiente día hábil. Los fondos se depositan en la OCC. El suscriptor de la opción mantiene una cuenta de margen con un intermediario, como se describió anteriormente. El intermediario mantiene una cuenta de margen con el miembro de la OCC que compensa sus transacciones. A su vez, el miembro de la OCC mantiene una cuenta de margen con esta corporación. Los requisitos de margen descritos en la sección anterior son los que impone la OCC a sus miembros. Una casa de corretaje puede requerir márgenes más altos a sus clientes, pero no márgenes más bajos.

Ejercicio de una opción

Cuando un inversionista notifica a un intermediario que ejerza una opción, notifica, a su vez, al miembro de la OCC que compense sus transacciones. Entonces este miembro emite una orden de ejercicio en la OCC. La OCC selecciona al azar un miembro con una posición corta pendiente que esté en la misma opción. El miembro, usando un procedimiento establecido por adelantado, selecciona a un inversionista específico que haya suscrito la opción. Si es una opción de compra, el inversionista debe vender la acción al precio de ejercicio. Si es una opción de venta, el inversionista debe comprar la acción al precio de ejercicio. Se dice que el inversionista debe ser *asignado*. Cuando se ejerce una opción, el interés abierto disminuye en uno.

Al vencimiento de la opción, todas las opciones *in the money* deben ejercerse a menos que los costos de transacción sean tan altos que anulen el beneficio obtenido de la opción. Algunas casas de bolsa ejercen las opciones de manera automática a su vencimiento si esto beneficia a sus clientes. Muchas bolsas también tienen reglas para ejercer las opciones que estén *in the money* a su vencimiento.

8.9 REGULACIÓN

Los mercados de opciones están regulados de diferentes maneras. Tanto la bolsa como su Corporación de Compensación de Opciones tienen reglas que rigen el comportamiento de los negociantes. Además, hay autoridades reguladoras tanto federales como estatales. En general, los mercados de opciones han mostrado la disposición de regularse a sí mismos. No ha habido escándalos importantes ni incumplimientos de parte de los miembros de la OCC. Los inversionistas pueden tener mucha confianza en su manera de operar el mercado.

La Comisión de Valores y Bolsa es responsable de regular los mercados de opciones en acciones, índices accionarios, divisas y bonos a nivel federal. La Comisión de Comercio en Futuros sobre Mercancías es responsable de regular los mercados de opciones sobre futuros. Los principales mercados de opciones están en los estados de Illinois y Nueva York. Estos estados vigilan activamente el cumplimiento de sus propias leyes contra prácticas de negociación inaceptables.

8.10 IMPUESTOS

La determinación de las implicaciones fiscales de las estrategias de opciones puede ser complicada, por lo que un inversionista que dude sobre esto debe consultar a un especialista fiscal. En

Estados Unidos de América, la regla general es que (a menos que el contribuyente sea un negociante profesional) las ganancias y pérdidas de la negociación de opciones sobre acciones se gravan como ganancias o pérdidas de capital. La manera en que las ganancias y las pérdidas de capital se gravan en EUA se analizó en la sección 2.9. Tanto para el tenedor como para el suscriptor de una opción sobre acciones, se reconoce una ganancia o pérdida cuando (a) la opción vence sin ejecutarse o (b) la posición de la opción se cierra. Si la opción se ejerce, la ganancia o la pérdida de la opción se trasfiere a la posición tomada en la acción y se reconoce cuando la posición de la acción se cierra. Por ejemplo, cuando se ejerce una opción de compra, se considera que la parte con la posición larga compró la acción al precio de ejercicio más el precio de la opción de compra. Entonces, esto se usa como base para calcular la ganancia o la pérdida de esta parte cuando la acción se venda finalmente. Del mismo modo, se considera que la parte con la posición corta en la opción de compra vendió la acción al precio de ejercicio, más el precio de la opción de compra. Cuando se ejerce una opción de venta, se considera que el vendedor de la opción compró la acción al precio de ejercicio, menos el precio inicial de la opción de venta; y que el comprador de la opción vendió la acción al precio de ejercicio, menos el precio inicial de la opción de venta.

Regla de la venta ficticia

Una consideración fiscal en la negociación de opciones en Estados Unidos de América es la regla de la venta ficticia. Para entender esta regla, imagine a un inversionista que compra una acción cuando su precio es de $60 y planea mantenerla a largo plazo. Si el precio de la acción baja a $40, el inversionista podría tener la tentación de vender la acción y readquirirla inmediatamente, de modo que pierda $20 dólares con propósitos fiscales. Para evitar esto, las autoridades tributarias han estipulado que cuando la recompra se realice en un periodo de 30 días en torno a la venta (es decir, entre 30 días antes de la venta y 30 días después de la venta), no es deducible ninguna pérdida sobre la venta. Esta denegación también se aplica cuando, durante el periodo de 61 días, el contribuyente participa en una opción o en un contrato similar para adquirir la acción. Por lo tanto, vender una acción con una pérdida y adquirir una opción de compra dentro de un periodo de 30 días hace que la pérdida sea denegada. La regla de la venta ficticia no se aplica si el contribuyente es un agente de acciones o valores y la pérdida se experimenta en el curso ordinario de los negocios.

Ventas constructivas

Antes de 1997, si un contribuyente estadounidense vendía en corto un título mientras mantenía una posición larga en un valor muy similar, no se reconocía ninguna ganancia o pérdida hasta que se cerraba la posición corta. Esto significa que las posiciones cortas podían usarse para diferir el reconocimiento de una ganancia con propósitos fiscales. La situación cambió con la Ley de Desgravación Fiscal de 1997. Actualmente, una propiedad valorada se trata como "constructivamente vendida" cuando el propietario lleva a cabo uno de los siguientes puntos:

1. Realiza una venta en corto de la misma propiedad o una muy similar
2. Participa en un contrato de futuros o a plazo para entregar la misma propiedad o una muy similar
3. Toma una o más posiciones que eliminen casi toda la pérdida y la oportunidad de obtener una ganancia

Debemos señalar que las transacciones que reducen únicamente el riesgo de pérdida o sólo la oportunidad de obtener ganancias, no deben dar lugar a ventas constructivas. Por lo tanto, un inversionista que mantiene una posición larga en una acción puede comprar opciones de venta *in the money* sobre la acción, sin desencadenar una venta constructiva.

Panorámica de negocios 8.2 Planificación fiscal utilizando opciones

Como un ejemplo sencillo de una posible estrategia de planificación fiscal con el uso de opciones, suponga que el País A tiene un régimen fiscal con impuestos bajos sobre intereses y dividendos, y altos sobre ganancias de capital, en tanto que el País B tiene un régimen fiscal con impuestos altos sobre intereses y dividendos, y bajos sobre ganancias de capital. Para una empresa es favorable recibir los ingresos de un título en el País A y las ganancias de capital, si las hay, en el País B. La empresa preferiría mantener las pérdidas de capital en el País A, donde puede usarlas para compensar las ganancias de capital en otros rubros. Todo esto se logra haciendo que una empresa subsidiaria en el País A tenga la propiedad legal del título, y que una empresa subsidiaria en el País B compre a la empresa en el País A una opción de compra sobre el título, con el precio de ejercicio de la opción igual al valor actual del título. Durante la vida de la opción se obtienen ingresos del título en el País A. Si el precio del título sube rápidamente, la opción se ejercerá y se obtendrán ganancias de capital en el País B; si baja rápidamente, la opción no se ejercerá y la pérdida de capital se dará en el País A.

En ocasiones, los profesionales en impuestos usan opciones para minimizar los costos fiscales o maximizar los beneficios fiscales (vea el ejemplo de la Panorámica de negocios 8.2). Las autoridades fiscales de muchas jurisdicciones han propuesto leyes diseñadas para impedir el uso de derivados con propósitos fiscales. Antes de participar en cualquier transacción con propósitos fiscales, un tesorero corporativo o persona privada debe explorar con detalle cómo se podría deshacer la estructura en el caso de que ocurriera un cambio legislativo y qué tan costoso podría ser este proceso.

8.11 WARRANTS, OPCIONES SOBRE ACCIONES PARA DIRECTIVOS Y CONVERTIBLES

Los *warrants* son opciones emitidas por una institución financiera o una corporación no financiera. Por ejemplo, una institución financiera podría emitir warrants de venta sobre un millón de onzas de oro y después crear un mercado para los warrants. Para ejercer el warrant, el tenedor establecería contacto con la institución financiera. Comúnmente, una corporación no financiera usa warrants al momento de emitir un bono. La corporación emite warrants de compra sobre su propia acción y después las adjunta a la emisión del bono con el fin de hacerlo más atractivo para los inversionistas.

Las *opciones sobre acciones para directivos* son opciones de compra que emiten los empleadores para los directivos con el propósito de motivarlos a actuar, de acuerdo con los mejores intereses de los accionistas de la empresa. (Vea el análisis de esto en Panorámica de negocios 8.3). En la actualidad se contabilizan como gastos en la mayoría de los países, y esto las vuelve una forma menos atractiva de compensación de lo que solían ser.

Los *bonos convertibles*, conocido simplemente como *convertibles*, son bonos que emite una empresa y que pueden convertirse en acciones en ciertos momentos, usando un coeficiente de cambio predeterminado. Por lo tanto, son bonos con una opción de compra incluida sobre la acción de la empresa.

Una característica de los warrants, las opciones sobre acciones para directivos, y los convertibles, es que se emite un número predefinido de opciones. Por el contrario, el número de opciones

Panorámica de negocios 8.3 Opciones sobre acciones para directivos

Las opciones sobre acciones se convirtieron en un tipo cada vez más popular de compensación para directivos y otros empleados en la década de 1990 y principios de la década de 2000. En un contrato típico, a un directivo se le otorga determinado número de opciones de compra sobre la acción de la empresa para la que trabaja. Las opciones están *at the money* en la fecha de concesión. Frecuentemente duran 10 años, o aun más, y hay un periodo de adquisición de derechos hasta de cinco años. Las opciones no pueden ejecutarse durante el periodo de adquisición de derechos, pero sí es posible ejercerlas en cualquier momento al término de este periodo. Si el directivo deja la empresa durante el periodo de adquisición de derechos, las opciones se pierden; y si lo hace al término de este periodo, se ejercen inmediatamente las opciones *in the money*, en tanto que se pierden las opciones *out of the money*. El directivo no puede vender las opciones a otra parte.

Una razón por la que las opciones sobre acciones para directivos han sido tan atractivas es su tratamiento contable. El costo de compensación, que se carga al estado de resultados, de una opción sobre acciones para empleados en EUA y otros países, ha sido comúnmente su valor intrínseco. Puesto que la mayoría de las opciones estaba *at the money* cuando se emitieron, este costo de compensación fue usualmente de cero. En 1995 se emitió la norma de contabilidad financiera FAS 123. Esta norma animó, aunque no exigió, a las empresas a contabilizar el "valor justo" de las opciones en su estado de resultados. (Si el valor justo no se contabilizaba en el estado de resultados, debía reportarse en una nota al pie en las cuentas de la empresa).

Actualmente, las normas de contabilidad han cambiado y exigen contabilizar las opciones sobre acciones en su valor justo en el estado de resultados. En febrero de 2004, el Consejo de Normas Internacionales de Contabilidad emitió la IAS 2 que exigió a las empresas comenzar a contabilizar las opciones sobre acciones en 2005. En diciembre de 2004 se revisó la FAS 123 para exigir la contabilización de las opciones sobre acciones para directivos en Estados Unidos de América a partir de 2005. Hay signos de que estas reglas han disminuido la popularidad de las opciones sobre acciones como un método de compensación para directivos.

Las opciones sobre acciones para directivos se ejercen antes que las opciones similares cotizadas en bolsa u OTC, porque al directivo no se le permite vender las opciones. Si un directivo desea obtener efectivo de las opciones, debe ejercer las opciones y vender la acción. Por esta razón, la valuación de opciones sobre acciones para directivos no es tan fácil como la valuación de opciones regulares, y requiere un modelo del comportamiento de ejercicio anticipado de los directivos (vea la sección 12.10).

Ha habido algunas actividades cuestionables muy difundidas en cuanto a la concesión de opciones sobre acciones. Si los administradores de alto nivel de una empresa saben que habrá una notificación que dará lugar a un aumento del precio de la acción de la empresa, pueden tener una gran tentación de elegir el momento de otorgarse a sí mismos opciones sobre acciones (o de elegir la fecha de la notificación) de modo que la notificación ocurra poco tiempo después de la fecha de concesión. Aún peor, si la empresa experimenta un aumento rápido del precio de su acción, pueden tener la tentación de antedatar la fecha de concesión de sus opciones *at the money*. Al precer, algunos directivos empresariales han sucumbido a estas tentaciones.

pendientes cotizadas en la bolsa no está preestablecido. A medida que más personas negocian una serie específica de opciones, aumenta el número de opciones pendientes (es decir, el interés abierto). Los warrants que emite una empresa sobre su propia acción, las opciones sobre acciones para directivos, y los convertibles, son diferentes de las opciones que se cotizan en bolsa en otra forma importante. Cuando estos instrumentos se ejercen, la empresa emite más acciones propias y las vende al tenedor de la opción al precio de ejercicio. Por lo tanto, el ejercicio de los instrumentos da lugar a un aumento del número de acciones de la empresa que están en circulación. Por el contrario, cuando se ejerce una opción de compra cotizada en bolsa, la parte con la posición corta compra en el mercado acciones ya emitidas y las vende a la parte con la posición larga al precio de ejercicio. La empresa cuya acción subyace a la opción no participa en ninguna forma.

8.12 MERCADOS OTC (OVER-THE-COUNTER)

La mayor parte de este capítulo se ha centrado en los mercados de opciones cotizadas en bolsa. El mercado de opciones OTC ha adquirido cada vez más importancia desde principios de la década de 1980 y actualmente es mayor que el mercado que cotiza en bolsa. Como explicamos en el capítulo 1, en el mercado OTC, las instituciones financieras, los tesoreros corporativos y los administradores de fondos negocian por teléfono. Hay una amplia variedad de activos subyacentes a las opciones. Las opciones OTC sobre divisas y tasas de interés son particularmente populares. La principal desventaja potencial del mercado OTC es que el suscriptor de la opción podría no cumplir con sus pagos. Esto significa que el comprador está sujeto a cierto riesgo de crédito. En un intento por superar esta desventaja, los participantes del mercado adoptan algunas medidas, como exigir a sus contrapartes que paguen una garantía. Esto se analizó en la sección 2.4.

Con frecuencia, las instituciones financieras estructuran los instrumentos que se negocian en el mercado OTC para satisfacer las necesidades específicas de sus clientes. En ocasiones esto implica elegir fechas de ejercicio, precios strike y tamaños de contratos que sean distintos a los que se negocian en la bolsa. En otros casos, la estructura de la opción es diferente de las opciones estándar de compra y venta. Esta opción se conoce como *opción exótica*. El capítulo 20 describe diversos tipos de opciones exóticas.

RESUMEN

Hay dos tipos de opciones: opciones de compra y opciones de venta. Una opción de compra otorga al tenedor el derecho a comprar el activo subyacente a determinado precio en una fecha específica. Una opción de venta otorga al tenedor el derecho a vender el activo subyacente a determinado precio en una fecha específica. Hay cuatro posiciones posibles en los mercados de opciones: una posición larga en una opción de compra; una posición corta en una opción de compra; una posición larga en una opción de venta, y una posición corta en una opción de venta. Tomar una posición corta en una opción se conoce como suscripción. En la actualidad se negocian opciones sobre acciones, índices bursátiles, divisas, contratos de futuros y otros activos.

Una bolsa debe especificar los términos de los contratos de opciones que negocia. En particular, debe especificar el tamaño del contrato, la fecha exacta de vencimiento y el precio de ejercicio. En Estados Unidos de América, un contrato de opción sobre una acción otorga al tenedor el derecho a comprar o vender 100 acciones. El vencimiento de un contrato de opción sobre una acción ocurre a las 10:59 PM (hora del centro) del sábado siguiente al tercer viernes del mes de vencimiento. Las opciones con diferentes meses de vencimiento se negocian en cualquier momento. Los precios de ejercicio tienen intervalos de \$2.5, \$5 o \$10, dependiendo del precio de la acción. Por lo general, el precio de ejercicio es bastante cercano al precio de la acción al inicio de la negociación de una opción.

Los términos de las opciones sobre acciones no se ajustan normalmente a los dividendos en efectivo. Sin embargo, se ajustan a los dividendos en acciones, los splits y las emisiones derechos.

El objetivo del ajuste es mantener sin cambios las posiciones tanto del suscriptor como del comprador de un contrato.

La mayoría de las bolsas de opciones usa creadores de mercado. Éstos son individuos que cotizan tanto un precio de demanda (al que están dispuestos a comprar) como un precio de oferta (al que estén dispuestos a vender). Los creadores de mercado mejoran la liquidez del mercado y aseguran que nunca haya ningún retraso en la ejecución de las órdenes de mercado. Ellos mismos obtienen una utilidad de la diferencia entre los precios de demanda y oferta (conocida como diferencial de demanda y oferta). La bolsa tiene reglas que especifican los límites superiores de este diferencial.

Los suscriptores de opciones tienen pasivos potenciales, por lo que deben mantener márgenes con sus intermediarios. Si el intermediario no es miembro de la Corporación de Compensación de Opciones, debe mantener una cuenta de margen con una empresa que sea miembro. A su vez, esta empresa mantendrá una cuenta de margen con la Corporación de Compensación de Opciones, la cual es responsable de mantener un registro de todos los contratos pendientes, manejar las órdenes de ejercicio, etcétera.

No todas las opciones se negocian en bolsas, ya que muchas se negocian por teléfono en el mercado OTC (over-the-counter). Una ventaja de las opciones OTC es que una institución financiera puede adaptarlas para satisfacer las necesidades específicas de un tesorero corporativo o administrador de fondos.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Arzac, E.R. "PERCs, DECs, and Other Mandatory Convertibles". *Journal of Applied Corporate Finance*, 10, 1 (1997), pp. 54-63.

Core, J.E. y W.R. Guay. "Stock Options Plans for non-Executive Employees". *Journal of Financial Economics*, 61, 2 (2001), pp. 253-87.

Cox, J.C. y M. Rubinstein. *Options Markets*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 1985.

Hull, J.C. y A. White. "How to Value Employee Stock Options", *Financial Analysts Journal*, 60, 1 (enero/febrero de 2004), pp. 114-19.

Rubinstein, M. "On the Accounting Valuation of Employee Stock Options", *Journal of Derivatives*, 3, 1 (otoño de 1995), pp. 8-24.

Examen (respuestas al final del libro)

8.1. Un inversionista compra una opción de venta europea sobre una acción en \$3. El precio de la acción es de \$42 y el precio de ejercicio es de \$40. ¿En qué circunstancias el inversionista obtiene una utilidad? ¿En qué circunstancias se ejercerá la opción? Dibuje un diagrama que muestre cómo varía la utilidad del inversionista con el precio de la acción al vencimiento de la opción.

8.2. Un inversionista vende una opción de compra europea sobre una acción en \$4. El precio de la acción es de \$47 y el precio de ejercicio es de \$50. ¿En qué circunstancias el inversionista obtiene una utilidad? ¿En qué circunstancias se ejercerá la opción? Dibuje un diagrama que muestre cómo varía la utilidad del inversionista con el precio de la acción al vencimiento de la opción.

8.3. Un inversionista vende una opción de compra europea con un precio de ejercicio de K y un vencimiento T y compra una opción de venta con el mismo precio de ejercicio y vencimiento. Describa la posición del inversionista.

8.4. Explique por qué los intermediarios requieren márgenes cuando sus clientes suscriben opciones, pero no cuando las compran.

8.5. Una opción sobre una acción está en un ciclo de febrero, mayo, agosto y noviembre. ¿Qué opciones se negocian (a) el 1 de abril y (b) el 30 de mayo?

8.6. Una empresa declara un split 2 por 1. Explique cómo cambian los términos de una opción de compra con un precio de ejercicio de $60.

8.7. ¿Cómo difiere una opción sobre acciones para directivos de una opción sobre acciones regular cotizada en bolsa u OTC estilo americano?

Preguntas y problemas

8.8. Un tesorero corporativo diseña un programa de cobertura que incluye opciones sobre divisas. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de usar (a) la Bolsa de Valores de Filadelfia y (b) el mercado OTC para negociar?

8.9. Suponga que una opción de compra europea para adquirir una acción en $100.00 cuesta $5.00 y que se mantiene hasta su vencimiento. ¿En qué circunstancias el tenedor de la opción obtendrá una utilidad? ¿En qué circunstancias se ejercerá la opción? Dibuje un diagrama que ilustre cómo la utilidad obtenida de una posición larga en la opción depende del precio de la acción al vencimiento de la opción.

8.10. Suponga que una opción de venta europea para vender una acción en $60 cuesta $8 y que se mantiene hasta su vencimiento. ¿En qué circunstancias el vendedor de la opción, es decir, la parte con la posición corta, obtendrá una utilidad? ¿En qué circunstancias se ejercerá la opción? Dibuje un diagrama que ilustre cómo la utilidad obtenida de una posición corta en la opción depende del precio de la acción al vencimiento de la opción.

8.11. Describa el valor final de la siguiente cartera: una posición larga en un contrato a plazo recién establecido sobre un activo y una posición larga en una opción de venta europea sobre el activo, con el mismo vencimiento que el contrato a plazo y un precio de ejercicio igual al precio a plazo del activo al momento de crear la cartera. Demuestre que la opción de venta europea tiene el mismo valor que una opción de compra europea con el mismo precio de ejercicio y vencimiento.

8.12. Un negociante adquiere una opción de compra con un precio de ejercicio de $45 y una opción de venta con un precio de ejercicio de $40. Ambas opciones tienen el mismo vencimiento. La opción de compra cuesta $3 y la opción de venta $4. Dibuje un diagrama que muestre cómo varía la utilidad del negociante con el precio del activo.

8.13. Explique por qué una opción americana siempre vale por lo menos tanto como una opción europea sobre el mismo activo con el mismo precio strike y fecha de ejercicio.

8.14. Explique por qué una opción americana siempre vale por lo menos tanto como su valor intrínseco.

8.15. Explique detalladamente la diferencia entre suscribir una opción de venta y adquirir una opción de compra.

8.16. El tesorero de una corporación trata de elegir entre opciones y contratos a plazo para cubrir el riesgo cambiario de la corporación. Analice las ventajas y desventajas de cada uno.

8.17. Considere un contrato de opción de compra cotizada en bolsa para comprar 500 acciones con un precio de ejercicio de $40 y un vencimiento en cuatro meses. Explique cómo cambian los términos del contrato de opción cuando hay:

a. Un dividendo sobre acciones de 10%.

b. Un dividendo en efectivo de 10%.

c. Un split 4-por-1.

8.18. "Si casi todas las opciones de compra sobre una acción están *in the money*, es probable que el precio de la acción haya aumentado rápidamente en los últimos meses". Analice esta afirmación.

8.19. ¿Cuál es el efecto de un dividendo en efectivo inesperado en (a) el precio de una opción de compra y (b) el precio de una opción de venta?

8.20. Las opciones sobre la acción de General Motors están en un ciclo de marzo, junio, septiembre y diciembre. ¿Qué opciones se negocian (a) el 1 de marzo, (b) el 30 de junio y (c) el 5 de agosto?

8.21. Explique por qué el diferencial de demanda y oferta del creador de mercado representa un costo real para los inversionistas en opciones.

8.22. Un inversionista estadounidense suscribe cinco contratos de opción de compra descubierta. El precio de la opción es de $3.50, el precio de ejercicio es de $60.00 y el precio de la acción es de $57.00. ¿Cuál es el requisito de margen inicial?

Preguntas de tarea

8.23. El precio de una acción es de 40 dólares. El precio de una opción de venta europea a un año sobre la acción, con un precio de ejercicio de $30, se cotiza en $7 y el precio de una opción de compra europea a un año sobre la acción, con un precio de ejercicio de $50, se cotiza en $5. Suponga que un inversionista compra 100 acciones, vende en corto 100 opciones de compra y adquiere 100 opciones de venta. Dibuje un diagrama que ilustre cómo varía la utilidad o la pérdida del inversionista con el precio de la acción durante el año siguiente. ¿Cómo cambia su respuesta si el inversionista compra 100 acciones, vende en corto 200 opciones de compra y compra 200 opciones de venta?

8.24. "Si una empresa no es mejor que sus competidores, pero el mercado de acciones sube, a los directivos les va muy bien con sus opciones sobre acciones. Esto no tiene sentido". Analice este punto de vista. Piense en algunas alternativas al plan usual de opciones sobre acciones para directivos que tomen en cuenta este punto de vista.

8.25. Use el software DerivaGem para calcular el valor de una opción de venta americana sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $30, el precio de ejercicio es de $32, la tasa libre de riesgo es de 5%, la volatilidad es de 30% y el tiempo al vencimiento es de 1.5 años. (Elija Binomial americana para el Tipo de opción y 50 intervalos de tiempo).

a. ¿Cuál es el valor intrínseco de la opción?
b. ¿Cuál es el valor de la opción en el tiempo?
c. ¿Qué indicaría un valor de cero en el tiempo? ¿Cuál es el valor de una opción con un valor de cero en el tiempo?
d. Use un método de ensayo y error y calcule qué tan bajo tendría que ser el precio de la acción para que el valor de la opción en el tiempo fuera igual a cero.

8.26. El 20 de julio de 2004, Microsoft sorprendió al mercado al anunciar un dividendo de $3. La fecha ex-dividendo fue el 17 de noviembre de 2004 y la fecha de pago fue el 2 de diciembre de 2004. El precio de su acción en ese momento era aproximadamente de $28. Además cambió los términos de sus opciones sobre acciones para empleados de tal manera que cada precio de ejercicio se ajustara hacia abajo a

$$\text{Precio de ejercicio predividendo} \times \frac{\text{Precio de cierre} - \$3.00}{\text{Precio de cierre}}$$

El número de acciones cubiertas por cada opción sobre acciones se ajustó hacia arriba a

$$\text{Número de acciones predividendo} \times \frac{\text{Precio de cierre}}{\text{Precio de cierre} - \$3.00}$$

"Precio de cierre" significa el precio de cierre oficial NASDAQ de una acción ordinaria de Microsoft en el último día de negociación antes de la fecha exdividendo.

Evalúe este ajuste. Compárelo con el sistema que usan las bolsas para realizar ajustes por dividendos extraordinarios (vea Panorámica de negocios 8.1).

9
CAPÍTULO

Propiedades de las opciones sobre acciones

En este capítulo analizamos los factores que afectan los precios de las opciones sobre acciones. Usamos varios argumentos de arbitraje para explorar las relaciones entre los precios de opciones europeas, los precios de opciones americanas y el precio de la acción subyacente. La más importante de estas relaciones es la paridad entre opciones de venta y de compra, que es la relación entre los precios de las opciones de compra y de venta europeas.

El capítulo analiza si las opciones americanas deben ejecutarse anticipadamente. Muestra que no es lo óptimo ejercer una opción de compra americana sobre una acción que no paga dividendos antes del vencimiento de la opción, pero que, en algunas circunstancias, sí lo es el ejercicio anticipado de una opción de venta americana sobre una acción de este tipo.

9.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS PRECIOS DE LAS OPCIONES

Hay seis factores que influyen en el precio de una opción sobre acciones:

1. El precio actual de la acción, S_0
2. El precio de ejercicio, K
3. El tiempo al vencimiento, T
4. La volatilidad del precio de la acción, σ
5. La tasa de interés libre de riesgo, r
6. Los dividendos esperados durante la vida de la opción

En esta sección analizamos lo que ocurre con los precios de las opciones cuando uno de estos factores cambia y todos los demás permanecen constantes. La tabla 9.1 resume los resultados.

Las figuras 9.1 y 9.2 muestran cómo el precio de una opción de compra y de una opción de venta europeas depende de los primeros cinco factores en una situación en la que $S_0 = 50$, $K = 50$, $r = 5\%$ anual, $\sigma = 30\%$ anual, $T = 1$ año y no hay dividendos. En este caso el precio de la opción de compra es de 7.116 y el precio de la opción de venta es de 4.677.

Precio de la acción y precio de ejercicio

Si una opción de compra se ejerce en alguna fecha futura, el beneficio será el monto en que el precio de la acción exceda al precio de ejercicio. Por lo tanto, las opciones de compra se vuelven más

Tabla 9.1 Resumen del efecto del aumento de una variable, mientras todas las demás se mantienen constantes, en el precio de una opción sobre acciones*

Variable	*Opción de compra europea*	*Opción de venta europea*	*Opción de compra americana*	*Opción de venta americana*
Precio actual de la acción	+	−	+	−
Precio de ejercicio	2	+	−	+
Tiempo al vencimiento	?	?	+	+
Volatilidad	+	+	+	+
Tasa libre de riesgo	+	−	+	−
Dividendos	2	+	−	+

*El signo + indica que un aumento de la variable hace que el precio de la opción se incremente; el signo − indica que un aumento de la variable hace que el precio de la opción disminuya: el signo ? indica que la relación es incierta.

valiosas conforme aumenta el precio de la acción y menos valiosas a medida que se incrementa el precio de ejercicio. En el caso de una opción de venta, el beneficio que se obtiene al ejercerla es el monto en que el precio de ejercicio excede al precio de la acción. Por consiguiente, las opciones de venta se comportan de manera opuesta a las opciones de compra, es decir, se vuelven menos valiosas conforme aumenta el precio de la acción y más valiosas a medida que se incrementa el precio de ejercicio. Las figuras 9.1a, b, c y d ilustran cómo los precios de las opciones de venta y de compra dependen del precio de la acción y del precio de ejercicio.

Tiempo al vencimiento

A continuación, considere el efecto de la fecha de vencimiento. Las opciones americanas tanto de venta como de compra se vuelven más valiosas (o por lo menos no disminuyen en valor) a medida que aumenta el tiempo al vencimiento. Considere dos opciones americanas que difieren únicamente en la fecha de vencimiento. El propietario de la opción de largo plazo tiene todas las oportunidades de ejercicio que están disponibles para el propietario de la opción de corto plazo, y otras más. Por lo tanto, la opción de largo plazo debe tener al menos tanto valor como la opción de corto plazo.

Aunque las opciones de venta y de compra usualmente se vuelven más valiosas a medida que aumenta el tiempo al vencimiento (por ejemplo, vea las figuras 9.1e y f), éste no siempre es el caso. Considere dos opciones de compra europeas sobre una acción: una con una fecha de vencimiento en un mes y la otra con una fecha de vencimiento en dos meses. Suponga que se espera un monto muy grande de dividendos en seis semanas. El dividendo ocasionará la disminución del precio de la acción, de modo que la opción de corto plazo podría valer más que la opción de largo plazo.

Volatilidad

En el capítulo 12 se analiza la manera exacta de definir la volatilidad. En términos generales, la *volatilidad* del precio de una acción es una medida de la incertidumbre en cuanto a las variaciones del precio de la acción en el futuro. A medida que la volatilidad aumenta, también aumenta la posibilidad de que la acción tenga un desempeño muy bueno o rinda muy pocos incrementos. Para el propietario de una acción, estos dos resultados se compensan entre sí. Sin embargo, esto no ocurre así para el propietario de una opción de compra o de venta. El propietario de una opción de compra se beneficia con los aumentos de precio, pero tiene un riesgo limitado de disminución de valor en caso de que el precio disminuya debido a que lo máximo que el propietario puede perder es el precio de la opción. Del mismo modo, el propietario de una opción de venta se beneficia con las disminuciones de precio, pero tiene un riesgo limitado de disminución de valor en caso de que el precio aumente. Por consiguiente, los valores de las opciones tanto de compra como de venta se incrementan a medida que la volatilidad aumenta (vea las figuras 9.2a y b).

Tasa de interés libre de riesgo

La tasa de interés libre de riesgo afecta el precio de una opción de manera menos definida. Conforme aumentan las tasas de interés en la economía, el rendimiento esperado que los inversionistas requieren

Figura 9.1 Efecto de los cambios en el precio de las acciones, el precio de ejercicio y la fecha de vencimiento sobre los precios de las opciones cuando $S_0 = 50$, $K = 50$, $r = 5\%$, $\sigma = 30\%$ y $T = 1$

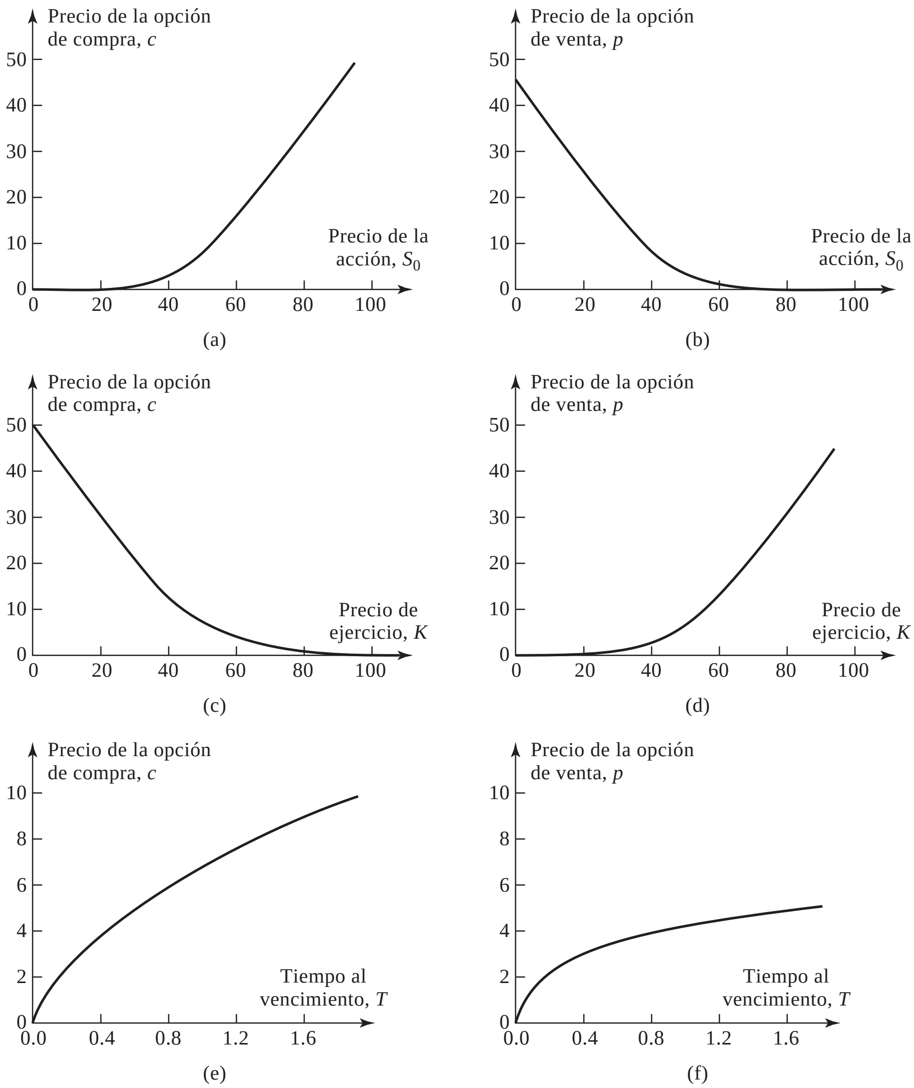
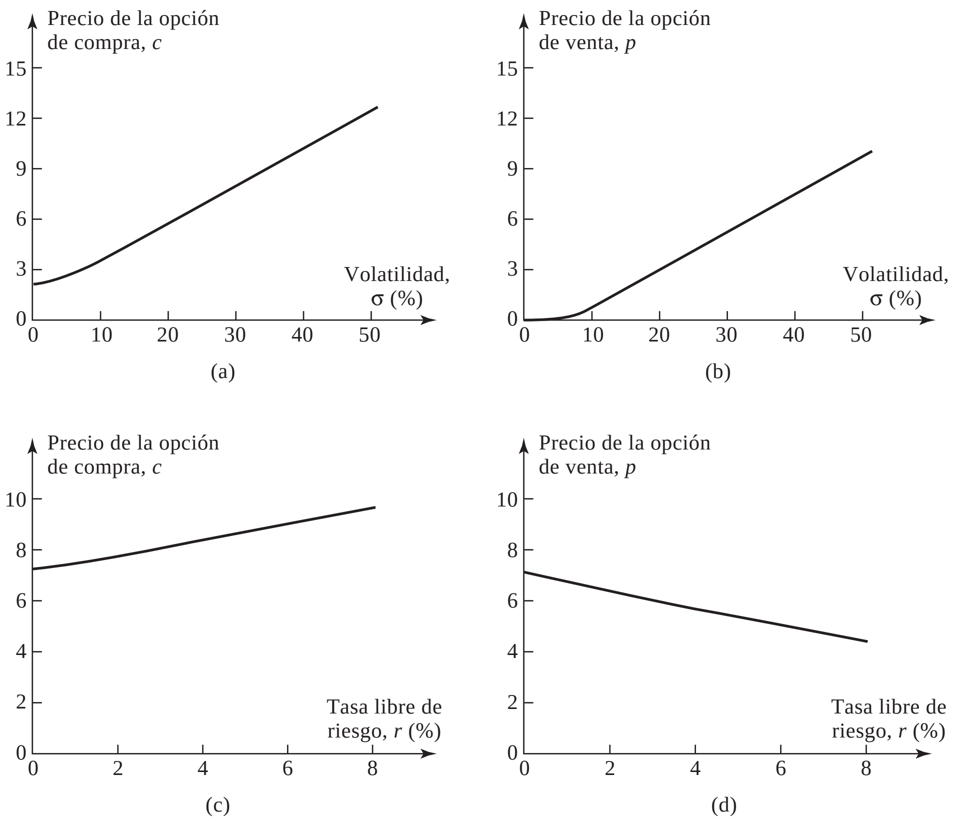


Figura 9.2 Efecto de los cambios en la volatilidad y la tasa de interés libre de riesgo sobre los precios de las opciones cuando $S_0 = 50$, $K = 50$, $r = 5\%$, $\sigma = 30\%$ y $T = 1$



de la acción tiende a aumentar. Además, disminuye el valor presente de cualquier flujo de efectivo futuro que recibirá el tenedor de la opción. El impacto combinado de estos dos efectos es aumentar el valor de las opciones de compra y disminuir el valor de las opciones de venta (vea las figuras 9.2c y d).

Es importante destacar que, en la tabla 9.1, asumimos que las tasas de interés cambian en tanto que las demás variables permanecen constantes. En particular, suponemos que las tasas de interés cambian mientras que el precio de la acción permanece constante. En la práctica, cuando las tasas de interés suben (bajan), los precios de las acciones tienden a bajar (subir). El efecto neto de un incremento de las tasas de interés y la disminución concomitante del precio de la acción es la disminución del valor de una opción de compra y el aumento del valor de una opción de venta. Del mismo modo, el efecto neto de una disminución de las tasas de interés y el incremento concomitante del precio de la acción es el aumento del valor de una opción de compra y la disminución del valor de una opción de venta.

Dividendos

Los dividendos tienen el efecto de disminuir el precio de la acción en la fecha ex dividendo. Éstas son malas noticias para el valor de las opciones de compra y buenas noticias para el valor de las opciones de venta. Por lo tanto, el valor de una opción de compra se relaciona negativamente con el tamaño de cualquier dividendo anticipado y el valor de una opción de venta se relaciona positivamente con el tamaño de cualquier dividendo anticipado.

9.2 SUPUESTOS Y NOTACIÓN

En este capítulo haremos supuestos similares a los que se realizaron para determinar los precios a plazo y de futuros en el capítulo 5. Asumimos que hay algunos participantes de mercado, como los grandes bancos de inversión, para los cuales las siguientes afirmaciones son ciertas:

1. No hay costos de transacción.
2. Todas las utilidades de negociación (netas de las pérdidas de negociación) están sujetas a la misma tasa impositiva.
3. Es posible adquirir y realizar préstamos a la tasa de interés libre de riesgo.

Asumimos que estos participantes de mercado están dispuestos a aprovechar las oportunidades de arbitraje a medida que surgen. Como analizamos en los capítulos 1 y 5, esto significa que cualquier oportunidad de arbitraje disponible desaparece muy rápidamente. Por lo tanto, en nuestro análisis asumiremos que no hay oportunidades de arbitraje y usaremos la siguiente notación:

S_0: precio actual de la acción
K: precio de ejercicio de la opción
T: tiempo al vencimiento de la opción
S_T: precio de la acción en la fecha de vencimiento
r: tasa de interés libre de riesgo continuamente compuesta para una inversión que vence en el tiempo T
C: valor de una opción de compra americana para adquirir una acción
P: valor de una opción de venta americana para vender una acción
c: valor de una opción de compra europea para adquirir una acción
p: valor de una opción de venta europea para vender una acción

Debemos observar que r es la tasa de interés nominal, no la tasa de interés real, y asumimos que $r > 0$. De otro modo, una inversión libre de riesgo no proporcionaría ventajas sobre el efectivo. (De hecho, si $r < 0$, el efectivo sería preferible a una inversión libre de riesgo).

9.3 LÍMITES SUPERIORES E INFERIORES DE LOS PRECIOS DE OPCIONES

En esta sección determinamos los límites superiores e inferiores de los precios de las opciones. Estos límites no dependen de ningún supuesto específico sobre los factores mencionados en la sección 9.2 (excepto $r > 0$). Si el precio de una opción está por arriba del límite superior o por debajo del límite inferior, hay oportunidades rentables para los arbitrajistas.

Límites superiores

Una opción de compra americana o europea otorga al tenedor el derecho a comprar una acción de una empresa a un precio determinado. Sin importar lo que suceda, la opción no puede valer más que la acción. Por consiguiente, el precio de la acción es un límite superior para el precio de la opción:

$$c \leqslant S_0 \text{ y } C \leqslant S_0$$

Si estas relaciones no fueran ciertas, un arbitrajista podría obtener fácilmente una utilidad libre de riesgo al comprar la acción y vender la opción de compra.

Una opción de venta americana o europea otorga al tenedor el derecho a vender una acción de una empresa en K. No importa qué tanto disminuya el precio de la acción, la opción no puede valer más que K. Por consiguiente,

$$p \leqslant K \text{ y } P \leqslant K$$

En el caso de las opciones europeas, sabemos que, a su vencimiento, la opción no puede valer más que K. Se deduce que no puede valer más que el valor presente de K al día de hoy:

$$p \leqslant Ke^{-rT}$$

Si esto no fuera cierto, una arbitrajista podría obtener una utilidad libre de riesgo al suscribir la opción e invertir el producto de la venta a la tasa de interés libre de riesgo.

Límite inferior de opciones de compra sobre acciones que no pagan dividendos

Un límite inferior para el precio de una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos es

$$S_0 - Ke^{-rT}$$

Primero analizamos un ejemplo numérico y después consideramos un argumento más formal.

En el ejemplo 9.1, $S_0 = 20$ dólares, $K = 18$ dólares, $r = 10\%$ anual y $T = 1$ año, de tal manera que

$$S_0 - Ke^{-rT} = 20 - 18e^{-0.1} = 3.71$$

o \$3.71. El precio de la opción de compra europea es de \$3.00, que es menor que el mínimo teórico de \$3.71. Un arbitrajista puede vender en corto la acción y adquirir la opción de compra para

Ejemplo 9.1 Precio de una opción de compra demasiado bajo

Una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos con un precio de ejercicio de \$18 y una fecha de vencimiento en un año cuesta \$3. El precio de la acción es de \$20 y la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual.

Acción a seguir ahora

Comprar la opción en \$3
Vender en corto la acción para obtener \$20
Invertir \$17 durante 1 año

Acción a seguir en un año

Si $S_T > 18$:	Si $S_T < 18$:
Ejercer la opción para comprar la acción en \$18	Comprar la acción para S_T
Usar la acción para cerrar la posición corta	Usar la acción para cerrar la posición corta
Recibir \$18.79 de la inversión	Recibir \$18.79 de la inversión
Ganancia neta = \$0.79	Ganancia neta = $18.79 - S_T$ (> \$0.79)

que le proporcione una entrada de efectivo de \$20.00 − \$3.00 = \$17.00. Si se invierten durante un año a 10% anual, los \$17.00 aumentan a $17e^{0.1}$ = \$18.79. Al final del año, la opción vence. Si el precio de la acción es mayor a \$18.00, el arbitrajista ejerce la opción en \$18.00, cierra la posición corta y obtiene una utilidad de

$$\$18.79 - \$18.00 = \$0.79$$

Si el precio de la acción es menor a \$18.00, la acción se compra en el mercado y se cierra la posición corta. Entonces, el arbitrajista obtiene una utilidad todavía mayor. Por ejemplo, si el precio de la acción es de \$17.00, la utilidad del arbitrajista es

$$\$18.79 - \$17.00 = \$1.79$$

Para un argumento más formal, consideramos las dos carteras siguientes:

Cartera A: una opción de compra europea más un monto de efectivo igual a Ke^{-rT}

Cartera B: una acción

En la cartera A, si se invierte el efectivo a la tasa de interés libre de riesgo aumentará a K en el tiempo T. Si $S_T > K$, la opción de compra se ejerce al vencimiento y la cartera A vale S_T. Si $S_T < K$, la opción de compra vence sin valor y la cartera vale K. Por consiguiente, en el tiempo T, el valor de la cartera A es

$$\text{máx}(S_T, K)$$

La cartera B vale S_T en el tiempo T. Por lo tanto, la cartera A vale tanto como la cartera B, y puede valer más que ésta al vencimiento de la opción. Se deduce que, al no haber oportunidades de arbitraje, esto también debe ser cierto hoy. Por consiguiente,

$$c + Ke^{-rT} \geqslant S_0$$

o

$$c \geqslant S_0 - Ke^{-rT}$$

Como lo peor que puede ocurrirle a una opción de compra es que venza sin valor, su valor no puede ser negativo. Esto significa que $c \geqslant 0$ y, por lo tanto,

$$c \geqslant \text{máx}(S_0 - Ke^{-rT}, 0) \tag{9.1}$$

El ejemplo 9.2 proporciona una aplicación de esta fórmula.

Ejemplo 9.2 Límite inferior de una opción de compra

Considere una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de \$51, el precio de ejercicio es de \$50, el tiempo al vencimiento es de seis meses y la tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual. En este caso, $S_0 = 51$, $K = 50$, $T = 0.5$ y $r = 0.12$. Con base en la ecuación (9.1), un límite inferior para el precio de la opción es $S_0 - Ke^{-rT}$, o

$$51 - 50e^{-0.12 \times 0.5} = \$3.91$$

Límite inferior de opciones de venta sobre acciones que no pagan dividendos

En el caso de una opción de venta europea sobre una acción que no paga dividendos, un límite inferior para el precio es

$$Ke^{-rT} - S_0$$

De nuevo, consideramos primero un ejemplo numérico y después analizamos un argumento más formal. En el ejemplo 9.3, $S_0 = \$37$, $K = \$40$, $r = 5\%$ anual y $T = 0.5$ años, de tal manera que

$$Ke^{-rT} - S_0 = 40e^{-0.05\times 0.5} - 37 = \$2.01$$

El precio de la opción de venta europea es de \$1.00, el cual es menor que el mínimo teórico de \$2.01. Un arbitrajista puede adquirir en préstamo \$38.00 durante seis meses para comprar tanto la opción de venta como la acción. Al término de los seis meses, el arbitrajista deberá rembolsar $38e^{0.05\times 0.5} = \$38.96$. Si el precio de la acción es menor de \$40.00, el arbitrajista ejerce la opción para vender la acción en \$40.00, rembolsa el préstamo y obtiene una utilidad de

$$\$40.00 - \$38.96 = \$1.04$$

Si el precio de la acción es mayor de \$40.00, el arbitrajista descarta la opción, vende la acción y rembolsa el préstamo para obtener una utilidad todavía mayor. Por ejemplo, si el precio de la acción es de \$42.00, la utilidad del arbitrajista es de

$$\$42.00 - \$38.96 = \$3.04$$

Para un argumento más formal, consideramos las dos carteras siguientes:

Cartera C: una opción de venta europea más una acción
Cartera D: un monto de efectivo igual a Ke^{-rT}

Ejemplo 9.3 Precio de una opción de venta demasiado bajo

Una opción de venta europea sobre una acción que no paga dividendos, con un precio de ejercicio de \$40, y una fecha de vencimiento en seis meses cuesta \$1. El precio de la acción es de \$37 y la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual.

Acción a seguir ahora
Adquirir en préstamo \$38 durante seis meses
Comprar la opción en \$1
Comprar la acción en \$37

Acción a seguir en seis meses

Si $S_T < 40$:	Si $S_T > 40$:
Ejercer la opción para vender la acción en \$40	Vender la acción en $+S_T$
Usar \$38.96 para rembolsar los préstamos	Usar \$38.96 para rembolsar los préstamos
Ganancia neta = \$1.04	Ganancia neta = $S_T - 38.96 > \$1.04$

Ejemplo 9.4 Límite inferior de una opción de venta

Considere una opción de venta europea sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de \$38, el precio de ejercicio es de \$40, el tiempo al vencimiento es de tres meses y la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual. En este caso, $S_0 = 38$, $K = 40$, $T = 0.25$ y $r = 0.10$. Con base en la ecuación (9.2), un límite inferior para el precio de la opción es $Ke^{-rT} - S_0$, o

$$40e^{-0.1\times 0.25} - 38 = \$1.01$$

Si $S_T < K$, la opción de la cartera C se ejerce a su vencimiento y la cartera adquiere un valor de K. Si $S_T > K$, la opción de venta vence sin valor y la cartera vale S_T en este momento. Por consiguiente, el valor de la cartera C es

$$\text{máx}(S_T, K)$$

en el tiempo T. Suponiendo que el efectivo se invierte a la tasa de interés libre de riesgo, el valor de la cartera D es de K en el tiempo T. Por lo tanto, la cartera C vale tanto como la cartera D, y en ocasiones puede valer más que ésta, en el tiempo T. Se deduce que, al no haber oportunidades de arbitraje, la cartera C debe tener al menos tanto valor como la cartera D el día de hoy. Por consiguiente,

$$p + S_0 \geqslant Ke^{-rT}$$

o

$$p \geqslant Ke^{-rT} - S_0$$

Como lo peor que puede ocurrirle a una opción de venta es que venza sin valor, su valor no puede ser negativo. Esto significa que

$$p \geqslant \text{máx}(Ke^{-rT} - S_0,\ 0) \tag{9.2}$$

El ejemplo 9.4 proporciona una aplicación de esta fórmula.

9.4 PARIDAD ENTRE OPCIONES DE VENTA Y DE COMPRA

Ahora determinaremos una importante relación entre p y c. Considere las dos carteras siguientes que se usaron en la sección anterior:

Cartera A: una opción de compra europea más un monto de efectivo igual a Ke^{-rT}

Cartera C: una opción de venta europea más una acción

Ambas valen

$$\text{máx}(S_T, K)$$

al vencimiento de las opciones. Como las opciones son europeas, no pueden ejecutarse antes de la fecha de vencimiento. Por lo tanto, las carteras deben tener valores idénticos hoy. Esto significa que

$$c + Ke^{-rT} = p + S_0 \tag{9.3}$$

Esta relación se conoce como *paridad entre opciones de venta y de compra*. Muestra que el valor de una opción de compra europea con determinado precio de ejercicio y fecha de ejercicio puede deducirse del valor de una opción de venta europea con el mismo precio y fecha de ejercicio y viceversa.

Si la ecuación (9.3) no se sostiene, hay oportunidades de arbitraje. Suponga que el precio de la acción es de \$31, el precio de ejercicio es de \$30, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual, el precio de una opción de compra europea a tres meses es de \$3 y el precio de una opción de venta europea a tres meses es de \$2.25. En este caso,

$$c + Ke^{-rT} = 3 + 30e^{-0.1\times 3/12} = \$32.26$$
$$p + S_0 = 2.25 + 31 = \$33.25$$

La cartera C está sobrevaluada con relación a la cartera A. La estrategia de arbitraje correcta es comprar los títulos de la cartera A y vender en corto los títulos de la cartera C. La estrategia consiste en adquirir la opción de compra y vender en corto tanto la opción de venta como la acción, generando un flujo de efectivo positivo de

$$-3+2.25+31 = \$30.25$$

por adelantado. Cuando se invierte a la tasa de interés libre de riesgo, este monto aumenta a $30.25e^{0.1\times 0.25} = \$31.02$ en tres meses.

Si el precio de la acción al vencimiento de la opción es mayor de \$30, la opción de compra se ejercerá; si es menor de \$30, la opción de venta se ejercerá. En cualquier caso, el inversionista termina comprando una acción en \$30. Esta acción se puede usar para cerrar la posición corta. Por lo tanto, la utilidad neta es de

$$\$31.02 - \$30.00 = \$1.02$$

Para una situación alternativa, imagine que el precio de la opción de compra es de \$3 y que el precio de la opción de venta es de \$1. En este caso,

$$c + Ke^{-rT} = 3 + 30e^{-0.1\times 3/12} = \$32.26$$
$$p + S_0 = 1 + 31 = \$32.00$$

Tabla 9.2 Oportunidades de arbitraje cuando no se sostiene la paridad entre opciones de venta y de compra. Precio de la acción = \$31; tasa de interés = 10%; precio de la opción de compra = \$3. Tanto la opción de venta como la de compra tienen un precio de ejercicio de \$30 y tres meses a su vencimiento

Precio de la opción de venta a tres meses = \$2.25	***Precio de la opción de venta a tres meses = \$1***
Acción a seguir ahora:	*Acción a seguir ahora:*
Adquirir la opción de compra en \$3	Adquirir en préstamo \$29 durante 3 meses
Vender en corto la opción de venta para obtener \$2.25	Vender en corto la opción de compra para obtener \$3
Vender en corto la acción para obtener \$31	Comprar la opción de venta en \$1
Invertir \$30.25 durante 3 meses	Comprar la acción en \$31
Acción a seguir en 3 meses si $S_T > 30$:	*Acción a seguir en 3 meses si* $S_T > 30$:
Recibir \$31.02 de la inversión	Opción de compra ejercida: vender la acción en \$30
Ejercer la opción de compra para adquirir la acción en \$30	Usar \$29.73 para rembolsar el préstamo
Utilidad neta = \$1.02	Utilidad neta = \$0.27
Acción a seguir en 3 meses si $S_T < 30$:	*Acción en 3 meses si* $S_T < 30$:
Recibir \$31.02 de la inversión	Ejercer la opción de venta para vender la acción en \$30
Opción de venta ejercida: comprar la acción en \$30	Usar \$29.73 para rembolsar el préstamo
Utilidad neta = \$1.02	Utilidad neta = \$0.27

Panorámica de negocios 9.1 Paridad entre opciones de venta y de compra y estructura de capital

Los pioneros de la valuación de opciones fueron Fischer Black, Myron Scholes y Robert Merton. A principios la década de 1970, mostraron que las opciones se pueden usar para describir la estructura de capital de una empresa. En la actualidad, las instituciones financieras usan ampliamente este modelo para evaluar el riesgo de crédito de una empresa.

Para ilustrar el modelo, consideremos una empresa que tiene activos financiados con bonos cupón cero y acciones. Suponga que los bonos vencen en cinco años, tiempo en el que se requiere un pago de principal de K. La empresa no paga dividendos. Si los activos valen más de K en cinco años, los tenedores de acciones eligen reembolsar a los tenedores de bonos. Si los activos valen menos de K, los tenedores de acciones deciden declararse en quiebra y los tenedores de bonos terminan siendo propietarios de la empresa.

Por lo tanto, el valor de las acciones en cinco años es $\text{máx}(A_T - K, 0)$, donde A_T es el valor de los activos de la empresa en ese momento. Esto muestra que los tenedores de acciones tienen una opción de compra europea a cinco años sobre los activos de la empresa con un precio de ejercicio de K. ¿Qué pasa con los tenedores de bonos? Los obtienen $\text{mín}(A_T, K)$ en cinco años. Esto equivale a $K - \text{máx}(K - A_T, 0)$. Los tenedores de bonos otorgaron a los tenedores de acciones el derecho a venderles los activos de la empresa en K en cinco años. Por lo tanto, el valor de los bonos es igual al valor presente de K menos el valor de una opción de venta europea a cinco años sobre los activos, con un precio de ejercicio de K.

Para resumir, si c y p son los valores de las opciones de compra y de venta, respectivamente, entonces

$$\text{Valor de las acciones} = c$$

$$\text{Valor de la deuda} = PV(K) - p$$

Representa el valor actual de los activos de la empresa con A_0. El valor de los activos debe ser igual al valor total de los instrumentos usados para financiar los activos. Esto significa que debe ser igual a la suma del valor de las acciones y el valor de la deuda, de tal manera que

$$A_0 = c + [PV(K) - p]$$

Si reordenamos esta ecuación, tenemos

$$c + PV(K) = p + A_0$$

Éste es el resultado de la paridad entre opciones de venta y de compra de la ecuación (9.3) para opciones de compra y de venta sobre los activos de la empresa.

La cartera A esta sobrevaluada con relación a la cartera C. Un arbitrajista puede vender en corto los títulos de la cartera A y comprar los títulos de la cartera C para asegurar una utilidad. La estrategia consiste en vender en corto la opción de compra y comprar tanto la opción de venta como la acción con una inversión inicial de

$$\$31 + \$1 - \$3 = \$29$$

Cuando la inversión se financia a la tasa de interés libre de riesgo, se requiere un reembolso de $29e^{0.1\times0.25} = \$29.73$ al término de los tres meses. Al igual que en el caso anterior, se ejercerá la opción de compra o de venta. Por lo tanto, la posición corta en la opción de compra y la posición larga en la opción de venta ocasionan que la acción se venda en \$30.00. Por consiguiente, la utilidad neta es de

$$\$30.00 - \$29.73 = \$0.27$$

La tabla 9.2 ilustra estos ejemplos. La Panorámica de negocios 9.1 muestra cómo las opciones y la paridad sobre opciones de venta y de compra nos ayudan a entender las posiciones de los tenedores de deuda y los tenedores de acciones de una empresa.

Ejemplo 9.5 Relación entre opciones americanas de compra y de venta

Una opción de compra americana sobre una acción que no paga dividendos, con un precio de ejercicio de $20.00 y un vencimiento en cinco meses tiene un valor de $1.50. Suponga que el precio actual de la acción es de $19.00 y que la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual. Con base en la ecuación (9.4), tenemos

$$19 - 20 \leqslant C - P \leqslant 19 - 20e^{-0.1 \times 5/12}$$

o

$$1 \geqslant P - C \geqslant 0.18$$

lo que demuestra que $P - C$ está entre $1.00 y $0.18. Si C es de $1.50, P debe estar entre $1.68 y $2.50. En otras palabras, los límites superior e inferior del precio de una opción de venta americana con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento que la opción de compra americana son $2.50 y $1.68.

Opciones americanas

La paridad entre opciones de venta y de compra es válida sólo para las opciones europeas. No obstante, se pueden obtener algunos resultados para los precios de opciones americanas. Es demostrable que (vea el problema 9.18) cuando no hay dividendos,

$$S_0 - K \leqslant C - P \leqslant S_0 - Ke^{-rT} \tag{9.4}$$

El ejemplo 9.5 proporciona una aplicación de esta ecuación.

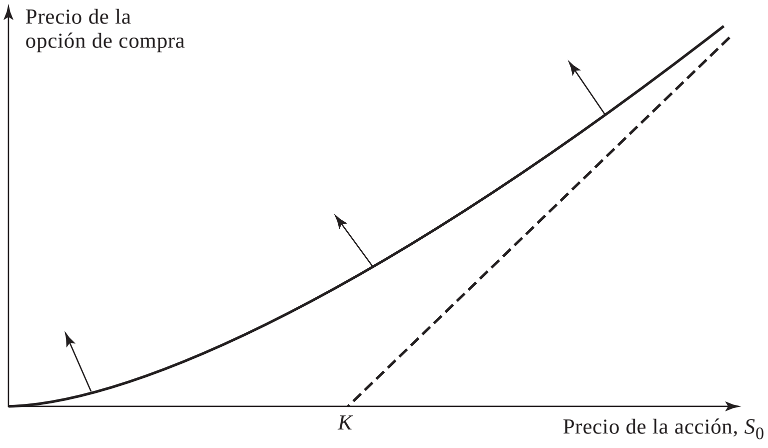
9.5 EJERCICIO ANTICIPADO: OPCIONES DE COMPRA SOBRE UNA ACCIÓN QUE NO PAGA DIVIDENDOS

Esta sección demuestra que no es lo óptimo ejercer una opción de compra americana sobre una acción que no paga dividendos antes de la fecha de vencimiento.

Para ilustrar la naturaleza general del argumento, considere una opción de compra americana sobre una acción que no paga dividendos, con un mes a su vencimiento, cuando el precio de la acción es de $50 y el precio de ejercicio es de $40. La opción está *deep in the money* y el inversionista que posee la opción podría tener la tentación de ejercerla inmediatamente. Sin embargo, si el inversionista planea ejercer la opción y mantener la acción obtenida durante más de un mes, ésta no es la mejor estrategia. Una mejor acción es mantener la opción y ejercerla al final del mes. Entonces, el precio de ejercicio de $40 se paga un mes después de la fecha en que se pagaría si la opción se ejerciera inmediatamente, de modo que se ganaran intereses sobre los $40 durante un mes. Como la acción no paga dividendos, no se sacrifica ningún ingreso sobre la acción. Una ventaja adicional de esperar en vez de ejercer la opción inmediatamente es que hay alguna posibilidad (aunque remota) de que el precio de la acción disminuya por debajo de $40 en un mes. En este caso, el inversionista no ejercerá la opción en un mes y se alegrará de no haber tomado la decisión de ejercerla de manera anticipada.

Este argumento muestra que no hay ventajas por ejercer la opción de manera anticipada si el inversionista planea mantener la acción durante la vida restante de la opción (un mes, en este caso). ¿Qué pasaría si el inversionista creyera que la acción está sobrevaluada actualmente y se pregunta si debe ejercer la opción y vender la acción? En este caso, es mejor para el inversionista ven-

Figura 9.3 Variación del precio de una opción de compra americana o europea, sobre una acción que no paga dividendos con el precio de la acción S_0



der la opción que ejercerla.[1] La opción la comprará otro inversionista que desee mantener la acción. Tal inversionista debe existir; de otro modo, el precio actual de la acción no sería de $50. El precio obtenido para la opción será mayor que su valor intrínseco de $10 por las razones mencionadas anteriormente.

Para un argumento más formal podemos usar la ecuación (9.1):

$$c \geqslant S_0 - Ke^{-rT}$$

Como el propietario de una opción de compra americana tiene todas las oportunidades de ejercicio disponibles para el propietario de la correspondiente opción de compra europea, debemos tener

$$C \geqslant c$$

Por consiguiente,

$$C \geqslant S_0 - Ke^{-rT}$$

Dado que $r > 0$, se deduce que $C > S_0 - K$. Si lo óptimo fuera ejercer la opción de manera anticipada, entonces C sería igual a $S_0 - K$. Deducimos que lo óptimo no es ejercerla anticipadamente.

La figura 9.3 muestra cómo varía en general el precio de la opción de compra con S_0 y K. La figura indica que el precio de la opción de compra está siempre por arriba de su valor intrínseco de máx($S_0 - K$, 0). A medida que aumenta r, T o la volatilidad, la línea que relaciona el precio de la opción de compra con el precio de la acción se desplaza en la dirección que indican las flechas (es decir, cada vez más lejos del valor intrínseco).

Para resumir, hay dos razones por las que una opción americana sobre una acción que no paga dividendos no debe ejercerse de manera anticipada. Una se relaciona con el seguro que la opción proporciona. Cuando una opción de compra se mantiene en vez de la acción misma, asegura, de hecho, al tenedor contra la caída del precio de la acción por debajo del precio de ejercicio. Una vez que se ejerce la opción y el precio de ejercicio se intercambia por el precio de la acción, este seguro desaparece. La otra razón tiene que ver con el valor del dinero en el tiempo. Desde la perspectiva del tenedor de la opción, cuanto más tarde se pague el precio de ejercicio, mejor.

[1] Como una estrategia alternativa, el inversionista puede mantener la opción y vender en corto la acción para asegurar una utilidad mayor a $10.

9.6 EJERCICIO ANTICIPADO: OPCIONES DE VENTA SOBRE UNA ACCIÓN QUE NO PAGA DIVIDENDOS

Posiblemente, lo óptimo es ejercer de manera anticipada una opción de venta americana sobre una acción que no paga dividendos. De hecho, en cualquier momento de su vida, una opción de venta siempre debe ejercerse de manera anticipada si está suficientemente deep in the money.

Para ilustrar esto, considere una situación extrema. Suponga que el precio de ejercicio es de \$10 y que el precio de la acción es prácticamente de cero. Si ejerce la opción en ese momento, un inversionista obtiene una ganancia inmediata de \$10. Si el inversionista espera, la ganancia obtenida por ejercer la opción podría ser menor a \$10, pero no mayor a \$10 porque es imposible tener precios negativos de acciones. Además, recibir \$10 ahora es preferible que recibir \$10 en el futuro. Se deduce que la opción debe ejercerse inmediatamente.

Al igual que una opción de compra, podemos considerar que una opción de venta proporciona un seguro. Cuando una opción de venta se mantiene junto con la acción, asegura al tenedor contra la caída del precio de la acción por debajo de determinado nivel. No obstante, una opción de venta difiere de una opción de compra en que lo óptimo para un inversionista podría ser renunciar a este seguro y ejercer la opción de manera anticipada para obtener inmediatamente el precio de ejercicio. En general, el ejercicio anticipado de una opción de venta se vuelve más atractivo a medida que S_0 disminuye, r aumenta y la volatilidad disminuye.

Con base en la ecuación (9.2), recordemos que

$$p \geqslant Ke^{-rT} - S_0$$

Para una opción de venta americana con un precio P, la condición más fuerte

$$P \geqslant K - S_0$$

debe sostenerse siempre porque el ejercicio inmediato es siempre posible.

La figura 9.4 muestra cómo varía en general el precio de una opción de venta americana con S_0. Siempre y cuando $r > 0$, lo óptimo es ejercer una opción de venta americana de inmediato cuando el precio de la acción es suficientemente bajo. Cuando el ejercicio anticipado es lo óptimo, el valor de la opción es $K - S_0$. Por lo tanto, la curva que representa el valor de la opción de venta se integra al valor intrínseco de la opción de venta, $K - S_0$, para un valor suficientemente pequeño de

Figura 9.4 Variación del precio de una opción de venta americana con el precio de la acción

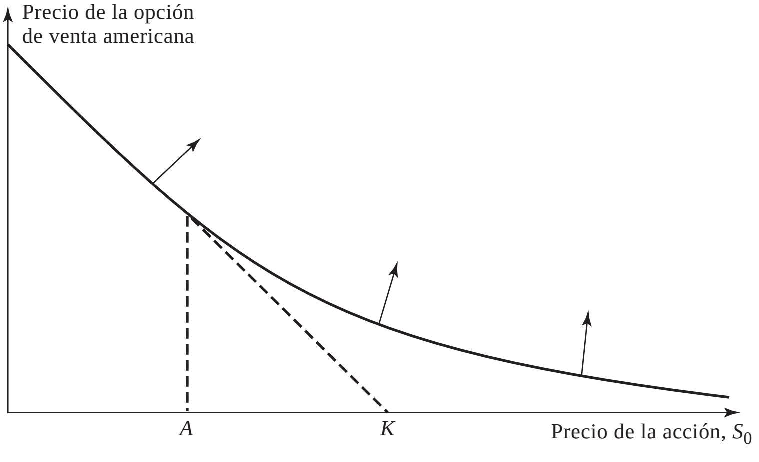
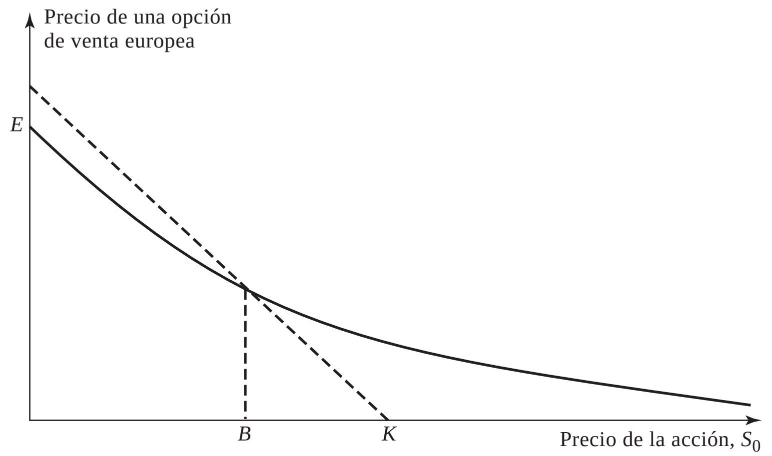


Figura 9.5 Variación del precio de una opción de venta europea con el precio de la acción



S_0. En la figura 9.4, este valor de S_0 se muestra como el punto A. La línea que relaciona el precio de venta con el precio de la acción se desplaza en la dirección que indican las flechas cuando r disminuye, la volatilidad aumenta y T aumenta.

Como hay algunas circunstancias convenientes para ejercer de manera anticipada una opción de venta americana, se deduce que esta opción siempre vale más que la opción de venta europea correspondiente. Además, como una opción de venta americana vale a veces su valor intrínseco (vea la figura 9.4), se deduce que una opción de venta europea debe valer en ocasiones menos que su valor intrínseco. La figura 9.5 muestra la variación del precio de la opción de venta europea con el precio de la acción. Observe que el punto B de la figura 9.5, donde el precio de la opción es igual a su valor intrínseco, debe representar un valor más alto del precio de la acción que el punto A de la figura 9.4. El punto E de la figura 9.5 está donde $S_0 = 0$, por lo que el precio de la opción de venta europea es Ke^{-rT}.

9.7 EFECTO DE LOS DIVIDENDOS

Los resultados obtenidos hasta ahora en este capítulo suponen que estamos tratando opciones sobre una acción que no paga dividendos. En esta sección examinamos el impacto de los dividendos. En Estados Unidos de América casi todas las opciones sobre acciones cotizadas en bolsa tienen un plazo menor a un año y los dividendos pagaderos durante la vida de la opción se predicen usualmente con una exactitud razonable. Usaremos D para indicar el valor presente de los dividendos durante la vida de la opción. En el cálculo de D, se asume que un dividendo ocurre en su fecha ex dividendo.

Límite inferior de opciones de compra y de venta

Redefinimos las carteras A y B de la manera siguiente:

Cartera A: una opción de compra europea más un monto de efectivo igual a $D + Ke^{-rT}$

Cartera B: una acción

Un argumento similar al que se usó para obtener la ecuación (9.1) muestra que

$$c \geqslant S_0 - D - Ke^{-rT} \qquad \textbf{(9.5)}$$

También podemos redefinir las carteras C y D de la manera siguiente:

Cartera C: una opción de venta europea más una acción
Cartera D: un monto de efectivo igual a $D + Ke^{-rT}$

Un argumento similar al que se usó para obtener la ecuación (9.2) muestra que

$$p \geqslant D + Ke^{-rT} - S_0 \qquad \textbf{(9.6)}$$

Ejercicio anticipado

Cuando se esperan dividendos ya no podemos afirmar que una opción de compra americana no se ejercerá anticipadamente. En ocasiones, lo óptimo es ejercer una opción de compra americana inmediatamente antes de una fecha ex dividendo. Nunca es óptimo ejercer una opción de compra en otras fechas. Este punto se analiza con más detalle en el Apéndice del capítulo 12.

Paridad entre opciones de venta y de compra

La comparación del valor de las carteras redefinidas A y C al vencimiento de la opción muestra que, con dividendos, el resultado de la paridad entre opciones de venta y de compra de la ecuación (9.3) se convierte en

$$c + D + Ke^{-rT} = p + S_0 \qquad \textbf{(9.7)}$$

Los dividendos hacen que la ecuación (9.4) se modifique a (vea el problema 9.19) para

$$S_0 - D - K \leqslant C - P \leqslant S_0 - Ke^{-rT} \qquad \textbf{(9.8)}$$

RESUMEN

Hay seis factores que influyen en el valor de una opción sobre acciones: el precio actual de la acción, el precio de ejercicio, la fecha de vencimiento, la volatilidad del precio de la acción, la tasa de interés libre de riesgo y los dividendos esperados durante la vida de la opción. En general, el valor de una opción de compra se incrementa a medida que aumentan el precio actual de la acción, el tiempo al vencimiento, la volatilidad, y la tasa de interés libre de riesgo. El valor de una opción de compra disminuye conforme aumentan el precio de ejercicio y los dividendos esperados. Por lo común, el valor de una opción de venta se incrementa a medida que aumentan el precio de ejercicio, el tiempo al vencimiento, la volatilidad y los dividendos esperados. El valor de una opción de venta disminuye conforme aumenta el precio actual de la acción y la tasa de interés libre de riesgo.

Se puede llegar a algunas conclusiones acerca del valor de las opciones sobre acciones sin hacer ningún supuesto sobre la volatilidad de los precios de las acciones. Por ejemplo, el precio de una opción de compra sobre una acción siempre debe valer menos que el precio de la acción misma. Del mismo modo, el precio de una opción de venta sobre una acción siempre debe valer menos que el precio de ejercicio de la opción.

Una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos debe valer más que

$$\text{máx}\,(S_0 - Ke^{-rT}, 0)$$

donde S_0 es el precio de la acción, K es el precio de ejercicio, r es la tasa de interés libre de riesgo y T es el tiempo al vencimiento. Una opción de venta europea sobre una acción que no paga dividendos debe valer más que

$$\text{máx}\,(Ke^{-rT} - S_0, 0)$$

Cuando se pagan dividendos con un valor presente de D, el límite inferior de una opción de compra europea se convierte en

$$\text{máx}\,(S_0 - D - Ke^{-rT}, 0)$$

y el límite inferior de una opción de venta europea se convierte en

$$\text{máx}\,(Ke^{-rT} + D - S_0, 0)$$

La paridad entre opciones de venta y de compra es una relación entre el precio, c, de una opción de compra europea sobre una acción y el precio, p, de una opción de venta europea sobre una acción. En el caso de una acción que no paga dividendos, esta relación es

$$c + Ke^{-rT} = p + S_0$$

En el caso de una acción que paga dividendos, la relación de paridad entre opciones de venta y de compra es

$$c + D + Ke^{-rT} = p + S_0$$

La paridad entre opciones de venta y de compra no se mantiene para las opciones americanas. Sin embargo, se pueden usar argumentos de arbitraje para obtener los límites superior e inferior de la diferencia entre el precio de una opción de compra americana y el precio de una opción de venta americana.

En el capítulo 12 llevaremos a cabo con más detalle los análisis presentados en este capítulo, haciendo supuestos específicos sobre el comportamiento probabilístico de los precios de las acciones. Esto nos permitirá obtener fórmulas de valuación exactas para las opciones sobre acciones europeas. En los capítulos 11 y 16 veremos cómo se pueden usar procedimientos numéricos para valuar opciones americanas.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Black, F. y M. Scholes. “The Pricing of Options and Corporate Liabilities”, *Journal of Political Economy,* 81 (mayo-junio de 1973), pp. 637-59.

Broadie, M. y J. Detemple. “American Option Valuation: New Bounds, Approximations, and a Comparison of Existing Methods”, *Review of Financial Studies,* 9, 4 (1996), pp. 1211-50.

Merton, R.C. “On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates”, *Journal of Finance,* 29, 2 (1974), pp. 449-70.

Merton, R.C. “Theory of Rational Option Pricing”, *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4 (primavera de 1973), pp. 141-83.

Merton, R.C. “The Relationship between Put and Call Prices: Comment”, *Journal of Finance,* 28 (marzo de 1973), pp. 183-84.

Stoll, H.R. “The Relationship between Put and Call Option Prices”, *Journal of Finance*, 24 (diciembre de 1969), pp. 801-24.

Examen (respuestas al final del libro)

9.1. Enumere los seis factores que influyen en los precios de las opciones sobre acciones.

9.2. ¿Cuál es un límite inferior para el precio de una opción de compra a cuatro meses sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de \$28, el precio de ejercicio es de \$25 y la tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual?

9.3. ¿Cuál es un límite inferior para el precio de una opción de venta europea a un mes sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $12, el precio de ejercicio es de $15 y la tasa de interés libre de riesgo es de 6% anual?

9.4. Proporcione dos razones por las que el ejercicio anticipado de una opción de compra americana sobre una acción que no paga dividendos no es lo óptimo. La primera razón debe relacionarse con el valor del dinero en el tiempo. La segunda razón debe aplicarse aunque las tasas de interés sean de cero.

9.5. "El ejercicio anticipado de una opción de venta americana es una relación entre el valor del dinero en el tiempo y el valor de seguro de una opción de venta". Explique esta afirmación.

9.6. Explique por qué una opción de compra americana sobre una acción que paga dividendos siempre vale al menos tanto como su valor intrínseco. ¿Esto mismo es cierto para una opción de compra europea? Explique su respuesta.

9.7. El precio de una acción que no paga dividendos es de $19 y el precio de una opción de compra europea a tres meses sobre la acción, con un precio de ejercicio de $20, es de $1. La tasa de interés libre de riesgo es de 4% anual. ¿Cuál es el precio de una opción de venta europea a tres meses con un precio de ejercicio de $20?

Preguntas y problemas

9.8. Explique por qué los argumentos que originan la paridad sobre opciones de venta y de compra para opciones europeas no pueden usarse para dar un resultado similar con las opciones americanas.

9.9. ¿Cuál es un límite inferior para el precio de una opción de compra a seis meses sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $80, el precio de ejercicio es de $75 y la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual?

9.10. ¿ Cuál es un límite inferior para el precio de una opción de venta europea a dos meses sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $58, el precio de ejercicio es de $65 y la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual?

9.11. Una opción de compra europea a cuatro meses sobre una acción que paga dividendos se vende actualmente en $5. El precio de la acción es de $64, el precio de ejercicio es de $60 y se espera un dividendo de $0.80 en un mes. La tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual para todos los vencimientos. ¿Qué oportunidades hay para un arbitrajista?

9.12. Una opción de venta europea a un mes sobre una acción que no paga dividendos se vende actualmente en $2.50. El precio de la acción es de $47, el precio de ejercicio es de $50 y la tasa de interés libre de riesgo es de 6% anual. ¿Qué oportunidades hay para un arbitrajista?

9.13. Dé una explicación intuitiva de por qué el ejercicio anticipado de una opción de venta americana se vuelve más atractiva a medida que la tasa de interés libre de riesgo aumenta, y disminuye la volatilidad.

9.14. El precio de una opción de compra europea que vence en seis meses, con un precio de ejercicio de $30, es de $2. El precio de la acción subyacente es de $29; se espera un dividendo de $0.50 en dos meses y de nuevo en cinco meses. La estructura temporal es plana y todas las tasas de interés libres de riesgo son de 10%. ¿Cuál es el precio de una opción de venta europea que vence en seis meses, con un precio de ejercicio de $30?

9.15. Explique con detalle las oportunidades de arbitraje del problema 9.14 si el precio de la opción de venta europea es de $3.

9.16. El precio de una opción de compra americana sobre una acción que no paga dividendos es de $4. El precio de la acción es de $31, el precio de ejercicio es de $30 y la fecha de vencimiento es en tres meses. La tasa de interés libre de riesgo es de 8%. Obtenga los límites superior e inferior del precio de una opción de venta americana sobre la misma acción, con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento.

9.17. Explique con detalle las oportunidades de arbitraje del problema 9.16 si el precio de la opción de venta americana es mayor que el límite superior calculado.

9.18. Demuestre el resultado de la ecuación (9.4). (*Sugerencia*: para la primera parte de la relación, considere a) una cartera integrada por una opción de compra europea más un monto de efectivo igual a K y b) una cartera que consiste en una opción de venta americana más una acción).

9.19. Demuestre el resultado de la ecuación (9.8). (*Sugerencia*: para la primera parte de la relación, considere a) una cartera integrada por una opción de compra europea más un monto de efectivo igual a $D + K$ y b) una cartera que consiste en una opción de venta americana más que en una acción).

9.20. Las opciones de compra regulares sobre acciones que no pagan dividendos no deben ejercerse de manera anticipada; sin embargo, existe una tendencia a ejercer anticipadamente las opciones sobre acciones para directivos aunque la empresa no pague dividendos (vea Panorámica de negocios 8.3 para un análisis de las opciones sobre acciones para directivos). Ofrezca una razón posible de esto.

9.21. Use el software DerivaGem para verificar que las figuras 9.1 y 9.2 sean correctas.

Preguntas de tarea

9.22. Una opción de compra y una opción de venta europeas sobre una acción tienen un precio de ejercicio de \$20 y una fecha de vencimiento en tres meses. Ambas opciones se venden en \$3. La tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual, el precio actual de la acción es de \$19 y se espera un dividendo de \$1 en un mes. Identifique la oportunidad de arbitraje disponible para un negociante.

9.23. Suponga que c_1, c_2 y c_3 son los precios de opciones de compra europeas con precios de ejercicio K_1, K_2 y K_3, respectivamente, donde $K_3 > K_2 > K_1$ y $K_3 - K_2 = K_2 - K_1$. Todas las opciones tienen el mismo vencimiento. Demuestre que

$$c_2 \leqslant 0.5(c_1 + c_3)$$

(*Sugerencia*: considere una cartera que tenga una posición larga en una opción con un precio de ejercicio de K_1, una posición larga en una opción con un precio de ejercicio de K_3 y una posición corta en dos opciones con un precio de ejercicio K_2).

9.24. ¿Cuál es el resultado correspondiente al resultado del problema 9.23 para opciones de venta europeas?

9.25. Suponga que usted es el administrador y único propietario de una empresa altamente apalancada. Toda la deuda vencerá en un año. Si en ese momento el valor de la empresa es mayor que el valor nominal de la deuda, usted pagará la deuda. Si el valor de la empresa es menor que el valor nominal de la deuda, usted se declarará en quiebra y los tenedores de la deuda adquirirán la propiedad de la empresa.

a. Exprese su posición como una opción sobre el valor de la empresa.
b. Exprese la posición de los tenedores de la deuda en términos de opciones sobre el valor de la empresa.
c. ¿Qué puede hacer usted para aumentar el valor de su posición?

9.26. Considere una opción sobre una acción cuando el precio de la acción es de \$41, el precio de ejercicio es de \$40, la tasa de interés libre de riesgo es de 6%, la volatilidad es de 35% y el tiempo al vencimiento es de un año. Asuma que se espera un dividendo de $0.50 después de seis meses.

a. Use el software DerivaGem para valuar la opción, asumiendo que es una opción de compra europea.
b. Use el software DerivaGem para valuar la opción, asumiendo que es una opción de venta europea.
c. Verifique que se mantiene la paridad entre opciones de venta y de compra.
d. Use el software DerivaGem y analice lo que ocurre con el precio de las opciones si el tiempo del vencimiento aumenta mucho. Para este propósito, asuma que no hay dividendos. Explique los resultados que obtenga.

CAPÍTULO 10

Estrategias de negociación que incluyen opciones

En el capítulo 8 analizamos el patrón de utilidades de una inversión en una sola opción. En este capítulo abordamos de manera más completa los diversos patrones de utilidades que están disponibles con el uso de opciones. Asumimos que el activo subyacente es una acción, y que se pueden obtener resultados similares para otros activos subyacentes, como divisas, índices bursátiles y contratos de futuros. Las opciones usadas en las estrategias que analizamos son europeas. Las opciones americanas pueden dar lugar a resultados ligeramente diferentes debido a la posibilidad de que se ejerzan en forma anticipada.

En la primera sección consideramos lo que ocurre cuando una posición en una opción sobre acciones se combina con una posición en la acción misma. Después, examinamos los patrones de utilidades obtenidos cuando se realiza una inversión en dos o más opciones diferentes sobre la misma acción. Uno de los atractivos de las opciones es que se usan para crear diversas funciones de beneficio. (Una función de beneficio es el beneficio en función del precio de la acción). Si las opciones europeas estuvieran disponibles con cada precio de ejercicio posible se crearía, en teoría, cualquier función de beneficio.

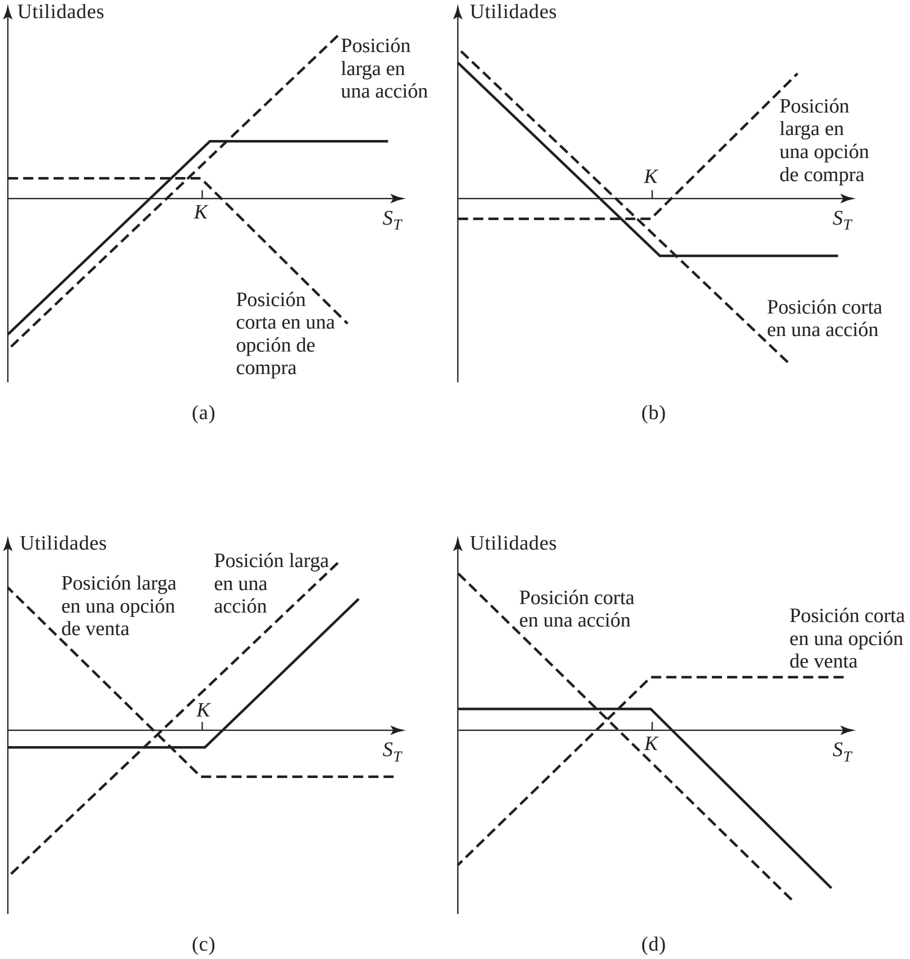
Para facilitar la exposición, las figuras y las tablas que muestran las utilidades de una estrategia de negociación ignorarán el valor del dinero en el tiempo. Las utilidades se representarán como el beneficio final menos el costo inicial. (En teoría, deben calcularse como el valor presente del beneficio final menos el costo inicial).

10.1 ESTRATEGIAS QUE INCLUYEN UNA SOLA OPCIÓN Y UNA ACCIÓN

Hay diversas estrategias de negociación que incluyen una sola opción sobre una acción y la acción misma. La figura 10.1 ilustra las utilidades de estas estrategias. En esta figura, y en otras que se presentan a lo largo del capítulo, la línea punteada muestra la relación entre las utilidades y el precio de la acción para los títulos individuales que constituyen la cartera, en tanto que la línea continua muestra la relación entre las utilidades y el precio de la acción para toda la cartera.

En la figura 10.1a, la cartera consiste en una posición larga en una acción más una posición corta en una opción de compra. Esto se conoce como *suscripción de una opción de compra cubierta*. La posición larga en la acción "cubre" o protege al inversionista del pago sobre la posición corta en

Figura 10.1 Patrones de utilidades: a) posición larga en una acción combinada con una posición corta en una opción de compra; b) posición corta en una acción combinada con una posición larga en una opción de compra; c) posición larga en una opción de venta combinada con una posición larga en una acción; d) posición corta en una opción de venta combinada con una posición corta en una acción



la opción de compra que se requiere si hay un aumento rápido del precio de la acción. En la figura 10.1b, una posición corta en una acción se combina con una posición larga en una opción de compra. Esto es lo contrario a suscribir una opción de compra cubierta. En la figura 10.1c, la estrategia de inversión consiste en comprar una opción de venta sobre una acción y la acción misma. En ocasiones, este enfoque se conoce como estrategia de *opción de venta protectora*. En la figura 10.1d, una posición corta en una opción de venta se combina con una posición corta en la acción. Esto es lo contrario a una opción de venta protectora.

Los patrones de utilidades mostrados en las figuras 10.1a, b, c, d, tienen la misma forma general que los patrones de utilidades analizados en el capítulo 8 para una posición corta en una opción de venta, una posición larga en una opción de venta, una posición larga en una opción de compra y una posición corta en una opción de compra, respectivamente. La paridad entre opciones de venta y de compra permite entender la razón de esto. Con base en el capítulo 9, la relación de paridad entre opciones de venta y de compra es

$$p + S_0 = c + Ke^{-rT} + D \tag{10.1}$$

donde p es el precio de una opción de venta europea, S_0 es el precio de la acción, c es el precio de una opción de compra europea, K es el precio de ejercicio de las opciones de compra y de venta, r es la tasa de interés libre de riesgo, T es el tiempo al vencimiento de las opciones de compra y de venta, y D es el valor presente de los dividendos anticipados durante la vida de las opciones.

La ecuación (10.1) muestra que una posición larga en una opción de venta combinada con una posición larga en la acción es equivalente a una posición larga en una opción de compra más determinado monto ($= Ke^{-rT} + D$) de efectivo. Esto explica por qué el patrón de utilidades de la figura 10.1c es similar al patrón de utilidades de una posición larga en una opción de compra. La posición de la figura 10.1d es opuesta a la de la figura 10.1c y, por lo tanto, genera un patrón de utilidades similar al de una posición corta en una opción de compra.

La ecuación (10.1) se reordena de la siguiente manera

$$S_0 - c = Ke^{-rT} + D - p$$

En otras palabras, una posición larga en una acción combinada con una posición corta en una opción de compra es equivalente a una posición corta en una opción de venta, más determinado monto ($= Ke^{-rT}+D$) de efectivo. Esta equivalencia explica por qué el patrón de utilidades de la figura 10.1a es similar al de una posición corta en una opción de venta. La posición de la figura 10.1b es opuesta a la de la figura 10.1a y, por lo tanto, genera un patrón de utilidades similar al de una posición larga en una opción de venta.

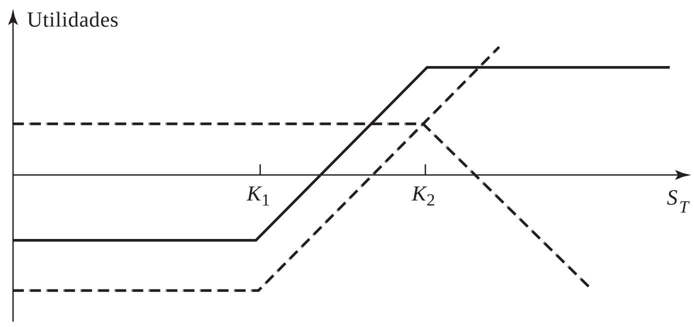
10.2 DIFERENCIALES DE PRECIOS (*SPREADS*)

Una estrategia de negociación *spread* consiste en tomar una posición en dos más opciones del mismo tipo (es decir, dos o más opciones de compra o dos o más opciones de venta).

Diferenciales alcistas (*bull spread*)

Uno de los tipos más populares de *spread* es un *bull spread*. Éste se crea al adquirir una opción de compra sobre una acción con determinado precio de ejercicio, y vender una opción de compra sobre la misma acción con un precio de ejercicio más alto. Ambas opciones tienen la misma fecha de vencimiento. La figura 10.2 ilustra esta estrategia. Las utilidades obtenidas de las dos posiciones en las opciones tomadas de manera independiente se ilustran por medio de las líneas punteadas. Las

Figura 10.2 Utilidades de un *bull spread* creado con el uso de opciones de compra



utilidades obtenidas de la estrategia en general son iguales a la suma de las utilidades proporcionadas por las líneas punteadas y se indican mediante la línea continua. Puesto que el precio de una opción de compra siempre disminuye conforme aumenta el precio de ejercicio, el valor de la opción vendida siempre es menor que el valor de la opción comprada. Por lo tanto, cuando un *bull spread* se crea a partir de opciones de compra, requiere una inversión inicial.

Suponga que K_1 es el precio de ejercicio de la opción de compra adquirida, K_2 es el precio de ejercicio de la acción de compra vendida y S_T es el precio de la acción en la fecha de vencimiento de las opciones. La tabla 10.1 muestra el beneficio total que se obtendrá de un *bull spread* en diferentes circunstancias. Si el precio de la acción aumenta y es mayor que el precio de ejercicio, el beneficio es la diferencia entre los dos precios de ejercicio, es decir, $K_2 - K_1$. Si el precio de la acción en la fecha de vencimiento se mantiene entre ambos precios de ejercicio, el beneficio es $S_T - K_1$. Si en la fecha de vencimiento el precio de la acción es menor que el precio de ejercicio más bajo, el beneficio es de cero. Las utilidades de la figura 10.2 se calculan restando la inversión inicial al beneficio. El ejemplo 10.1 proporciona una ilustración numérica de un *bull spread* utilizando opciones de compra.

Una estrategia de *bull spread* limita el riesgo tanto de incremento como de disminución de valor para el inversionista. La estrategia se describe diciendo que el inversionista tiene una opción de compra con un precio de ejercicio igual a K_1, y ha decidido renunciar a algún potencial de utilidades crecientes vendiendo una opción de compra con un precio de ejercicio K_2 ($K_2 > K_1$). A cambio de renunciar al potencial de utilidades crecientes, el inversionista obtiene el precio de la opción con un precio de ejercicio K_2. Se distinguen tres tipos de *bull spread*:

1. Ambas opciones de compra están inicialmente out of the money.
2. Una opción de compra está inicialmente in the money; la otra opción de compra está inicialmente out of the money.
3. Ambas opciones de compra están inicialmente in the money.

Tabla 10.1 Beneficio de un *bull spread* creado con opciones de compra

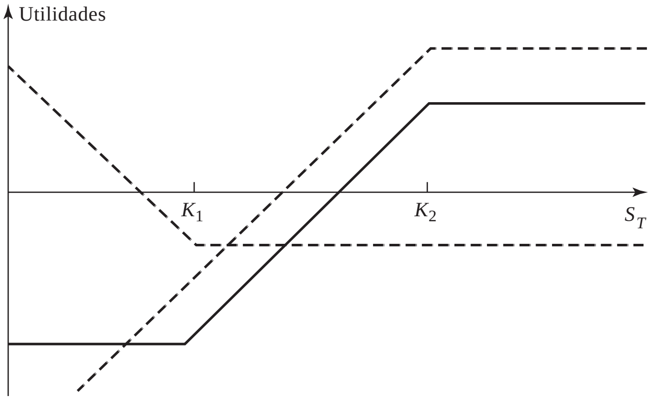
Límite de precio de la acción	*Beneficio de la posición larga en una opción de compra*	*Beneficio de la posición corta en una opción de compra*	*Beneficio total*
$S_T \leqslant K_1$	0	0	0
$K_1 < S_T < K_2$	$S_T - K_1$	0	$S_T - K_1$
$S_T \geqslant K_2$	$S_T - K_1$	$K_2 - S_T$	$K_2 - K_1$

Ejemplo 10.1 *Bull spread* utilizando opciones de compra

Un inversionista adquiere una opción de compra en \$3 con un precio de ejercicio de \$30 y vende una opción de compra en \$1 con un precio de ejercicio de \$35. El beneficio de esta estrategia de *bull spread* es de \$5 si el precio de la acción es mayor a \$35, y de cero si es menor a \$30. Si el precio de la acción está entre \$30 y \$35, el beneficio es el monto en que el precio de la acción excede a \$30. El costo de la estrategia es de \$3 − \$1 = \$2. Por lo tanto, las utilidades son las siguientes:

Límite de precio de la acción	*Utilidades*
$S_T \leqslant 30$	-2
$30 < S_T < 35$	$S_T - 32$
$S_T \geqslant 35$	$+3$

Figura 10.3 Utilidades de un *bull spread* creado utilizando opciones de venta



Los *bull spread* más agresivos son los del tipo 1. Cuesta muy poco establecerlos y hay una pequeña probabilidad de que proporcionen un beneficio relativamente alto ($= K_2 - K_1$). A medida que pasamos del tipo 1 al tipo 2 y del tipo 2 al tipo 3, los *spread* se vuelven más conservadores.

Se crean también *bull spread* comprando una opción de venta con un precio de ejercicio bajo y vendiendo una opción de venta con un precio de ejercicio alto, como se ilustra en la figura 10.3. A diferencia del *bull spread* creado a partir de opciones de compra, los *bull spread* creados a partir de opciones de venta implican para el inversionista un flujo de efectivo positivo por adelantado (ignorando los requisitos de margen) y un pago negativo o igual a cero.

Diferencial bajista (*bear spread*)

Un inversionista que participa en un *bull spread* espera que aumente el precio de la acción. En contraste, un inversionista que participa en un *bear spread* espera que el precio de la acción disminuya. Los *bear spread* se crean comprando una opción de venta con un precio de ejercicio y vendiendo una opción de venta con otro precio de ejercicio. El precio de ejercicio de la opción comprada es mayor que el precio de ejercicio de la opción vendida. (Esto contrasta con un *bull spread* en el que el precio de ejercicio de la opción comprada siempre es menor que el precio de ejercicio de la opción vendida). En

Figura 10.4 Utilidades de un *bear spread* creado con el uso de opciones de venta

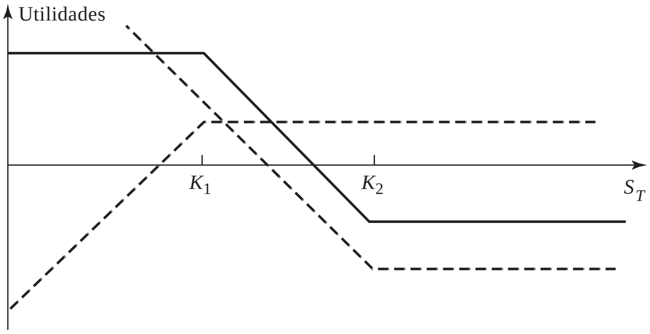


Tabla 10.2 Beneficio de un *bear spread* creado con opciones de venta

Límite de precio de la acción	*Beneficio de la posición larga en una opción de venta*	*Beneficio de la posición corta en una opción de venta*	*Beneficio total*
$S_T \leqslant K_1$	$K_2 - S_T$	$S_T - K_1$	$K_2 - K_1$
$K_1 < S_T < K_2$	$K_2 - S_T$	0	$K_2 - S_T$
$S_T \geqslant K_2$	0	0	0

Ejemplo 10.2 *Bear spread* utilizando opciones de venta

Un inversionista compra una opción de venta en \$3 con un precio de ejercicio de \$35, y vende una opción de venta en \$1 con un precio de ejercicio de \$30. El beneficio de esta estrategia de *bear spread* es de cero si el precio de la acción es mayor a \$35, y de \$5 si es menor a \$30. Si el precio de la acción está entre \$30 y \$35, el beneficio es $35 - S_T$. Las opciones cuestan $\$3 - \$1 = \$2$ por adelantado. Por lo tanto, las utilidades son las siguientes:

Límite de precio de la acción	*Utilidades*
$S_T \leqslant 30$	$+3$
$30 < S_T < 35$	$33 - S_T$
$S_T \geqslant 35$	-2

la figura 10.4, las utilidades del *spread* se muestran mediante la línea continua. Un *bear spread* creado a partir de opciones de venta implica una salida de efectivo inicial debido a que el precio de la opción de venta vendida es menor que el precio de la opción de venta comprada. Básicamente, el inversionista compró una opción de venta con cierto precio de ejercicio y decidió renunciar a parte del potencial de utilidades al vender una opción de venta con un precio de ejercicio más bajo. A cambio de renunciar a las utilidades, el inversionista obtiene el precio de la opción vendida.

Asuma que los precios de ejercicio son K_1 y K_2, con $K_1 < K_2$. La tabla 10.2 muestra el beneficio que se obtendrá de un *bear spread* en diferentes circunstancias. Si el precio de la acción es mayor que K_2, el beneficio es de cero. Si el precio de la acción es menor que K_1, el beneficio es

Figura 10.5 Utilidades de un *bear spread* creado utilizando opciones de compra

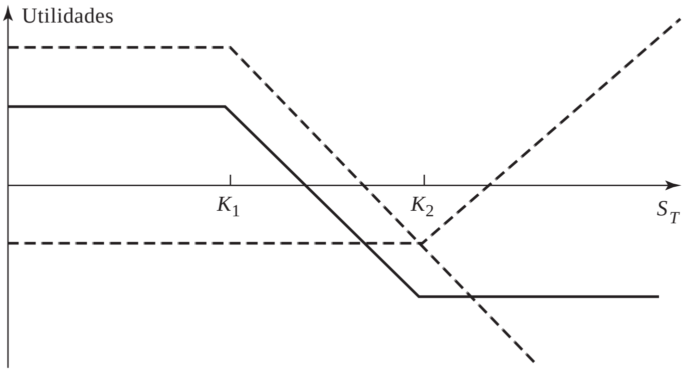


Tabla 10.3 Beneficio de un *box spread*

Límite de precio de la acción	*Beneficio del* bull spread *con opciones de compra*	*Beneficio del* bear spread *con opciones de venta*	*Beneficio total*
$S_T \leqslant K_1$	0	$K_2 - K_1$	$K_2 - K_1$
$K_1 < S_T < K_2$	$S_T - K_1$	$K_2 - S_T$	$K_2 - K_1$
$S_T \geqslant K_2$	$K_2 - K_1$	0	$K_2 - K_1$

$K_2 - K_1$. Si el precio de la acción está entre K_1 y K_2, el beneficio es $K_2 - S_T$. Las utilidades se calculan restando el costo inicial al beneficio. El ejemplo 10.2 proporciona una ilustración numérica.

Al igual que los *bull spread*, los *bear spread* limitan tanto el potencial de utilidades crecientes como el riesgo de disminución de valor. Los *bear spread* se crean usando opciones de compra en vez de opciones de venta. El inversionista adquiere una opción de compra con un precio de ejercicio alto y vende una opción de compra con un precio de ejercicio bajo, como se ilustra en la figura 10.5. Los *bear spread* creados con opciones de compra implican una entrada de efectivo inicial (ignorando los requisitos de margen).

Box spread

Un *box spread* es una combinación de un *bull spread* con opciones de compra, con precios de ejercicio K_1 y K_2, y un *bear spread* con opciones de venta, con los mismos precios de ejercicio. Como muestra la tabla 10.3, el beneficio de un *box spread* es siempre $K_2 - K_1$. Por lo tanto, el valor de un *box spread* es siempre el valor presente de este beneficio, o $(K_2 - K_1)e^{-rT}$. Si tiene un valor diferente, hay una oportunidad de arbitraje. Si el precio de mercado del *box spread* es demasiado bajo, es rentable comprar el box. Esto implica adquirir una opción de compra con un precio de ejercicio K_1, comprar una opción de venta con un precio de ejercicio K_2, vender una opción de compra con un precio de ejercicio K_2, y vender una opción de venta con un precio de ejercicio K_1. Si el precio de mercado del *box spread* es demasiado alto, es rentable vender el box. Esto implica adquirir una opción de compra con un precio de ejercicio K_2, comprar una opción de venta con un precio de ejercicio K_1, vender una opción de compra con un precio de ejercicio K_1 y vender una opción de venta con un precio de ejercicio K_2.

Es importante observar que un arbitraje de *box spread* sólo funciona con opciones europeas. Casi todas las opciones que se negocian en bolsas son americanas. Como se muestra en la Panorámica de negocios 10.1, los negociantes inexpertos que tratan las opciones americanas como europeas son propensos a perder dinero.

Diferencial mariposa (*butterfly spread*)

Un *butterfly spread* implica posiciones en opciones con tres diferentes precios de ejercicio. Se crea mediante la adquisición de una opción de compra con un precio de ejercicio relativamente bajo, K_1, la adquisición de una opción de compra con precio de ejercicio relativamente alto, K_3, y la venta de dos opciones de compra con un precio de ejercicio, K_2, es decir, entre K_1 y K_3. En general, K_2 se aproxima al precio actual de la acción. La figura 10.6 muestra el patrón de utilidades de esta estrategia. Un *butterfly spread* genera una utilidad si el precio de la acción permanece cercano a K_2, pero da lugar a una pequeña pérdida si el precio de la acción varía de manera significativa en cualquier dirección. Por lo tanto, es una estrategia adecuada para un inversionista que considera poco probable que ocurran grandes variaciones en el precio de la acción. Esta estrategia requiere una pequeña inversión inicial. La tabla 10.4 muestra el beneficio de un *butterfly spread*.

Panorámica de negocios 10.1 Pérdida monetaria con *box spreads*

Suponga que una acción tiene un precio de $50 y una volatilidad de 30%. No se esperan dividendos y la tasa de interés libre de riesgo es de 8%. Un negociante le ofrece la oportunidad de vender en la CBOE un *box spread* a dos meses, en $5.10, en el que los precios de ejercicio son de $55 y $60. ¿Debe realizar la transacción?

Ciertamente, la transacción parece atractiva. En este caso, $K_1 = 55$, $K_2 = 60$ y el pago será de $5 en dos meses. Al vender el *box spread* en $5.10 e invertir los fondos durante dos meses, tendrá fondos más que suficientes para cumplir con el pago de $5 en dos meses. El valor teórico del *box spread* el día de hoy es de $5 \times e^{-0.08 \times 2/12} = \$4.93$.

Por desgracia, hay un inconveniente. Las opciones sobre acciones negociadas en la CBOE son americanas y el pago de $5 del *box spread* se calcula bajo el supuesto de que las opciones que integran el box son europeas. La tabla siguiente muestra los precios de las opciones de este ejemplo (calculados con el software DerivaGem). Un *bull spread* con opciones de compra en el que los precios de ejercicio son de $55 y $60 cuesta $0.96 - 0.26 = \$0.70$. (Este costo es el mismo para las opciones europeas y americanas porque, como vimos en el capítulo 9, el precio de una opción de compra europea es igual al precio de una opción de compra americana cuando no hay dividendos). Un *bear spread* con opciones de venta, que tiene los mismos precios de ejercicio, cuesta $9.46 - 5.23 = \$4.23$ si las opciones son europeas, y $10.00 - 5.44 = \$4.56$ si son americanas. El valor combinado de ambos *spread* si se crean con opciones europeas es de $0.70 + 4.23 = \$4.93$. Éste es el precio teórico del *box spread* calculado arriba. El valor combinado de comprar ambos *spread* si se crean con opciones americanas es de $0.70 + 4.56 = \$5.26$. La venta de un *box spread* creado con opciones americanas en $5.10 no sería una buena transacción. Usted se daría cuenta de esto casi inmediatamente ya que la transacción implica la venta de una opción de venta con un precio de ejercicio de $60, ¡y ésta se ejercería contra usted casi tan pronto como la vendiera!

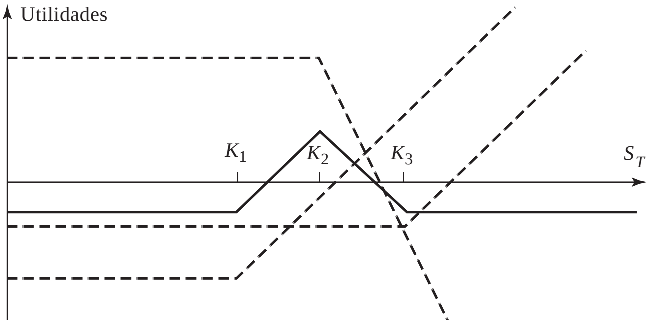
Tipo de opción	*Precio de ejercicio*	*Precio de una opción europea*	*Precio de una opción americana*
Opción de compra	60	0.26	0.26
Opción de compra	55	0.96	0.96
Opción de venta	60	9.46	10.00
Opción de venta	55	5.23	5.44

Suponga que cierta acción vale actualmente $61 y que un inversionista considera poco probable que ocurra una variación de precio significativa en los seis meses siguientes. Suponga que los precios de mercado de las opciones de compra a seis meses son los siguientes:

Precio de ejercicio ($)	*Precio de la opción de compra* ($)
55	10
60	7
65	5

El inversionista podría crear un *butterfly spread* al adquirir una opción de compra con un precio de ejercicio de $55, adquirir una opción de compra con un precio de ejercicio de $65, y vender dos opciones de compra con un precio de ejercicio de $60. El costo de crear el *spread* es de $\$10 + \$5 - (2 \times \$7) = \$1$. Si el precio de la acción en seis meses es mayor a $65 o menor a $55, el beneficio

Figura 10.6 Utilidades de un *butterfly spread* utilizando opciones de compra



total es de cero y el inversionista incurre en una pérdida neta de $1. Si el precio de la acción está entre $56 y $64, obtiene una utilidad. La utilidad máxima, $4, ocurre cuando el precio de la acción en seis meses es de $60.

Un *butterfly spread* se puede crear usando opciones de venta. El inversionista compra una opción de venta con un precio de ejercicio bajo y una opción de venta con un precio de ejercicio alto, y vende dos opciones de venta con un precio de ejercicio intermedio, como se muestra en la figura 10.7. El *butterfly spread* del ejemplo que acabamos de considerar, se podría crear comprando una opción de venta con un precio de ejercicio de $55, la compra de una opción de venta con un precio de ejercicio de $65 y la venta de dos opciones de venta con un precio de ejercicio de $60. Si todas las opciones son europeas, el uso de opciones de venta da lugar exactamente al mismo *spread* que el uso de opciones de compra. La paridad entre opciones de venta y de compra se usa para mostrar que la inversión inicial es la misma en ambos casos.

Un *butterfly spread* puede venderse o venderse en corto siguiendo la estrategia contraria. Las opciones se venden con precios de ejercicio de K_1 y K_3 y se compran dos opciones con el precio de ejercicio intermedio, K_2. Esta estrategia produce una utilidad moderada si hay una variación significativa en el precio de la acción.

Diferencial calendario (*Calendar spread*)

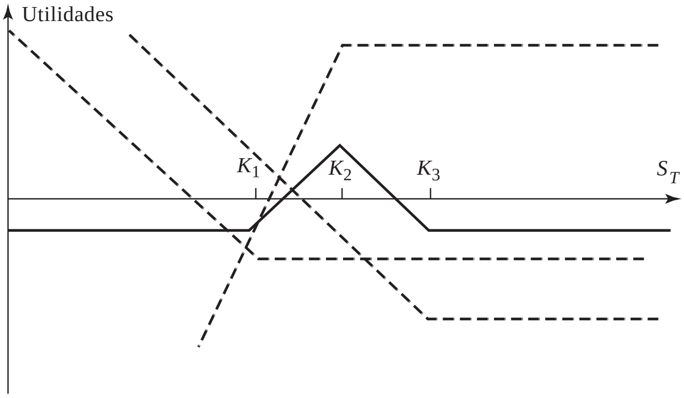
Hasta ahora hemos considerado que todas las opciones usadas para crear un *spread* vencen al mismo tiempo. Aquí abordaremos los *calendar spread* en los que las opciones tienen el mismo precio de ejercicio, pero diferentes fechas de vencimiento.

Tabla 10.4 Beneficio de un *butterfly spread*

Límite de precio de la acción	*Beneficio de la posición larga en la primera opción de compra*	*Beneficio de la posición larga en la segunda opción de compra*	*Beneficio de las posiciones cortas en las opciones de compra*	*Beneficio total**
$S_T < K_1$	0	0	0	0
$K_1 < S_T < K_2$	$S_T - K_1$	0	0	$S_T - K_1$
$K_2 < S_T < K_3$	$S_T - K_1$	0	$-2(S_T - K_2)$	$K_3 - S_T$
$S_T > K_3$	$S_T - K_1$	$S_T - K_3$	$-2(S_T - K_2)$	0

*Estos beneficios se calculan usando la relación $K_2 = 0.5(K_1 + K_3)$.

Figura 10.7 Utilidades de un *butterfly spread* utilizando opciones de venta



Un *calendar spread* se crea al vender una opción de compra con un precio de ejercicio determinado y adquirir una opción de compra de mayor vencimiento, con el mismo precio de ejercicio. En general, cuanto mayor es el vencimiento de una opción, más costosa es. Por lo tanto, un *calendar spread* requiere usualmente una inversión inicial. Por lo común, se crean diagramas de utilidades para los *calendar spread*, de modo que muestren las utilidades cuando vence la opción de vencimiento corto bajo el supuesto de que en ese momento se vende la opción de vencimiento largo. La figura 10.8 muestra el patrón de utilidades para un *calendar spread* creado a partir de opciones de compra. El patrón es similar a las utilidades del *butterfly spread* de la figura 10.6. El inversionista obtiene una utilidad si el precio de la acción cuando vence la opción de vencimiento corto es cercano al precio de ejercicio de esta opción. Sin embargo, se incurre en una pérdida cuando el precio de la acción es significativamente mayor o menor que este precio de ejercicio.

Figura 10.8 Utilidades de un *calendar spread* creado utilizando dos opciones de compra

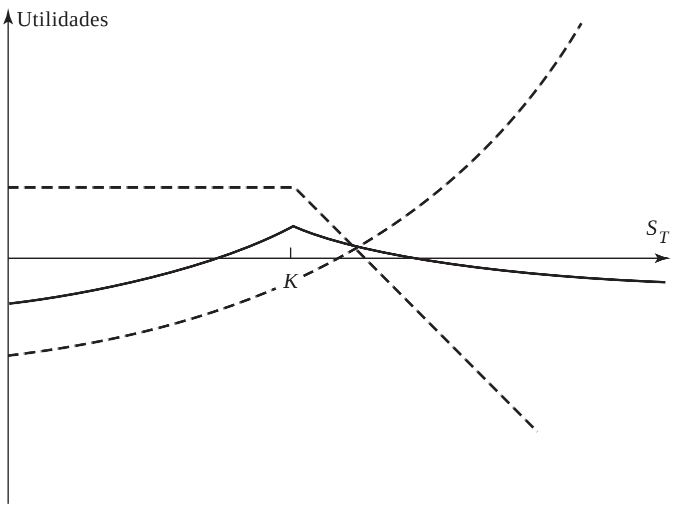
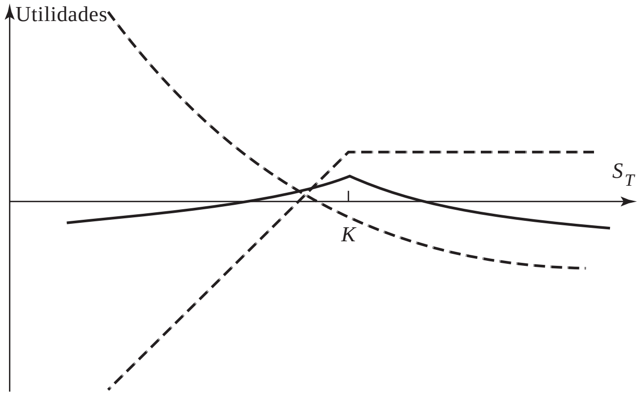


Figura 10.9 Utilidades de un *calendar spread* creado utilizando dos opciones de venta



Para entender el patrón de utilidades de un *calendar spread*, considere antes lo que ocurre si el precio de la acción es muy bajo cuando vence la opción de vencimiento corto. El valor de esta opción es nulo y el de la opción de vencimiento largo es cercano a cero. Por lo tanto, el inversionista incurre en una pérdida cercana al costo del establecimiento inicial del *spread*. Después, considere lo que sucede si el precio de la acción, S_T, es muy alto cuando vence la opción de vencimiento corto. Esta opción cuesta al inversionista $S_T - K$, y el valor de la opción de vencimiento largo es un poco mayor que $S_T - K$, donde K es el precio de ejercicio de las opciones. De nuevo, el inversionista tiene una pérdida neta que es cercana al costo del establecimiento inicial del *spread*. Si S_T es cercano a K, la opción de vencimiento corto cuesta al inversionista una pequeña cantidad o absolutamente nada. No obstante, la opción de vencimiento largo es aún muy valiosa. En este caso se obtiene una utilidad neta significativa.

En un *neutral calendar spread* se elige un precio de ejercicio cercano al precio actual de la acción. Un *bullish calendar spread* implica un precio de ejercicio más alto, en tanto que un *bearish calendar spread* conlleva un precio de ejercicio más bajo.

Los *calendar spread* se crean tanto con opciones de venta como con opciones de compra. El inversionista compra una opción de venta de vencimiento largo y vende una opción de venta de vencimiento corto. Como muestra la figura 10.9, el patrón de utilidades es similar al que se obtiene con el uso de opciones de compra.

Un *reverse calendar spread* es lo contrario al de las figuras 10.8 y 10.9. El inversionista compra una opción de vencimiento corto y vende una opción de vencimiento largo. Se genera una pequeña utilidad si el precio de la acción cuando vence la opción de vencimiento corto es mucho más alto o mucho más bajo que el precio de ejercicio de la opción de vencimiento corto. Sin embargo, ocurre una pérdida significativa si el precio de la acción es cercano al precio de ejercicio.

Diferencial diagonal (*Diagonal spreads*)

Los *bull*, *bear*, y *calendar spread*s se crean a partir de una posición larga en una opción de compra y una posición corta en otra opción de compra. En el caso de los *bull* y *bear spreads*, las opciones de compra tienen diferentes precios de ejercicio, pero la misma fecha de vencimiento. En el caso de los *calendar spread*, las opciones de compra tienen el mismo precio de ejercicio y diferentes fechas de vencimiento. En un *diagonal spread* difieren tanto la fecha de vencimiento como el precio de ejercicio de las opciones de compra. Esto aumenta la variedad de los patrones de utilidades posibles.

Tabla 10.5 Beneficio de un straddle

Límite de precio de la acción	*Beneficio de la opción de compra*	*Beneficio de la opción de venta*	*Beneficio total*
$S_T \leqslant K$	0	$K - S_T$	$K - S_T$
$S_T > K$	$S_T - K$	0	$S_T - K$

10.3 COMBINACIONES

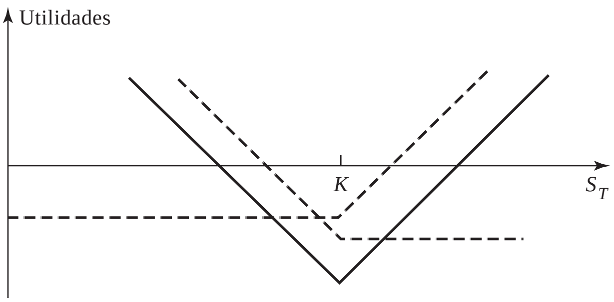
Una *combinación* es una estrategia de negociación de opciones que consiste en tomar una posición en opciones tanto de compra como de venta sobre la misma acción. Consideraremos los straddles, strips, straps y strangles.

Cono (*straddle*)

Una combinación popular es un *straddle*, que consiste en adquirir una opción de compra y una opción de venta con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. La figura 10.10 muestra el patrón de utilidades. El precio de ejercicio se indica por medio de *K*. Si el precio de la acción es cercano a este precio de ejercicio al vencimiento de las opciones, el *straddle* genera una pérdida. No obstante, si hay una variación suficientemente grande en cualquier dirección, dará lugar a una utilidad significativa. En la tabla 10.5 se calcula el beneficio de un *straddle*.

Un *straddle* es adecuado cuando un inversionista espera una variación importante en el precio de una acción, pero no sabe en qué dirección ocurrirá. Considere a un inversionista que siente que el precio de una determinada acción, valuada en ese momento en el mercado en $69, variará significativamente en los tres meses siguientes. El inversionista podría crear un s*traddle* al comprar una opción tanto de venta como de compra con un precio de ejercicio de $70 y una fecha de vencimiento en tres meses. Suponga que la opción de compra cuesta $4 y la opción de venta $3. Si el precio de la acción permanece en $69, es fácil ver que la estrategia cuesta al inversionista $6 (se requiere una inversión por adelantado de $7, la opción de compra vence sin valor y la opción de venta vence con un valor de $1). Si el precio de la acción aumenta a $70, se experimenta una pérdida de $7 (esto es lo peor que puede ocurrir). Sin embargo, si el precio de la acción sube hasta $90, se obtiene una utilidad de $13; si el precio de la acción baja a $55, se obtiene una utilidad de $8, etc. Co-

Figura 10.10 Utilidades de un straddle



Panorámica de negocios 10.2 Cómo ganar dinero con la negociación de *straddles*

Suponga que se espera una importante variación en el precio de la acción de una empresa debido a que hay una oferta pública de adquisición sobre la empresa o que está a punto de anunciarse una importante demanda judicial que involucra a la empresa. ¿Debe negociar un *straddle*?

Un *straddle* parece ser una estrategia de negociación natural en este caso. No obstante, si su punto de vista sobre la situación de la empresa es muy similar a la de otros participantes del mercado, se reflejará en los precios de las opciones. Las opciones sobre la acción serán mucho más costosas que las opciones sobre una acción similar para la que no se espera un alza. El patrón de utilidades en forma de V del *straddle* de la figura 10.10 se habrá desplazado hacia abajo, de modo que se necesita una variación mayor en el precio de la acción para que usted obtenga una utilidad.

Para que un *straddle* sea una estrategia eficaz, usted debe creer que puede haber variaciones importantes en el precio de la acción y que estas creencias deben ser diferentes de la mayoría de los inversionistas. Los precios de mercado incorporan las creencias de los participantes del mercado. Para ganar dinero de una estrategia de inversión, usted debe adoptar un punto de vista diferente al del resto del mercado, ¡y debe estar en lo correcto!

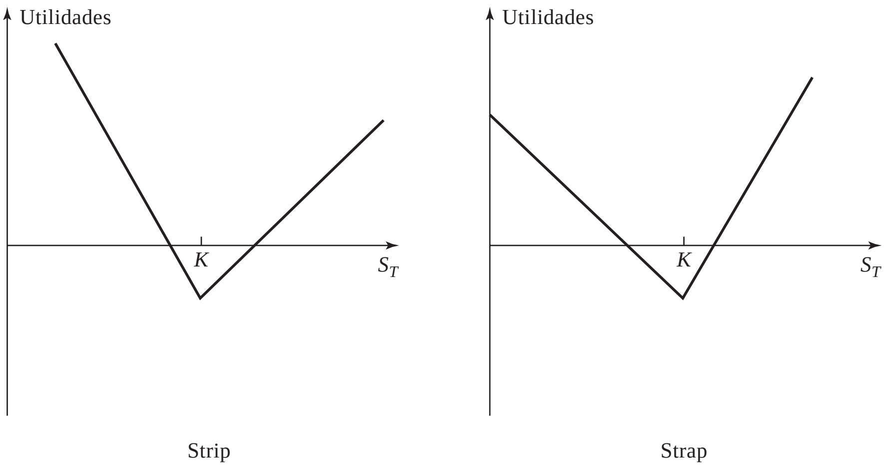
mo se señala en la Panorámica de negocios 10.2, un inversionista debe considerar cuidadosamente si el alza que anticipa ya se refleja en los precios de las opciones antes de negociar un straddle.

En ocasiones, al *straddle* de la figura 10.10 se le conoce como *bottom straddle* o *straddle purchase*. Un *top straddle* o *straddle write* es la posición contraria. Éste se crea al vender una opción de compra y una opción de venta con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. Es una estrategia muy riesgosa. Si el precio de la acción se aproxima al precio de ejercicio en la fecha de vencimiento, se genera una utilidad significativa. Sin embargo, la pérdida que surge por una variación importante es incalculable.

Bandas (*strips*) y correas *(straps*)

Un *strip* consiste en una posición larga en una opción de compra y dos opciones de venta con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. Un *strap* consiste en una posición larga en dos opciones de compra y una opción de venta, con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento.

Figura 10.11 Utilidades de un *strip* y de un *strap*



La figura 10.11 muestra los patrones de utilidades de los strips y straps. En un strip, el inversionista apuesta que habrá una variación importante en el precio de la acción y considera que es más probable que ocurra una disminución que un incremento en el precio de la acción. En un strap, el inversionista también apuesta a que habrá una variación importante en el precio de la acción. No obstante, en este caso, considera que es más probable que ocurra un incremento que una disminución en el precio de la acción.

Cunas de las acciones (*strangles*)

En un *strangle*, llamado a veces *bottom vertical combination*, un inversionista compra una opción de venta y una opción de compra con la misma fecha de vencimiento y diferentes precios de ejercicio. La figura 10.12 muestra el patrón de utilidades obtenido. El precio de ejercicio de la opción de compra, K_2, es más alto que el precio de ejercicio de la opción de venta, K_1. La tabla 10.6 calcula la función de beneficio de un strangle.

Un *strangle* es una estrategia similar a un *straddle*. El inversionista apuesta que habrá una importante variación de precio, pero no está seguro de si será un incremento o una disminución. Si comparamos las figuras 10.12 y 10.10, vemos que el precio de la acción debe desplazarse más en un *strangle* que en un *straddle*, para que el inversionista obtenga una utilidad. Sin embargo, el riesgo de disminución de valor es menor con un *strangle* si el precio de la acción termina en un valor central.

El patrón de utilidades obtenido con un *strangle* depende de qué tan próximos estén los precios de ejercicio. Cuanto más se alejen, menor será el riesgo de disminución de valor, y mayor deberá ser la variación del precio de la acción para obtener una utilidad.

La venta de un strangle se conoce en ocasiones como *top vertical combination*, adecuada para un inversionista que siente poco probable que ocurran grandes variaciones en el precio de la acción. No obstante, al igual que con la venta de un straddle, ésta es una estrategia riesgosa que implica una pérdida potencial ilimitada para el inversionista.

Figura 10.12 Utilidades de un *strangle*

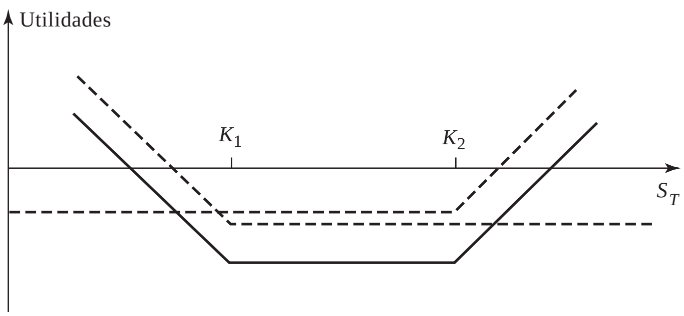


Tabla 10.6 Beneficio de un strangle

Límite de precio de la acción	*Beneficio de la opción de compra*	*Beneficio de la opción de venta*	*Beneficio total*
$S_T \leqslant K_1$	0	$K_1 - S_T$	$K_1 - S_T$
$K_1 < S_T < K_2$	0	0	0
$S_T \geqslant K_2$	$S_T - K_2$	0	$S_T - K_2$

10.4 OTROS BENEFICIOS

Este capítulo ha mostrado sólo algunas formas de usar opciones para crear una relación interesante entre las utilidades y el precio de la acción. Si hubiera opciones europeas que vencen en el tiempo T disponibles con cada precio de ejercicio posible, se podría obtener, en teoría, cualquier función de beneficio en el tiempo de T. El ejemplo más sencillo de esto incluye una serie de *butterfly spread*. Recuerde que un *butterfly spread* se crea al comprar opciones con precios de ejercicio K_1 y K_3 y vender dos opciones con un precio de ejercicio K_2, donde $K_1 < K_2 < K_3$ y $K_3 - K_2 = K_2 - K_1$. La figura 10.13 muestra el beneficio de un *butterfly spread*. El patrón podría describirse como un pico. A medida que K_1 y K_3 se aproximan, el pico se hace más pequeño. A través de la combinación acertada de muchos picos muy pequeños, se puede estimar cualquier función de beneficio.

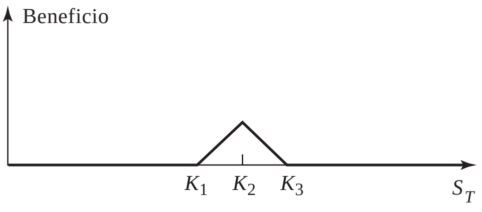
RESUMEN

Muchas estrategias comunes de negociación incluyen una sola opción y la acción subyacente. Por ejemplo, la suscripción de una opción de compra cubierta consiste en comprar la acción y vender una opción de compra sobre la acción; una opción de venta protectora consiste en comprar tanto una opción de venta como la acción. Lo primero es semejante a vender una opción de venta; lo segundo es igual a adquirir una opción de compra.

Los *spread* consisten en tomar una posición en dos o más opciones de compra o una posición en dos o más opciones de venta. Un *bull spread* se crea adquiriendo una opción de compra (o de venta) con un precio de ejercicio bajo y vendiendo una opción de compra (o de venta) con un precio de ejercicio alto. Un *bear spread* se crea al comprar una opción de venta (o de compra) con un precio de ejercicio alto y vender una opción de venta (o de compra) con un precio de ejercicio bajo. Un *butterfly spread* consiste en adquirir opciones de compra (o de venta) con un precio de ejercicio bajo y alto y vender dos opciones de compra (de venta) con algún precio de ejercicio intermedio. Un *calendar spread* consiste en vender una opción de compra (o de venta) con un tiempo corto a su vencimiento, y adquirir una opción de compra (o de venta) con un tiempo de vencimiento mayor. Un *diagonal spread* consiste en una posición larga en una opción y una posición corta en otra opción, siendo diferentes tanto el precio de ejercicio como la fecha de vencimiento.

Las combinaciones consisten en tomar una posición en opciones tanto de compra como de venta sobre la misma acción. Una combinación *straddle* consiste en tomar una posición larga en una opción de compra, y una posición larga en una opción de venta con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. Un *strip* consiste en una posición larga en una opción de compra y en dos opciones de venta con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. Un *strap* consiste en una posición larga en dos opciones de compra y en una opción de venta con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. Un *strangle* consiste en una posición larga en una opción de compra, y en una opción de venta con diferentes precios de ejercicio, pero la misma fecha de vencimiento.

Figura 10.13 Beneficio de un *butterfly spread*



Hay muchas otras formas de usar opciones para generar beneficios atractivos. No es sorprendente que la popularidad de la negociación de opciones haya aumentado de manera constante y siga fascinando a los inversionistas.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Bharadwaj, A. y J.B. Wiggins. "Box Spread and Put-Call Parity Tests for the S&P Index LEAPS Markets", *Journal of Derivatives*, 8, 4 (verano de 2001), pp. 62-71.

Chaput, J.S. y L.H. Ederington, "Option Spread and Combination Trading", *Journal of Derivatives*, 10, 4 (verano de 2003), pp. 70-88.

McMillan, L.G. *Options as a Strategic Investment*, 4a. ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 2001.

Rendleman, R.J. "Covered Call Writing from an Expected Utility Perspective", *Journal of Derivatives*, 8, 3 (primavera de 2001), pp. 63-75.

Ronn, A.G. y E.I. Ronn. "The Box-Spread Arbitrage Conditions", *Review of Financial Studies*, 2, 1 (1989), pp. 91-108.

Examen (respuestas al final del libro)

10.1. ¿Qué es una opción de venta protectora? ¿Qué posición en opciones de compra es equivalente a una opción de venta protectora?

10.2. Explique dos maneras de crear un *bear spread*.

10.3. ¿Cuándo es adecuado para un inversionista comprar un *butterfly spread*?

10.4. Hay opciones de compra sobre una acción con precios de ejercicio de \$15, \$17.5 y \$20, y fechas de vencimiento en tres meses. Sus precios son \$4, \$2 y \$0.5, respectivamente. Explique cómo pueden usarse las opciones para crear un *butterfly spread*. Elabore una tabla que muestre cómo varían las utilidades con el precio de la acción en un *butterfly spread*.

10.5. ¿Qué estrategia de negociación crea un *reverse calendar spread*?

10.6. ¿Cuál es la diferencia entre un *strangle* y un *straddle*?

10.7. Una opción de compra con un precio de ejercicio de \$50 cuesta \$2. Una opción de venta con un precio de ejercicio de \$45 cuesta \$3. Explique cómo se puede crear un *strangle* con estas dos opciones. ¿Cuál es el patrón de utilidades del *strangle*?

Preguntas y problemas

10.8. Use la paridad entre opciones de venta y de compra para relacionar la inversión inicial para un *bull spread* creado utilizando opciones de compra y la inversión inicial para un *bull spread* creada mediante opciones de venta.

10.9. Explique cómo se puede crear un *bear spread* agresivo utilizando opciones de venta.

10.10. Suponga que las opciones de venta sobre una acción con precios de ejercicio de \$30 y \$35 cuestan \$4 y \$7, respectivamente. ¿Cómo pueden usarse las opciones para crear a) un *bull spread* y b) un *bear spread*? Elabore una tabla que muestre las utilidades y el beneficio de ambos *spread*.

10.11. Use la paridad entre opciones de venta y de compra para mostrar que el costo de un *butterfly spread* creado con opciones de venta europeas es idéntico al costo de un *butterfly spread* creado con opciones de compra europeas.

10.12. Una opción de compra con un precio de ejercicio de \$60 cuesta \$6. Una opción de venta con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento cuesta \$4. Elabore una tabla que muestre las utilidades de un *straddle*. ¿En qué límite de precios de la acción el *straddle* generaría una pérdida?

10.13. Elabore una tabla que muestre el beneficio de un *bull spread* cuando se usan opciones de venta con precios de ejercicio K_1 y K_2 ($K_2 > K_1$).

10.14. Un inversionista cree que el precio de una acción experimentará un alza importante, pero no está seguro en qué dirección. Identifique seis estrategias distintas que el inversionista pueda seguir y explique las diferencias entre ellas.

10.15. ¿Cómo se podría crear un contrato a plazo sobre una acción, con un precio de entrega y fecha de vencimiento específicos, a partir de opciones?

10.16. "Un *box spread* incluye cuatro opciones. Dos de ellas se combinan para crear una posición larga a plazo y las otras dos se combinan para crear una posición corta a plazo". Explique esta afirmación.

10.17. ¿Cuál es el resultado si el precio de ejercicio de la opción de venta es mayor que el precio de ejercicio de la opción de compra en un *strangle*?

10.18. Un dólar australiano vale actualmente \$0.64. Un *butterfly spread* a un año se establece usando opciones de compra europeas con precios de ejercicio de \$0.60, \$0.65 y \$0.70. Las tasas de interés libres de riesgo en Estados Unidos de América y Australia son de 5% y 4%, respectivamente, y la volatilidad del tipo de cambio es de 15%. Use el software DerivaGem para calcular el costo de establecer la posición en el *butterfly spread*. Demuestre que el costo es el mismo si se usan opciones de venta europeas en vez de opciones de compra europeas.

Preguntas de tarea

10.19. Tres opciones de venta sobre una acción tienen la misma fecha de vencimiento y precios de ejercicio de \$55, \$60 y \$65. Los precios de mercado son de \$3, \$5 y \$8, respectivamente. Explique cómo puede crearse un *butterfly spread*. Elabore una tabla que muestre las utilidades obtenidas de la estrategia. ¿En qué límite de precios de la acción el *butterfly spread* generaría una pérdida?

10.20. Un *diagonal spread* se crea adquiriendo una opción de compra con un precio de ejercicio K_2 y una fecha de ejercicio T_2 y la venta de una opción de compra con un precio de ejercicio K_1 y una fecha de ejercicio T_1 ($T_2 > T_1$). Dibuje un diagrama que muestre las utilidades cuando a) $K_2 > K_1$ y b) $K_2 < K_1$.

10.21. Dibuje un diagrama que muestre cómo varía la utilidad y la pérdida para un inversionista con el precio final de la acción de una cartera integrada por:

a. Una acción y una posición corta en una opción de compra.
b. Dos acciones y una posición corta en una opción de compra.
c. Una acción y una posición corta en dos opciones de compra.
d. Una acción y una posición corta en cuatro opciones de compra.

En cada caso, asuma que la opción de compra tiene un precio de ejercicio igual al precio actual de la acción.

10.22. Suponga que el precio de una acción que no paga dividendos es de \$32, su volatilidad es de 30% y la tasa de interés libre de riesgo para todos los vencimientos es de 5% anual. Use el software DerivaGem para calcular el costo de establecer las siguientes posiciones. En cada caso, proporcione una tabla que muestre la relación entre las utilidades y el precio final de la acción. Ignore el efecto del descuento.

a. Un *bull spread* que use opciones de compra europeas con precios de ejercicio de \$25 y \$30, y un vencimiento de seis meses.
b. Un *bear spread* que use opciones de venta europeas con precios de ejercicio de \$25 y \$30, y un vencimiento de seis meses.

c. Un *butterfly spread* que use opciones de compra europeas con precios de ejercicio de $25, $30 y $35, y un vencimiento de un año.
d. Un *butterfly spread* que use opciones de venta europeas con precios de ejercicio de $25, $30 y $35, y un vencimiento de un año.
e. Un *straddle* que use opciones con un precio de ejercicio de $30 y un vencimiento de seis meses.
f. Un *strangle* que use opciones con precios de ejercicio de $25 y $35 y un vencimiento de seis meses.

11 CAPÍTULO

Introducción a los árboles binomiales

Una técnica útil y muy popular para valuar una opción implica la construcción de un *árbol binomial*, el cual consiste en un diagrama que representa las diversas trayectorias que podría seguir el precio de una acción durante la vida de la opción. En este capítulo haremos un análisis inicial de los árboles binomiales y su relación con un importante principio conocido como valuación neutral al riesgo (*risk-neutral-valuation*). El planteamiento general adoptado aquí es similar al de un artículo publicado por Cox, Ross y Rubinstein en 1979.

Se pretende que el material de este capítulo tenga un enfoque introductorio. Los procedimientos numéricos relacionados con los árboles binomiales se analizan con más detalle en el capítulo 16.

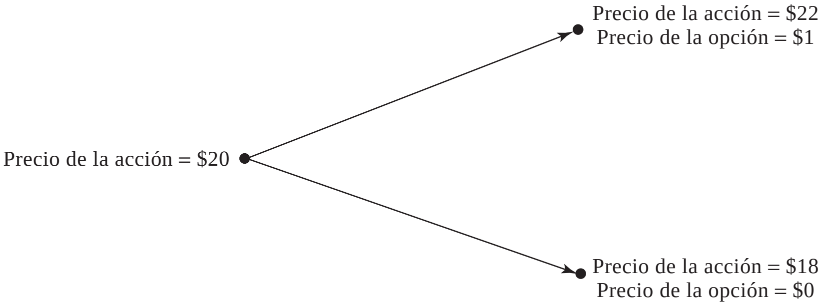
11.1 MODELO BINOMIAL DE UN PASO

Iniciamos considerando una situación muy sencilla. Actualmente, el precio de una acción es de \$20 y se sabe que al término de tres meses será de \$22 o de \$18. Nos interesa valuar una opción de compra europea para comprar la acción en \$21 en tres meses. Esta opción tendrá uno de dos valores al final de los tres meses. Si el precio de la acción resulta ser de \$22, el valor de la opción será de \$1; si el precio de la acción resulta ser de \$18, el valor de la opción será de cero. La figura 11.1 ilustra esta situación.

En este ejemplo se usa un argumento relativamente sencillo para valuar la opción. El único supuesto necesario es que no haya oportunidades de arbitraje. Creamos una cartera con la acción y la opción de modo que no haya incertidumbre sobre el valor de la cartera al término de los tres meses. Entonces argumentamos que debido a que la cartera no tiene riesgo, el rendimiento que gana debe ser igual a la tasa de interés libre de riesgo. Esto nos permite calcular el costo de la creación de la cartera y, por lo tanto, del precio de la opción. Como hay dos títulos (la acción y la opción sobre la acción) y sólo dos resultados posibles, podemos crear una cartera libre de riesgo.

Piense en una cartera que consiste en una posición larga en Δ acciones y una posición corta en una opción de compra. Calculamos el valor de Δ que hace a la cartera libre de riesgo. Si el precio de la acción sube de \$20 a \$22, el valor de las acciones es de 22Δ y el valor de la opción es igual a 1, de tal modo que el valor total de la cartera es de $22\Delta - 1$. Si el precio de la acción baja de \$20 a \$18, el valor de las acciones es de 18Δ y el valor de la opción es de cero, de modo que el valor

Figura 11.1 Movimientos del precio de la acción en un ejemplo numérico



total de la cartera es de 18Δ. La cartera está libre de riesgo si el valor de Δ se elige de tal manera que el valor final de la cartera sea el mismo para ambas alternativas. Esto significa que

$$22\Delta - 1 = 18\Delta$$

o

$$\Delta = 0.25$$

Por lo tanto, una cartera libre de riesgo es

Larga: 0.25 acciones
Corta: 1 opción

Si el precio de la acción sube a $22, el valor de la cartera es

$$22 \times 0.25 - 1 = 4.5$$

Si el precio de la acción baja a $18, el valor de la cartera es

$$18 \times 0.25 = 4.5$$

Independientemente de si el precio de la acción sube o baja, el valor de la cartera es siempre de 4.5 al final de la vida de la opción.

Al no haber oportunidades de arbitraje, las carteras libres de riesgo deben ganar la tasa de interés libre de riesgo. Suponga que, en este caso, la tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual. Se deduce que el valor de la cartera el día de hoy debe ser el valor presente de 4.5 o

$$4.5e^{-0.12\times3/12} = 4.367$$

Se sabe que el valor del precio de la acción el día de hoy es de $20. Suponga que el precio de la opción se indica como *f*. El valor de la cartera el día de hoy es

$$20 \times 0.25 - f = 5 - f$$

Se deduce que

$$5 - f = 4.367$$

o

$$f = 0.633$$

Esto muestra que, sin oportunidades de arbitraje, el valor actual de la opción debe ser de 0.633. Si el valor de la opción fuera mayor que esta cifra, la cartera se crearía a un costo menor de 4.367 y ganaría más que la tasa de interés libre de riesgo. Si el valor de la opción fuera menor de 0.633, la venta en corto de la cartera sería un modo de adquirir dinero en préstamo a una tasa más baja que la tasa de interés libre de riesgo.

Una generalización

Podemos generalizar el argumento que acabamos de presentar si consideramos una acción cuyo precio es S_0 y una opción sobre la acción cuyo precio actual es f. Supongamos que la opción tiene una vida de T y que durante este tiempo el precio de la acción puede subir de S_0 a un nuevo nivel, S_0u, o bajar de S_0 a un nuevo nivel, S_0d ($u > 1$; $d < 1$). El aumento proporcional en el precio de la acción cuando hay una variación al alza es $u - 1$; la disminución proporcional cuando hay una variación a la baja es $1 - d$. Si el precio de la acción sube a S_0u, suponemos que el beneficio obtenido de la opción es f_u; si el precio de la acción baja a S_0d, suponemos que el beneficio obtenido de la opción es f_d. La figura 11.2 ilustra esta situación.

Igual que antes, imaginemos una cartera que consiste en una posición larga en Δ acciones y una posición corta en una opción. Calculamos el valor de Δ que hace a la cartera libre de riesgo. Si el precio de la acción sube, el valor de la cartera al final de la vida y de la opción es

$$S_0u\Delta - f_u$$

Si el precio de la acción baja, el valor de la cartera cambia a

$$S_0d\Delta - f_d$$

Ambos son iguales si

$$S_0u\Delta - f_u = S_0d\Delta - f_d$$

o

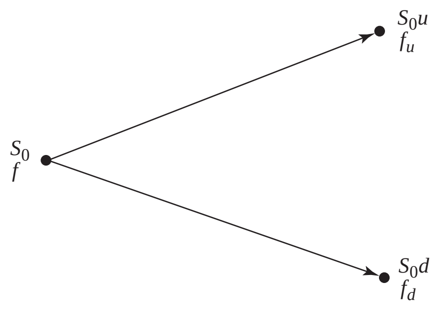
$$\Delta = \frac{f_u - f_d}{S_0u - S_0d} \tag{11.1}$$

En este caso, la cartera está libre de riesgo y debe ganar la tasa de interés libre de riesgo. La ecuación (11.1) muestra que Δ es la relación entre el cambio en el precio de la opción y el cambio en el precio de la acción a medida que nos desplazamos entre los nodos en el tiempo T.

Si indicamos la tasa de interés libre de riesgo como r, el valor presente de la cartera es

$$(S_0u\Delta - f_u)e^{-rT}$$

Figura 11.2 Precios de la acción y la opción en un árbol general de un paso



El costo de crear la cartera es

$$S_0\Delta - f$$

Se deduce que

$$S_0\Delta - f = (S_0 u\Delta - f_u)e^{-rT}$$

o

$$f = S_0\Delta(1 - ue^{-rT}) + f_u e^{-rT}$$

Si esto sustituye a Δ en la ecuación (11.1) y simplificamos, podemos reducir esta ecuación a

$$f = e^{-rT}[pf_u + (1-p)f_d] \tag{11.2}$$

donde

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d} \tag{11.3}$$

Las ecuaciones (11.2) y (11.3) permiten valuar una opción cuando las variaciones del precio de la acción las proporciona un modelo binomial de un paso.

En el ejemplo numérico considerado anteriormente (vea la figura 11.1), $u = 1.1$, $d = 0.9$, $r = 0.12$, $T = 0.25$, $f_u = 1$ y $f_d = 0$. Con base en la ecuación (11.3),

$$p = \frac{e^{0.12\times3/12} - 0.9}{1.1 - 0.9} = 0.6523$$

y, a partir de la ecuación (11.2),

$$f = e^{-0.12\times0.25}(0.6523 \times 1 + 0.3477 \times 0) = 0.633$$

El resultado concuerda con la respuesta obtenida anteriormente en esta sección.

Irrelevancia del rendimiento esperado de la acción

La fórmula para la valuación de opciones de la ecuación (11.2) no incluye las probabilidades de aumento o disminución del precio de la acción. Por ejemplo, obtenemos el mismo precio de la opción cuando la probabilidad de un aumento es 0.5 que cuando es 0.9. Esto es sorprendente y aparentemente ilógico, ya que es natural asumir que a medida que aumenta la probabilidad de un incremento en el precio de la acción, aumenta el valor de una opción de compra sobre la acción y disminuye el valor de una opción de venta sobre la acción, pero éste no es el caso.

La razón principal es que no estamos valuando la opción en términos absolutos, sino que calculamos su valor en términos del precio de la acción subyacente. Las probabilidades de aumentos o disminuciones futuros ya están incorporadas en el precio de la acción. No necesitamos tomarlas en cuenta de nuevo al valuar la opción en términos del precio de la acción.

11.2 VALUACIÓN NEUTRAL AL RIESGO

Aunque no necesitamos suponer nada sobre las probabilidades de aumento y disminución del precio de la acción para obtener la ecuación (11.2), es natural interpretar la variable p de la ecuación (11.2) como la probabilidad de un aumento en el precio de la acción. Entonces la variable $1 - p$ es la probabilidad de una disminución del precio de la acción, y la expresión

$$pf_u + (1-p)f_d$$

es el beneficio esperado de la opción. Con esta interpretación de p, la ecuación (11.2) establece que el valor de la opción el día de hoy es su beneficio futuro esperado descontado a la tasa de interés libre de riesgo.

Ahora investigamos el rendimiento esperado de la acción cuando se asume que la probabilidad de un aumento de precio es p. El precio esperado de la acción en el tiempo T, $E(S_T)$, se obtiene por medio de

$$E(S_T) = pS_0u + (1 - p)S_0d$$

o

$$E(S_T) = pS_0(u - d) + S_0d$$

Si se sustituye p en la ecuación (11.3), obtenemos

$$E(S_T) = S_0e^{rT} \tag{11.4}$$

lo que demuestra que el precio de la acción crece en promedio a la tasa libre de riesgo. Establecer la probabilidad del aumento de precio de la acción igual a p, por lo tanto, equivale a asumir que el rendimiento sobre la acción es igual a la tasa libre de riesgo.

En un *mundo neutral al riesgo* todos los individuos son indiferentes al riesgo. En un mundo como éste, los inversionistas no requieren ninguna compensación por el riesgo y el rendimiento esperado sobre todos los títulos es la tasa de interés libre de riesgo. La ecuación (11.4) muestra que asumimos un mundo libre de riesgo cuando establecemos en p la probabilidad de un aumento del precio de la acción. La ecuación (11.2) muestra que el valor de la opción es su beneficio esperado en un mundo neutral al riesgo descontado a la tasa de interés libre de riesgo.

Esto da lugar a un ejemplo de un principio general importante en la valuación de opciones que se conoce como *valuación neutral al riesgo*. Este principio establece que podemos asumir con toda seguridad que el mundo es neutral al riesgo al valuar opciones. Los precios resultantes son correctos no sólo en un mundo neutral al riesgo, sino también en otros mundos.

Revisión del ejemplo binomial de un paso

Volvamos ahora al ejemplo de la figura 11.1 y mostremos que la valuación neutral al riesgo da la misma respuesta que los argumentos sin arbitraje. En la figura 11.1, el precio actual de la acción es de $20 y subirá a $22 o bajará a $18 al término de tres meses. La opción considerada es una opción de compra europea con un precio de ejercicio de $21 y una fecha de vencimiento en tres meses. La tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual.

Definimos p como la probabilidad de un incremento en el precio de la acción en un mundo neutral al riesgo. Calculamos p con la ecuación (11.3). Por otro lado, argumentamos que el rendimiento esperado sobre la acción en un mundo neutral al riesgo debe ser la tasa de interés libre de riesgo de 12%. Esto significa que p debe satisfacer a

$$22p + 18(1 - p) = 20e^{0.12\times 3/12}$$

o

$$4p = 20e^{0.12\times 3/12} - 18$$

Es decir, p debe ser igual a 0.6523.

Al final de los tres meses, la opción de compra tiene una probabilidad de 0.6523 de tener un valor igual a 1 y una probabilidad de 0.3477 de tener un valor igual a cero. Por lo tanto, su valor esperado es de

$$0.6523 \times 1 + 0.3477 \times 0 = 0.6523$$

En un mundo neutral al riesgo, este valor debe descontarse a la tasa de interés libre de riesgo. Por lo tanto, el valor de la opción el día de hoy es de

$$0.6523e^{-0.12\times 3/12}$$

o $0.633. Este valor es el mismo que se obtuvo anteriormente, lo que demuestra que los argumentos de no arbitraje y la valuación neutral al riesgo proporcionan la misma respuesta.

Mundo real y mundo neutral al riesgo

Debemos destacar que p es la probabilidad de un aumento del precio de la acción en un mundo neutral al riesgo. En general, esta probabilidad no es igual a la probabilidad de un aumento del precio de la acción en el mundo real. En nuestro ejemplo, $p = 0.6523$. Cuando la probabilidad de un aumento del precio de la acción es de 0.6523, el rendimiento esperado sobre la acción y la opción es la tasa de interés libre de riesgo de 12%. Suponga que, en el mundo real, el rendimiento esperado sobre la acción es de 16% y q es la probabilidad de un aumento del precio de la acción en el mundo real. Se deduce que

$$22q + 18(1 - q) = 20e^{0.16\times 3/12}$$

de tal manera que $q = 0.7041$.

El beneficio esperado de la opción en el mundo real es entonces

$$q \times 1 + (1 - q) \times 0$$

Este beneficio es de 0.7041. Por desgracia, no es fácil conocer la tasa de descuento correcta que debe aplicarse al beneficio esperado en el mundo real. Una posición en una opción de compra tiene más riesgo que una posición en la acción. En consecuencia, la tasa de descuento que debe aplicarse a una opción de compra es mayor de 16%. Si no conocemos el valor de la opción, no sabemos qué tanto debe ser mayor a 16%.[1] El uso de la valuación neutral al riesgo es conveniente porque sabemos que, en un mundo neutral al riesgo, el rendimiento esperado sobre todos los activos (y, por lo tanto, la tasa de descuento que se usará para todos los beneficios esperados) es la tasa libre de riesgo.

11.3 ÁRBOLES BINOMIALES DE DOS PASOS

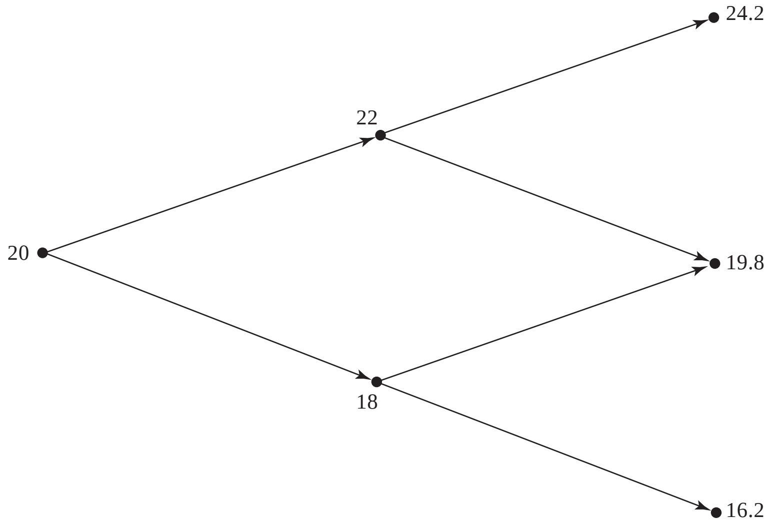
Se puede ampliar el análisis a un árbol binomial de dos pasos como el que se muestra en la figura 11.3. Aquí, el precio de la acción inicia en $20 y en cada uno de los dos intervalos de tiempo (pasos) debe subir o bajar 10%. Supongamos que cada intervalo dura tres meses y que la tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual. Igual que antes, consideremos una opción con un precio de ejercicio de $21.

El objetivo del análisis es calcular el precio de la opción en el nodo inicial del árbol. Esto se realiza en forma repetida aplicando los principios que se establecieron anteriormente en el capítulo. La figura 11.4 muestra los mismos árboles que la figura 11.3, pero con el precio tanto de la acción como de la opción en cada nodo. (El precio de la acción es la cifra superior y el de la opción es la inferior). Los precios de la opción al final de los nodos del árbol se calculan fácilmente. Estos precios son los beneficios obtenidos de la opción. En el nodo D, el precio de la acción es de 24.2 y el de la opción es de $24.2 - 21 = 3.2$; en los nodos E y F, la opción está out of the money y su valor es cero.

En el nodo C, el precio de la opción es cero, debido a que este nodo da lugar al nodo E o al nodo F y en ambos nodos el precio de la opción es cero. Calculamos el precio de la opción en el nodo B centrando nuestra atención en la parte del árbol de la figura 11.5. Utilizando la notación

[1] Como el valor correcto de la opción es 0.633, deducimos que la tasa de descuento correcta es 42.58%. Esto, porque $0.633 = 0.7041e^{-0.4258\times 3/12}$.

Figura 11.3 Precios de la acción en un árbol de dos pasos



presentada anteriormente, $u = 1.1$, $d = 0.9$, $r = 0.12$ y $T = 0.25$, por lo que $p = 0.6523$ y la ecuación (11.2) da el valor de la opción en el nodo B como sigue

$$e^{-0.12 \times 3/12}(0.6523 \times 3.2 + 0.3477 \times 0) = 2.0257$$

Nos resta calcular el precio de la opción en el nodo inicial A. Hacemos esto centrándonos en el primer intervalo de tiempo del árbol. Sabemos que el valor de la opción en el nodo B es de 2.0257

Figura 11.4 Precios de la acción y de la opción en un árbol de dos pasos. La cifra superior en cada nodo es el precio de la acción; la cifra inferior es el precio de la opción

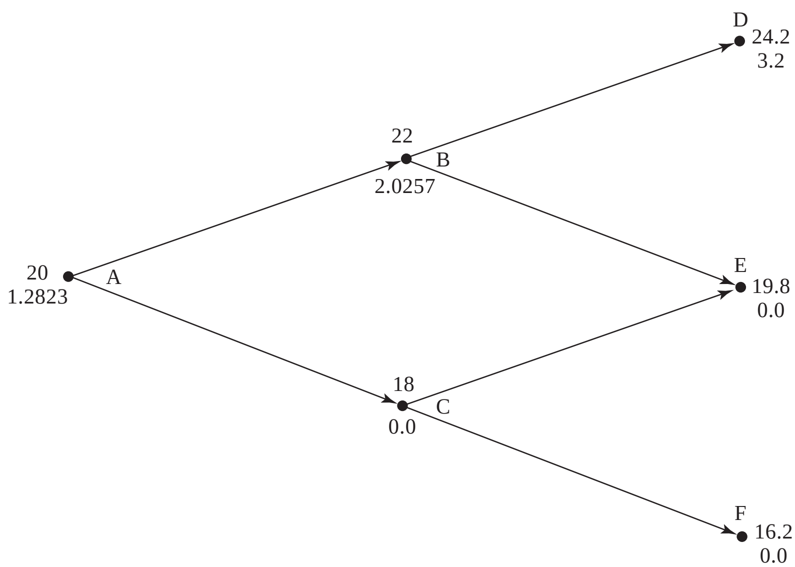
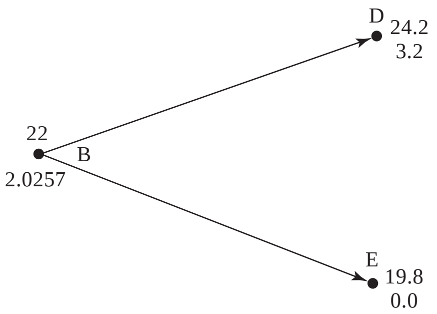


Figura 11.5 Evaluación del precio de la opción en el nodo B



y que en el nodo C es de cero. Por lo tanto, la ecuación (11.2) nos da el valor en el nodo A como sigue

$$e^{-0.12\times 3/12}(0.6523 \times 2.0257 + 0.3477 \times 0) = 1.2823$$

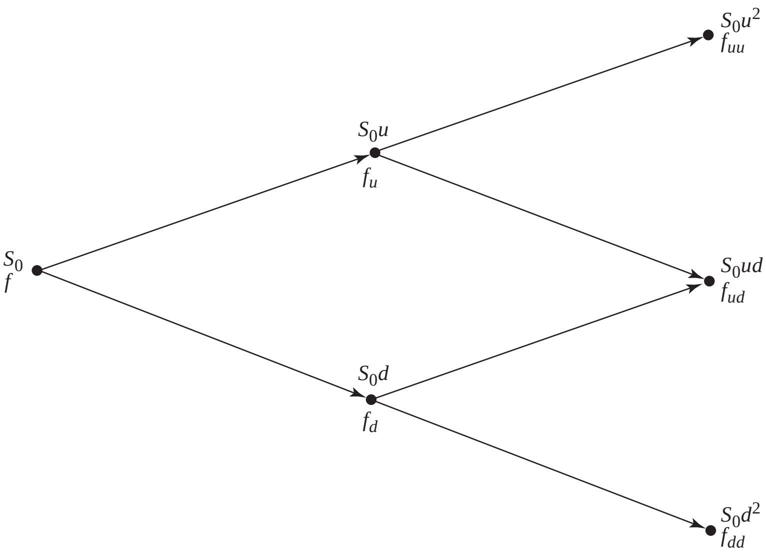
El valor de la opción es de 1.2823 dólares.

Observe que este ejemplo se elaboró de tal manera que u y d (los aumentos y disminuciones proporcionales) fueran iguales en cada nodo del árbol y que los intervalos de tiempo fueran de la misma duración. En consecuencia, la probabilidad neutral al riesgo, p, calculada mediante la ecuación (11.3), es igual en cada nodo.

Una generalización

Podemos generalizar el caso de dos intervalos de tiempo si consideramos la situación de la figura 11.6. Inicialmente, el precio de la acción es S_0. Durante cada intervalo de tiempo, aumenta u veces su valor inicial o disminuye d veces este valor. En el árbol se muestra la notación para el valor de

Figura 11.6 Precios de la acción y de la opción en un árbol general de dos pasos



la opción. (Por ejemplo, después de dos incrementos, el valor de la opción es f_{uu}). Supongamos que la tasa de interés libre de riesgo es r y la duración del intervalo de tiempo es Δt años.

Puesto que ahora la duración de un intervalo de tiempo es Δt en vez de T, las ecuaciones (11.2) y (11.3) se convierten en

$$f = e^{-r\Delta t}[pf_u + (1-p)f_d] \tag{11.5}$$

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \tag{11.6}$$

Si se repite la aplicación de la ecuación (11.5) nos da

$$f_u = e^{-r\Delta t}[pf_{uu} + (1-p)f_{ud}] \tag{11.7}$$

$$f_d = e^{-r\Delta t}[pf_{ud} + (1-p)f_{dd}] \tag{11.8}$$

$$f = e^{-r\Delta t}[pf_u + (1-p)f_d] \tag{11.9}$$

Si sustituimos las ecuaciones (11.7) y (11.8) en la ecuación (11.9), obtenemos

$$f = e^{-2r\Delta t}[p^2 f_{uu} + 2p(1-p)f_{ud} + (1-p)^2 f_{dd}] \tag{11.10}$$

Esto es congruente con el principio de valuación neutral al riesgo mencionado anteriormente. Las variables p^2, $2p(1-p)$ y $(1-p)^2$ son las probabilidades de que se alcancen los nodos finales, superior, medio e inferior. El precio de la opción es igual a su beneficio esperado en un mundo neutral al riesgo, descontado a la tasa de interés libre de riesgo.

A medida que agregamos más pasos al árbol binomial, el principio de valuación neutral al riesgo se sigue sosteniendo. El precio de la opción es siempre igual a su beneficio esperado en un mundo neutral al riesgo, descontado a la tasa de interés libre de riesgo.

11.4 EJEMPLO DE UNA OPCIÓN DE VENTA

Los procedimientos descritos en este capítulo se pueden utilizar para valuar opciones tanto de venta como de compra. Considere una opción de venta europea a dos años con un precio de ejercicio de \$52 sobre una acción cuyo precio actual es de \$50. Supongamos que hay dos intervalos de un año y, en cada uno, el precio de la acción sube o baja en un monto proporcional de 20%. Además, supongamos que la tasa de interés libre de riesgo es de 5%.

La figura 11.7 muestra el árbol. En este caso, $u = 1.2$, $d = 0.8$, $\Delta t = 1$ y $r = 0.05$. Con base en la ecuación (11.6), el valor de la probabilidad neutral al riesgo, p, se obtiene por medio de

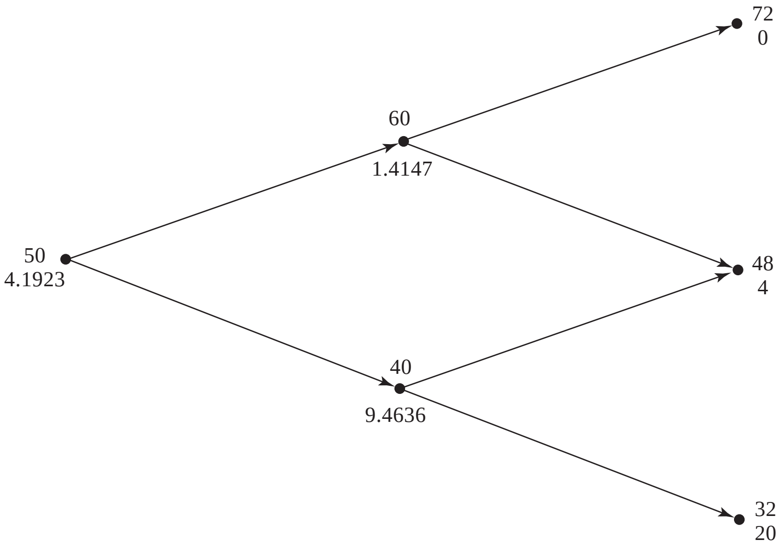
$$p = \frac{e^{0.05\times 1} - 0.8}{1.2 - 0.8} = 0.6282$$

Los posibles precios finales de la acción son: \$72, \$48 y \$32. En este caso, $f_{uu} = 0$, $f_{ud} = 4$ y $f_{dd} = 20$. Con base en la ecuación (11.10),

$$f = e^{-2\times 0.05\times 1}(0.6282^2 \times 0 + 2 \times 0.6282 \times 0.3718 \times 4 + 0.3718^2 \times 20) = 4.1923$$

El valor de la opción de venta es de \$4.1923. Este mismo resultado se obtiene con la ecuación (11.5) y retrocediendo a lo largo del árbol un paso a la vez. La figura 11.7 muestra los precios intermedios de la opción que se calcularon.

Figura 11.7 Uso del árbol de dos pasos para valuar una opción de venta europea. En cada nodo, la cifra superior es el precio de la acción y la cifra inferior es el precio de la opción



11.5 OPCIONES AMERICANAS

Hasta este momento, todas las opciones que hemos considerado han sido europeas. Ahora analizaremos cómo se valúan las opciones americanas utilizando árboles binomiales, como los de las figuras 11.4 y 11.7. El procedimiento consiste en retroceder a lo largo del árbol, desde el fin hasta el inicio, probando cada nodo para ver si el ejercicio anticipado es lo óptimo. El valor de la opción en los nodos finales es igual que para la opción europea. En nodos anteriores el valor de la opción es mayor que:

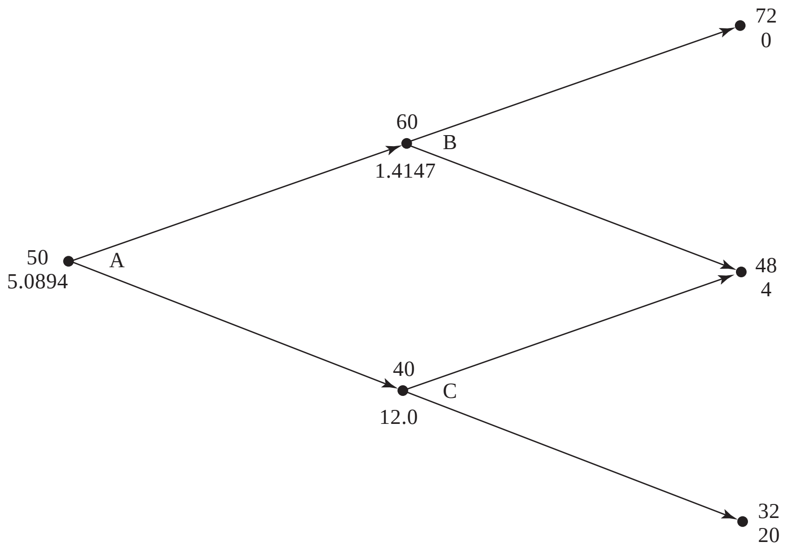
1. El valor obtenido con la ecuación (11.5)
2. El beneficio obtenido del ejercicio anticipado

La figura 11.8 muestra cómo cambia la figura 11.7 si la opción considerada es americana en vez de europea. Los precios de la acción y sus probabilidades permanecen sin cambio. Los valores de la opción en los nodos finales también se mantienen constantes. En el nodo B, el valor de la opción es de 1.4147, de acuerdo con la ecuación (11.2), en tanto que el beneficio de su ejercicio anticipado es negativo ($= -8$). Evidentemente, el ejercicio anticipado no es lo óptimo en el nodo B y el valor de la opción en este nodo es de 1.4147. En el nodo C, el valor de la opción es de 9.4636, con base en la ecuación (11.5), en tanto que el beneficio de su ejercicio anticipado es de 12. En este caso, el ejercicio anticipado es lo óptimo y el valor de la opción en este nodo es de 12. En el nodo inicial A, el valor proporcionado por la ecuación (11.5) es de

$$e^{-0.05\times 1}(0.6282 \times 1.4147 + 0.3718 \times 12.0) = 5.0894$$

y el beneficio obtenido de su ejercicio anticipado es de 2. En este caso, el ejercicio anticipado no es lo óptimo. Por lo tanto, el valor de la opción es de $5.0894.

Figura 11.8 Uso del árbol de dos pasos para valuar una opción de venta americana. En cada nodo la cifra superior es el precio de la acción y la cifra inferior es el precio de la opción



11.6 LA DELTA

En esta etapa es conveniente presentar la *delta*, un parámetro importante en la valuación y cobertura de opciones.

La delta de una opción sobre una acción es la relación entre el cambio de precio de la opción sobre una acción y el cambio de precio de la acción subyacente. Representa el número de unidades de la acción que debemos mantener por cada opción vendida en corto para crear una cobertura libre de riesgo; es igual a la Δ presentada antes en este capítulo. La creación de una cobertura libre de riesgo se conoce a veces como *cobertura dinámica* (*delta hedging*). La delta de una opción de compra es positiva, en tanto que la delta de una opción de venta es negativa.

Con base en la figura 11.1, calculamos el valor de la delta de la opción de compra considerada como

$$\frac{1-0}{22-18} = 0.25$$

Esto se debe a que al cambiar el precio de la acción de \$18 a \$22, el precio de la opción varía de \$0 a \$1.

En la figura 11.4, la delta correspondiente a las variaciones del precio de la acción durante el primer intervalo es

$$\frac{2.0257-0}{22-18} = 0.5064$$

La delta para las variaciones del precio de la acción durante el segundo intervalo es

$$\frac{3.2 - 0}{24.2 - 19.8} = 0.7273$$

si hay un aumento durante el primer intervalo, y

$$\frac{0 - 0}{19.8 - 16.2} = 0$$

si hay una disminución durante el primer intervalo.

Con base en la figura de 11.7, la delta es

$$\frac{1.4147 - 9.4636}{60 - 40} = -0.4024$$

al final del primer intervalo de tiempo y

$$\frac{0 - 4}{72 - 48} = -0.1667$$

o

$$\frac{4 - 20}{48 - 32} = -1.0000$$

al final del segundo intervalo.

Los ejemplos de dos pasos muestran que la delta cambia con el paso del tiempo. (En la figura 11.4, la delta cambia de 0.5064 a 0.7273 o 0; en la figura 11.7, cambia de −0.4024 a −0.1667 o −1.0000). Por lo tanto, para mantener una cobertura libre de riesgo usando una opción y la acción subyacente, necesitamos ajustar periódicamente nuestras tenencias en la acción. Ésta es una característica de las opciones que abordaremos de nuevo en los capítulos 12 y 15.

11.7 DETERMINACIÓN DE *u* Y *d*

Hasta este momento hemos asumido los valores de u y d. Por ejemplo, en la figura 11.8, asumimos que $u = 1.2$ y $d = 0.8$. En la práctica, u y d se determinan a partir de la volatilidad del precio de la acción, σ. Las fórmulas son

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \tag{11.11}$$

$$d = \frac{1}{u} \tag{11.12}$$

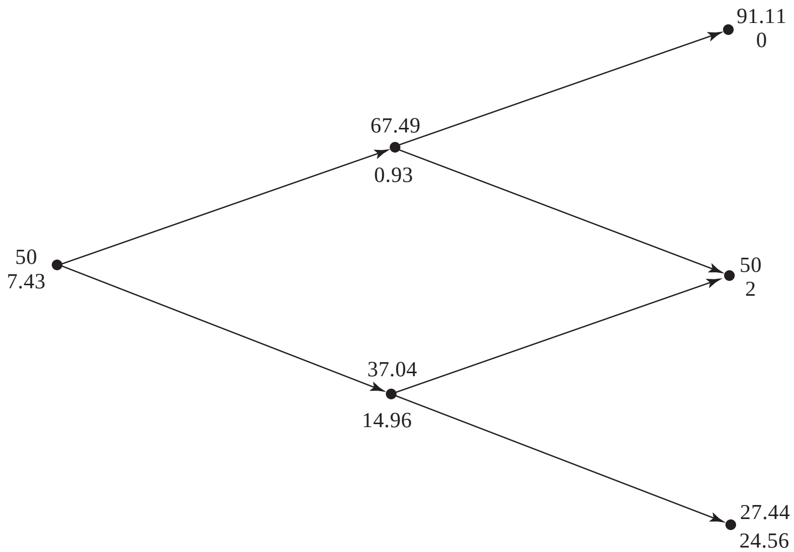
donde Δt es la duración de un intervalo en el árbol. Estas fórmulas se explicarán posteriormente en el capítulo 16. La serie completa de ecuaciones que definen al árbol son las ecuaciones (11.11) y (11.12), junto con la ecuación (11.6), que se plantea de la siguiente manera

$$p = \frac{a - d}{u - d} \tag{11.13}$$

donde

$$a = e^{r\Delta t} \tag{11.14}$$

Figura 11.9 Árbol de dos pasos para valuar una opción de venta americana a dos años cuando el precio de la acción es de 50, el precio de ejercicio es de 52, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% y la volatilidad es de 30%



Considere de nuevo la opción de venta americana de la figura 11.8, en la que el precio de la acción es de \$50, el precio de ejercicio es de \$52, la tasa de interés libre de riesgo es de 5%, la vida de la opción es de dos años y hay dos intervalos de tiempo. En este caso, $\Delta t = 1$. Suponga que la volatilidad, σ, es de 30%. Entonces, con base en las ecuaciones (11.11) a (11.14), tenemos

$$u = e^{0.3\times 1} = 1.3499$$

$$d = \frac{1}{1.3499} = 0.7408$$

$$a = e^{0.05\times 1} = 1.0513$$

y

$$p = \frac{1.053 - 0.7408}{1.3499 - 0.7408} = 0.5097$$

La figura 11.9 ilustra el árbol. El valor de la opción es de 7.43. Este valor es distinto al valor obtenido en la figura 11.8 cuando asumimos que $u = 1.2$ y $d = 0.8$.

11.8 AUMENTO DEL NÚMERO DE INTERVALOS

Los modelos binomiales presentados hasta ahora han sido excesivamente simples. Es evidente que un analista debe esperar obtener sólo una aproximación al precio de una opción asumiendo que las variaciones de precio de la acción durante la vida de la opción constan de uno o dos pasos binomiales.

Cuando se usan árboles binomiales en la práctica, por lo común la vida de la opción se divide en 30 o más intervalos. En cada uno de estos intervalos hay una variación binomial en el precio de la acción. Con 30 intervalos, hay 31 precios finales de la acción y 2^{30}, o cerca de 1,000 millones, de posibles trayectorias del precio de la acción que podrían considerarse.

Las ecuaciones que definen al árbol son las ecuaciones (11.11) a (11.14), independientemente del número de intervalos. Por ejemplo, suponga que hay cinco intervalos en vez de dos en el ejemplo que consideramos en la figura 11.9. Los parámetros serían $\Delta t = 2/5 = 0.4$, $r = 0.05$ y $\sigma = 0.3$. Éstos nos dan $u = e^{0.3\times\sqrt{0.4}} = 1.2089$, $d = 1/1.2089 = 0.8272$, $a = e^{0.05\times 0.4} = 1.0202$ y $p = (1.0202 - 0.8272)/1.2089 - 0.8272) = 0.5056$.

Uso de DerivaGem

El software que acompaña a este libro, DerivaGem, es una herramienta útil para familiarizarse con los árboles binomiales. Después de cargar el software como se describe al final de este libro, vaya a la hoja de trabajo Equity_FX_Index_Futures_Options. Elija Equity (acciones) como el Tipo subyacente y seleccione Americana binomial como el Tipo de opción. Ingrese el precio de la acción, la volatilidad, la tasa de interés libre de riesgo, el tiempo al vencimiento, el precio de ejercicio y los pasos del árbol como 50, 30%, 5%, 2, 52 y 2, respectivamente. Haga clic en el botón *Put* (opción de venta) y después en *Calculate* (calcular). El precio de la opción se muestra como 7.428 en el cuadro de Precio. Ahora, haga clic en *Display Tree* (mostrar árbol) y verá una figura equivalente a la figura 11.9. (Las cifras en rojo indican los nodos donde se ejerció la opción).

Regrese a la hoja de trabajo Equity_FX_Index_Futures_Options y cambie el número de intervalos a 5. Presione *Enter* (ingresar) y haga clic en *Calculate* (calcular). Descubrirá que el valor de la opción cambia a 7.671. Al hacer clic en *Display Tree* (mostrar árbol) se despliega el árbol de cinco pasos junto con los valores de u, d, a y p que acabamos de calcular.

El software DerivaGem presenta árboles que incluyen hasta 10 pasos, pero realiza cálculos hasta para 500 pasos. En nuestro ejemplo, 500 pasos proporcionan el precio de la opción (hasta dos espacios decimales) como 7.47, lo cual es una respuesta exacta. Al cambiar el Tipo de opción a Europea binomial, podemos usar el árbol para valuar una opción europea. Si usamos 500 intervalos, el valor de una opción europea con los mismos parámetros que la opción americana es 6.76. (Al cambiar el tipo de opción a Europea analítica, mostramos el valor de la opción usando la fórmula de Black-Scholes que se presentará en el siguiente capítulo. Este valor es también 6.76). Si cambiamos el Tipo subyacente, podemos considerar opciones sobre activos distintos a las acciones. Ahora analizaremos estos tipos de opción.

11.9 OPCIONES SOBRE OTROS ACTIVOS

En el capítulo 8 presentamos las opciones sobre índices, divisas y contratos de futuros, que abordaremos con más detalle en los capítulos 13 y 14. Podemos construir y usar árboles binomiales para estas opciones exactamente en la misma forma que lo hicimos para las opciones sobre acciones, excepto que las ecuaciones para obtener p cambian. Como en el caso de las opciones sobre acciones, se aplica la ecuación (11.2) de modo que el valor en un nodo (antes de considerar la posibilidad de un ejercicio anticipado) sea p veces el valor si hay un aumento más $1 - p$ veces el valor si hay una disminución, descontado a la tasa de interés libre de riesgo.

Opciones sobre acciones que pagan un rendimiento de dividendos continuo

En primer lugar, considere una acción que paga un rendimiento de dividendos conocido, a la tasa q. El rendimiento total de los dividendos y las ganancias de capital en un mundo neutral al riesgo que es r. Los dividendos proporcionan un rendimiento de q. Por lo tanto, las ganancias de capital deben proporcionar un rendimiento de $r - q$. Si la acción inicia en S_0, su valor esperado después de un intervalo de tiempo con una duración Δt debe ser $S_0 e^{(r-q)\Delta t}$. Esto significa que

$$pS_0u + (1 - p)S_0d = S_0e^{(r-q)\Delta t}$$

de modo que

$$p = \frac{e^{(r-q)\Delta t} - d}{u - d}$$

Como en el caso de las opciones sobre acciones que no pagan dividendos, igualamos la volatilidad estableciendo $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$ y $d = 1/u$. Esto significa que podemos usar las ecuaciones (11.11) a (11.14), con la excepción de que establecemos $a = e^{(r-q)\Delta t}$.

Opciones sobre índices bursátiles

Cuando calculamos el precio de un contrato de futuros sobre un índice bursátil en el capítulo 5, asumimos que las acciones subyacentes al índice proporcionaron un rendimiento de dividendos a la tasa q. Aquí hacemos un supuesto similar. Por lo tanto, la valuación de una opción sobre un índice bursátil es muy similar a la valuación de una opción sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos conocido. El ejemplo 11.1 ilustra esto.

Opciones sobre divisas

Como señalamos en la sección 5.10, una divisa se considera un activo que proporciona un rendimiento a la tasa de interés extranjera libre de riesgo, r_f. Por analogía con el caso del índice bursátil, podemos construir un árbol para opciones sobre una divisa usando las ecuaciones (11.11) a (11.14) y estableciendo $a = e^{(r-r_f)\Delta t}$. El ejemplo 11.2 ilustra esto.

Opciones sobre futuros

No cuesta nada tomar una posición larga o corta en un contrato de futuros. Se deduce que, en un mundo neutral al riesgo, el precio de un contrato de futuros debe tener una tasa de crecimiento esperada de cero. (Analizamos este punto con más detalle en el capítulo 14). Como antes, definimos p como la probabilidad de un aumento de precio de un contrato de futuros, u como la cantidad por la que el precio se multiplica en un aumento y d como la cantidad por la cual se multiplica el precio en una disminución. Si F_0 es el precio inicial del contrato de futuros, su precio esperado al final de un intervalo de tiempo con una duración Δt debe ser también F_0. Esto significa que

$$pF_0u + (1 - p)F_0d = F_0$$

de modo que

$$p = \frac{1 - d}{u - d}$$

y podemos usar las ecuaciones (11.11) a (11.14) con $a = 1$. El ejemplo 11.3 ilustra esto.

Ejemplo 11.1 Opción sobre un índice bursátil

En este momento, un índice bursátil es de 810 y tiene una volatilidad de 20% y un rendimiento de dividendos de 2%. La tasa de interés libre de riesgo es de 5%. La figura siguiente muestra el resultado del software DerivaGem para valuar una opción de compra europea a seis meses, con un precio de ejercicio de 800, usando un árbol de dos pasos. En este caso,

$$\Delta t = 0.25, \quad u = e^{0.20\times\sqrt{0.25}} = 1.1052, \quad d = 1/u = 0.9048,$$

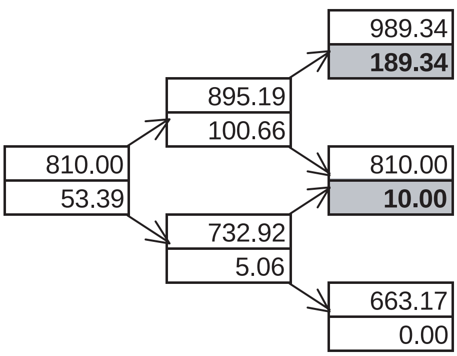
$$a = e^{(0.05-0.02)\times 0.25} = 1.0075, \quad p = \frac{1.0075 - 0.9048}{1.1052 - 0.9048} = 0.5126$$

El valor de la opción es de 53.39.

Resultado del software DerivaGem:

En cada nodo:
  Valor superior = precio del activo subyacente
  Valor inferior = precio de la opción
El área sombreada indica dónde se ejerció la opción

Precio de ejercicio = 800
Factor de descuento por paso = 0.9876
Intervalo, dt = 0.2500 años, 91.25 días
Factor de crecimiento por paso, a = 1.0075
Probabilidad de aumento, p = 0.5126
Tamaño del intervalo ascendente, u = 1.1052
Tamaño del intervalo descendente, d = 0.9048



Tiempo del nodo:

0.0000 0.2500 0.5000

Ejemplo 11.2 Opción sobre una divisa

En la actualidad, el dólar australiano vale 0.6100 dólares estadounidenses y este tipo de cambio tiene una volatilidad de 12%. La tasa de interés libre de riesgo australiana es de 7% y la estadounidense es de 5%. La figura siguiente muestra el resultado del software DerivaGem para valuar una opción de compra americana a tres meses, con un precio de ejercicio de 0.6000, usando un árbol de tres pasos. En este caso,

$$\Delta t = 0.08333, \quad u = e^{0.12\times\sqrt{0.08333}} = 1.0352, \quad d = 1/u = 0.9660,$$

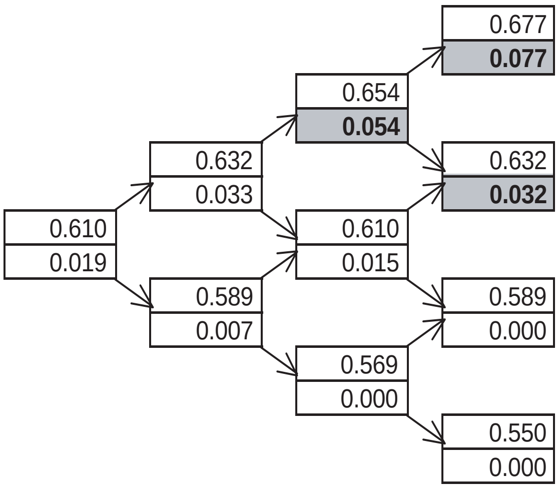
$$a = e^{(0.05-0.07)\times 0.08333} = 0.9983, \quad p = \frac{0.9983 - 0.9660}{1.0352 - 0.9660} = 0.4673$$

El valor de la opción es de 0.019.

Resultado del software DerivaGem:

En cada nodo:
Valor superior = precio del activo subyacente
Valor inferior = precio de la opción
El área sombreada indica dónde se ejerció la opción

Precio de ejercicio = 0.6
Factor de descuento por paso = 0.9958
Intervalo, dt = 0.0833 años, 30.42 días
Factor de crecimiento por paso, a = 0.9983
Probabilidad de aumento, p = 0.4673
Tamaño del intervalo ascendente, u = 1.0352
Tamaño del intervalo descendente, d = 0.9660



Tiempo del nodo:
0.0000 0.0833 0.1667 0.2500

Ejemplo 11.3 Opción sobre futuros

Actualmente, el precio de un contrato de futuros es de 31, con una volatilidad de 30%. La tasa de interés libre de riesgo es de 5%. La figura siguiente muestra el resultado del software DerivaGem para valuar una opción de venta americana a nueve meses, con un precio de ejercicio de 30, usando un árbol de tres pasos. En este caso,

$$\Delta t = 0.25, \quad u = e^{0.3\sqrt{0.25}} = 1.1618, \quad d = 1/u = 1/1.1618 = 0.8607,$$

$$a = 1, \quad p = \frac{1 - 0.8607}{1.1618 - 0.8607} = 0.4626$$

El valor de la opción es de 2.84.

Resultado del software DerivaGem:

En cada nodo:

Valor superior = precio del activo subyacente

Valor inferior = precio de la opción

El área sombreada indica dónde se ejerció la opción

Precio de ejercicio = 30

Factor de descuento por paso = 0.9876

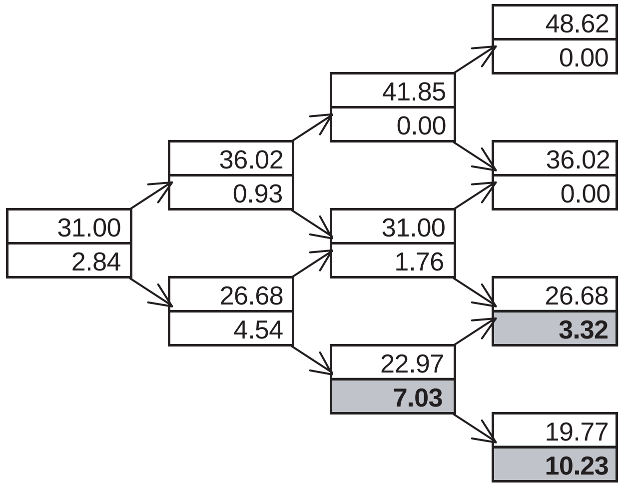
Intervalo, dt = 0.2500 años, 91.25 días

Factor de crecimiento por paso, a = 1.000

Probabilidad de aumento, p = 0.4626

Tamaño del intervalo ascendente, u = 1.1618

Tamaño del intervalo descendente, d = 0.8607



Tiempo del nodo:

0.0000 0.2500 0.5000 0.7500

RESUMEN

Este capítulo hace un análisis inicial de la valuación de opciones sobre acciones y otros activos. En una situación sencilla en la que un árbol binomial de un paso determina las variaciones en el precio de una acción durante la vida de una opción, es posible establecer una cartera libre de riesgo integrada por una opción sobre una acción y la acción misma. En un mundo sin oportunidades de arbitraje, las carteras libres de riesgo deben ganar la tasa de interés libre de riesgo. Esto permite evaluar la opción sobre una acción en términos de la acción. Es interesante observar que no se requieren supuestos sobre las probabilidades de aumentos y disminuciones en el precio de la acción en cada nodo del árbol.

Cuando un árbol binomial de múltiples pasos determina las variaciones en el precio de la acción, manejamos cada paso binomial en forma independiente y retrocedemos desde el final de la vida de la opción hasta su inicio para obtener el valor actual de la opción. Nuevamente, sólo se usan argumentos de no arbitraje y no se requieren supuestos sobre las probabilidades de aumentos y disminuciones en el precio de la acción en cada nodo.

Una estrategia equivalente para valuar acciones sobre acciones es la valuación neutral al riesgo. Este importante principio establece que es aceptable asumir que el mundo es neutral al riesgo al valuar una opción en términos de la acción subyacente. Este capítulo ha mostrado, por medio tanto de ejemplos numéricos como de álgebra, que los argumentos de no arbitraje y la valuación neutral al riesgo son equivalentes y dan lugar al mismo precio de la opción.

La delta de una opción sobre una acción, Δ, considera el efecto de un pequeño cambio en el precio de la acción subyacente sobre el cambio en el precio de la opción. Representa la relación entre el cambio en el precio de la opción y el cambio en el precio de la acción. Para una posición libre de riesgo, un inversionista debe comprar Δ acciones por cada opción vendida. Una revisión de un árbol binomial típico muestra que la delta cambia durante la vida de una opción. Esto significa que para cubrir una posición específica en una opción, debemos cambiar de manera periódica nuestra tenencia en la acción subyacente.

La construcción de árboles binomiales para valuar opciones sobre índices bursátiles, divisas y contratos de futuros es muy similar a la construcción de estos árboles para valuar opciones sobre acciones. En el capítulo 16 regresaremos a los árboles binomiales y analizaremos con mayor detalle su uso en la práctica.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Coval, J.E. y T. Shumway. "Expected Option Returns", *Journal of Finance*, 56, 3 (2001), pp. 983-1009.

Cox, J., S. Ross y M. Rubinstein. "Option Pricing: A Simplified Approach". *Journal of Financial Economics*, 7 (octubre de 1979), pp. 229-64.

Rendleman, R. y B. Bartter. "Two State Option Pricing". *Journal of Finance*, 34 (1979), pp. 1092-1110.

Examen (respuestas al final del libro)

11.1. Actualmente, el precio de una acción es de \$40. Se sabe que al término de un mes será de \$42 o \$38. La tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual con una composición continua. ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a un mes con un precio de ejercicio de \$39?

11.2. Explique las estrategias de no arbitraje y de valuación neutral al riesgo para valuar una opción europea usando un árbol binomial de un paso.

11.3. ¿Qué significa la delta de una opción sobre acciones?

11.4. Actualmente, el precio de una acción es de \$50. Se sabe que al término de seis meses será de \$45 o \$55. La tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual con una composición continua. ¿Cuál es el valor de una opción de venta europea a seis meses con un precio de ejercicio de \$50?

11.5. El precio de una acción es actualmente de \$100. Durante cada uno de los dos siguientes semestres se espera que suba o baje 10%. La tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual con una composición continua. ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a un año con un precio de ejercicio de \$100?

11.6. En la situación considerada en el problema 11.5, ¿cuál es el valor de una opción de venta europea a un año con un precio de ejercicio de \$100? Compruebe que los precios de las opciones de compra y de venta europeas satisfagan la paridad entre opciones de venta y de compra.

11.7. ¿Cuáles son las fórmulas de u y d en términos de volatilidad?

Preguntas y problemas

11.8. Considere la situación en la que un árbol binomial de dos pasos determina las variaciones en el precio de la acción durante la vida de una opción europea. Explique por qué no es posible establecer una posición en la acción y la opción que permanezca libre de riesgo durante toda la vida de la opción.

11.9. El precio actual de una acción es de \$50. Se sabe que al término de dos meses será de \$53 o \$48. La tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual con una composición continua. ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a dos meses con un precio de ejercicio de \$49? Use argumentos de no arbitraje.

11.10. Actualmente, el precio de una acción es de \$80. Se sabe que al término de cuatro meses será de \$75 u \$85. La tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual con una composición continua. ¿Cuál es el valor de una opción de venta europea a cuatro meses con un precio de ejercicio de \$80? Use argumentos de no arbitraje.

11.11. El precio actual de una acción es de \$40. Se sabe que al término de tres meses será de \$45 o \$35. La tasa de interés libre de riesgo con una composición trimestral es de 8% anual. Calcule el valor de una opción de venta europea a tres meses sobre la acción con un precio de ejercicio de \$40. Compruebe que los argumentos de no arbitraje y de valuación neutral al riesgo proporcionen las mismas respuestas.

11.12. Actualmente, el precio de una acción es de \$50. Durante cada uno de los dos siguientes semestres se espera que suba 6% o que baje 5%. La tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual con una composición continua. ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a seis meses con un precio de ejercicio de \$51?

11.13. En la situación considerada en el problema 11.12, ¿cuál es el valor de una opción de venta europea a seis meses con un precio de ejercicio de \$51? Compruebe que los precios de las opciones de compra y de venta europeas satisfagan la paridad entre opciones de venta y de compra. Si la opción de venta fuera americana, ¿sería lo óptimo ejercerla de manera anticipada en alguno de los nodos del árbol?

11.14. El precio de una acción es actualmente de \$25. Se sabe que al término de dos meses será de \$23 o \$27. La tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual con una composición continua. Suponga que S_T es el precio de la acción al término de dos meses. ¿Cuál es el valor de un derivado que proporciona un beneficio de S_T^2 en ese momento?

11.15. Calcule u, d y p cuando se construye un árbol binomial para valuar una opción sobre una divisa. La duración del intervalo del árbol es de un mes, la tasa de interés doméstica es de 5% anual, la tasa de interés extranjera es de 8% anual y la volatilidad es de 12% anual.

Preguntas de tarea

11.16. El precio actual de una acción es de $50. Se sabe que al término de seis meses será de $60 o $42. La tasa de interés libre de riesgo con una composición continua es de 12% anual. Calcule el valor de una opción de compra europea a seis meses sobre la acción con un precio de ejercicio de 48 dólares. Verifique que los argumentos de no arbitraje y de valuación neutral al riesgo proporcionen la misma respuesta.

11.17. Actualmente, el precio de una acción es de $40. Durante cada uno de los dos siguientes trimestres se espera que suba o baje 10%. La tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual con una composición continua.

a. ¿Cuál es el valor de una opción de venta europea a seis meses con un precio de ejercicio de $42?

b. ¿Cuál es el valor de una opción de venta americana a seis meses con un precio de ejercicio de $42?

11.18. Use un método de “ensayo y error” y calcule qué tan alto debe ser el precio de ejercicio en el problema 11.17 para que lo óptimo sea ejercer la opción de venta inmediatamente.

11.19. El precio de una acción es actualmente de $30. Durante cada uno de los dos bimestres de los cuatro meses siguientes aumentará 8% o disminuirá 10%. La tasa de interés libre de riesgo es de 5%. Use un árbol de dos pasos para calcular el valor de un derivado que proporciona un beneficio de $[\max(30 - S_T, 0)]^{-}$, donde S_T es el precio de la acción en cuatro meses. Si el derivado es de estilo americano, ¿debe ejercerse de manera anticipada?

11.20. Considere una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos, cuyo precio es de $40. El precio de ejercicio de la opción es de $40, la tasa de interés libre de riesgo es de 4% anual, la volatilidad es de 30% anual y el tiempo al vencimiento es de seis meses.

a. Calcule u, d y p para un árbol de dos pasos.

b. Valúe la opción usando un árbol de dos pasos.

c. Verifique que el software DerivaGem proporcione la misma respuesta.

d. Use el software DerivaGem para valuar la opción con 5, 50, 100 y 500 intervalos de tiempo.

11.21. Repita el problema 11.20 para una opción de venta americana sobre un contrato de futuros. Tanto el precio de ejercicio como el precio del contrato de futuros es de $50, la tasa de interés libre de riesgo es de 10%, el tiempo al vencimiento es de seis meses y la volatilidad es de 40% anual.

CAPÍTULO 12

Valuación de opciones sobre acciones: modelo Black-Scholes

A principios de la década de 1970, Fischer Black, Myron Scholes y Robert Merton lograron un adelanto importante en la valuación de las opciones sobre acciones,[1] el cual consistió en el desarrollo de lo que se conoce como modelo Black-Scholes o modelo Black-Scholes-Merton. Este modelo ha influido enormemente en la manera en que los negociantes valúan y cubren las opciones; también ha sido fundamental para el crecimiento y éxito de la ingeniería financiera en los últimos 30 años. En 1997 se reconoció la importancia del modelo cuando Myron Scholes y Robert Merton recibieron el premio Nobel de Economía; Fischer Black había fallecido en 1995, e indudablemente también habría sido galardonado con este premio.

En este capítulo presentamos el modelo Black-Scholes para la valuación de opciones de compra y de venta europeas sobre una acción que no paga dividendos, y analizaremos los supuestos en que se basa. Además consideramos con mayor profundidad que en los capítulos anteriores el significado de la volatilidad y mostramos cómo se calcula la volatilidad a partir de datos históricos o está implícita en el precio de las opciones. Al final del capítulo explicamos cómo se aplican los resultados del modelo Black-Scholes a las opciones de compra y de venta europeas sobre acciones que pagan dividendos, y examinamos la valuación de opciones sobre acciones para directivos.

12.1 SUPUESTOS SOBRE LA EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS DE LAS ACCIONES

Un modelo de valuación de opciones sobre acciones debe hacer algunos supuestos sobre la evolución de los precios de las acciones con el paso del tiempo. Si el precio de una acción es de $100.00 el día de hoy, ¿cuál es la distribución de probabilidades del precio en un día, una semana o un año?

El modelo Black-Scholes considera una acción que no paga dividendos y asume que el rendimiento sobre la acción en un periodo corto se distribuye normalmente. Se asume que los rendimientos de dos periodos diferentes no superpuestos son independientes. Definamos:

μ: rendimiento esperado sobre la acción

σ: volatilidad del precio de la acción

[1] Vea F. Black y M. Scholes, “The Pricing of Options and Corporate Liabilities”, *Journal of Political Economy*, 81 (mayo/junio de 1973), pp. 637-59, y R. C. Merton, “Theory of Rational Option Pricing”, *Bell Journal of Economics and Management Science* 4 (primavera de 1973), pp. 141-83.

La media del rendimiento en el tiempo Δt es $\mu\,\Delta t$. La desviación estándar del rendimiento es $\sigma\sqrt{\Delta t}$. Por lo tanto, el supuesto subyacente al modelo Black-Scholes es que

$$\frac{\Delta S}{S} \sim \phi(\mu\,\Delta t, \sigma^2 \Delta t) \tag{12.1}$$

donde ΔS es el cambio en el precio de la acción S en el tiempo Δt y $\phi(m, v)$ indica una distribución normal con la media m y la varianza v. Observe que es la varianza del rendimiento, no su desviación estándar, la que es proporcional a Δt.

Distribución logarítmica normal

El supuesto en la ecuación (12.1) implica que el precio de la acción en cualquier fecha futura tiene una distribución *logarítmica normal*. La figura 12.1 muestra la forma general de una distribución logarítmica normal que contrasta con la distribución normal más conocida de la figura 12.2. En tanto que una variable con una distribución normal puede tener un valor positivo o negativo, una variable que tiene una distribución logarítmica normal sólo puede ser positiva. Una distribución normal es simétrica; una distribución logarítmica normal es asimétrica, con la mediana, la media y la moda diferentes.

Una variable con una distribución logarítmica normal tiene la propiedad de que su logaritmo natural se distribuye normalmente. Por lo tanto, el supuesto de Black-Scholes para los precios de las acciones implica que $\ln S_T$ es normal, donde S_T es el precio de la acción en un tiempo futuro T. Mostramos que la media y la desviación estándar de $\ln S_T$ son

$$\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T \quad \text{y} \quad \sigma\sqrt{T}$$

donde S_0 es el precio actual de la acción. Planteamos este resultado de la manera siguiente

$$\ln S_T \sim \phi\left[\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T,\ \sigma^2 T\right] \tag{12.2}$$

El valor esperado (o media) de S_T es

$$E(S_T) = S_0 e^{\mu T} \tag{12.3}$$

Figura 12.1 Distribución logarítmica normal

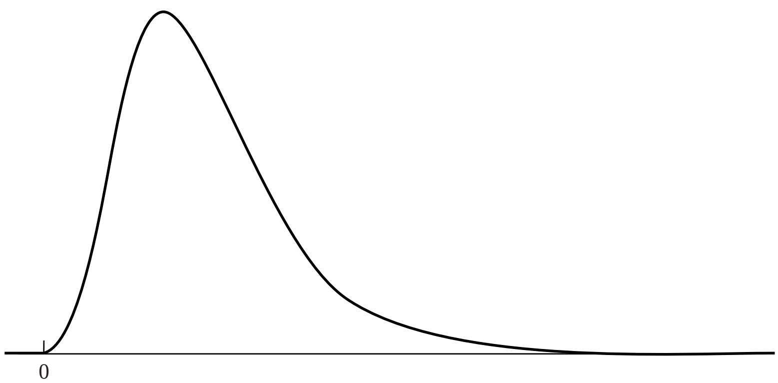
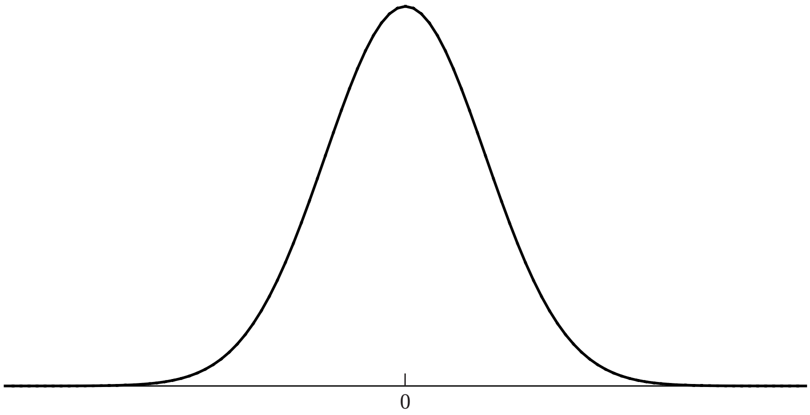


Figura 12.2 Distribución normal



y la varianza de S_T es

$$\text{var}(S_T) = S_0^2 e^{2\mu T}(e^{\sigma^2 T} - 1)$$

El ejemplo 12.1 proporciona una aplicación de estas ecuaciones.

Con base en la ecuación (12.2) y las propiedades de la distribución normal, tenemos

$$\ln S_T - \ln S_0 \sim \phi\left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T,\ \sigma^2 T\right]$$

Ejemplo 12.1 Límites de confianza, media y varianza del precio futuro de una acción

Considere una acción con un precio inicial de \$40, un rendimiento esperado de 16% anual y una volatilidad de 20% anual. Con base en la ecuación (12.2), la distribución de probabilidades del precio de la acción, S_T, en seis meses se obtiene por medio de

$$\ln S_T \sim \phi\left[\ln 40 + \left(0.16 - \frac{0.2^2}{2}\right)0.5,\ 0.2^2 \times 0.5\right] \quad \text{o} \quad \ln S_T \sim \phi(3.759, 0.02)$$

Hay una probabilidad de 95% de que una variable distribuida normalmente tenga un valor dentro de 1.96 desviaciones estándar de su media. En este caso, la desviación estándar es $\sqrt{0.02} = 0.141$. Por consiguiente, con una confianza de 95%, tenemos

$$3.759 - 1.96 \times 0.141 < \ln S_T < 3.759 + 1.96 \times 0.141$$

Esto implica

$$e^{3.759-1.96\times 0.141} < S_T < e^{3.759+1.96\times 0.141} \quad \text{o} \quad 32.55 < S_T < 56.56$$

Por lo tanto, hay una probabilidad de 95% de que el precio de la acción en seis meses esté entre 32.55 y 56.56. La media y la varianza de S_T son

$$40e^{0.16\times 0.5} = 43.33$$

y

$$40^2 e^{2\times 0.16\times 0.5}(e^{0.2\times 0.2\times 0.5} - 1) = 37.93$$

Ejemplo 12.2 Límites de confianza del rendimiento de precio de una acción

Considere una acción con un rendimiento esperado de 17% anual y una volatilidad de 20% anual. La distribución de probabilidades de la tasa de rendimiento (continuamente compuesta) obtenida durante un año es normal, con una media de

$$0.17 - \frac{0.2^2}{2} = 0.15$$

o de 15% y una desviación estándar de 20%. Como hay una probabilidad de 95% de que una variable distribuida normalmente esté entre 1.96 desviaciones estándar de su media, podemos tener una confianza de 95% de que el rendimiento obtenido durante un año esté entre −24.2% y +54.2%.

o

$$\ln \frac{S_T}{S_0} \sim \phi\left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T,\ \sigma^2 T\right] \tag{12.4}$$

Cuando $T = 1$, la expresión $\ln(S_T/S_0)$ es el rendimiento continuamente compuesto que proporciona la acción en un año.[2] Por lo tanto, la media y la desviación estándar del rendimiento continuamente compuesto en un año son $\mu - \sigma^2/2$ y σ, respectivamente. El ejemplo 12.2 muestra cómo se calculan los límites de confianza del rendimiento.

Ahora analizamos con más detalle la naturaleza del rendimiento esperado y del parámetro de volatilidad en el modelo logarítmico normal de valuación de acciones.

12.2 RENDIMIENTO ESPERADO

El rendimiento esperado, μ, que requieren los inversionistas de una acción depende del riesgo de la acción. Cuanto mayor sea el riesgo, mayor será el rendimiento esperado. También depende del nivel de las tasas de interés de la economía. Cuanto más alto sea el nivel de las tasas de interés, mayor será el rendimiento esperado que se requerirá de una acción específica. Por suerte, no tenemos que preocuparnos por los factores determinantes de μ, ya que el valor de una opción sobre acciones, cuando se expresa en términos del valor de la acción subyacente, no depende de μ en absoluto. No obstante, hay un aspecto del rendimiento esperado de una acción que con frecuencia ocasiona confusión, por lo que debe explicarse.

La ecuación (12.1) muestra que $\mu\,\Delta t$ es el cambio porcentual esperado en el precio de la acción en un periodo muy corto, Δt. Con base en esto, es natural asumir que μ es el rendimiento esperado continuamente compuesto sobre la acción durante un periodo más largo. Sin embargo, éste no es el caso. Indique como R el rendimiento continuamente compuesto obtenido realmente durante un periodo con una duración de T años. Esto da

$$S_T = S_0 e^{RT}$$

[2] Como se analizó en el capítulo 4, es importante distinguir entre el rendimiento continuamente compuesto y el rendimiento con una composición anual. El primero es $\ln(S_T/S_0)$; el segundo es $(S_T - S_0)/S_0$.

Panorámica de negocios 12.1 Los rendimientos de fondos de inversión pueden ser engañosos

La diferencia entre μ y $\mu - \sigma^2/2$ se relaciona estrechamente con un problema en el reporte de los rendimientos de fondos de inversión. Suponga que la siguiente es una secuencia de rendimientos anuales reportados por un administrador de fondos de inversión durante los últimos cinco años (medidos con una composición continua): 15%, 20%, 30%, −20%, 25%.

La media aritmética de los rendimientos, calculada sumando los rendimientos y dividiéndolos entre 5, es 14%. No obstante, un inversionista ganaría realmente menos de 14% anual si mantuviera el dinero invertido en el fondo durante cinco años. El valor de \$100 al término de los cinco años sería de

$$100 \times 1.15 \times 1.20 \times 1.30 \times 0.80 \times 1.25 = \$179.40$$

Por el contrario, un rendimiento de 14% con una composición anual daría

$$100 \times 1.14^5 = \$192.54$$

El rendimiento que proporciona \$179.40 al término de cinco años es de 12.4%. Esto se debe a que

$$100 \times (1.124)^5 = 179.40$$

¿Qué rendimiento promedio debe reportar el administrador de fondos? El administrador puede sentirse tentado a afirmar lo siguiente: "El promedio de los rendimientos anuales que hemos obtenido en los últimos cinco años es de 14%". Aunque cierto, esto es engañoso. Es mucho menos erróneo decir: "El rendimiento promedio que obtuvieron las personas que invirtieron con nosotros durante los últimos cinco años ha sido de 12.4% anual". En algunas jurisdicciones, las normas reguladoras exigen que los administradores de fondos reporten los rendimientos de este modo.

Este fenómeno es un ejemplo de un resultado muy conocido por los matemáticos. La media geométrica de una serie de números (no todos iguales) es siempre menor que la media aritmética. En nuestro ejemplo, los multiplicadores de rendimiento cada año son 1.15, 1.20, 1.30, 0.80 y 1.25. La media aritmética de estas cifras es 1.140, pero la media geométrica es sólo 1.124.

de tal manera que

$$R = \frac{1}{T}\ln\frac{S_T}{S_0}$$

La ecuación (12.4) muestra que el valor esperado, $E(R)$, de R es $\mu - \sigma^2/2$.

La razón por la que el rendimiento esperado continuamente compuesto es diferente de μ es sutil, pero importante. Suponga que consideramos muchos periodos muy cortos con una duración Δt. Defina S_i como el precio de la acción al final del i^{mo} intervalo y ΔS_i como $S_{i+1} - S_i$. Bajo los supuestos que hacemos acerca del comportamiento de precios de las acciones (vea la ecuación 12.1), el promedio de los rendimientos sobre la acción en cada intervalo es cercano a μ. En otras palabras, $\mu\,\Delta t$ se aproxima a la media aritmética de $\Delta S_i/S_i$. Sin embargo, el rendimiento esperado durante todo el periodo cubierto por los datos, expresado con un periodo de composición de Δt, se aproxima a $\mu - \sigma^2/2$, no a μ.[3] La Panorámica de negocios 12.1 presenta un ejemplo numérico relacionado con la industria de los fondos de inversión para ilustrar el motivo de esto.

[3] Los argumentos de esta sección muestran que el término "rendimiento esperado" es ambiguo. Se refiere a μ o a $\mu - \sigma^2/2$. A menos que se indique de otro modo, se usará para referirse a μ a lo largo de este libro.

Para una explicación matemática de lo que ocurre, comenzamos con la ecuación (12.3):

$$E(S_T) = S_0 e^{\mu T}$$

Si incorporamos logaritmos, obtenemos

$$\ln[E(S_T)] = \ln(S_0) + \mu T$$

Ahora se trata de establecer $\ln[E(S_T)] = E[\ln(S_T)]$, de modo que $E[\ln(S_T)] - \ln(S_0) = \mu T$, o $E[\ln(S_T/S_0)] = \mu T$, que da lugar a $E(R) = \mu$. Sin embargo, no podemos hacer esto porque ln es una función no lineal. De hecho, $\ln[E(S_T)] > E[\ln(S_T)]$, de modo que $E[\ln(S_T/S_0)] < \mu T$, que da lugar a $E(R) < \mu$. (Como se señaló anteriormente, $E(R) = \mu - \sigma^2/2$).

12.3 VOLATILIDAD

La volatilidad de una acción, σ, es una medida de nuestra incertidumbre sobre los rendimientos que proporciona la acción. Por lo general, las acciones tienen volatilidades entre 15% y 50%.

Con base en la ecuación (12.4), la volatilidad del precio de una acción se define como la desviación estándar del rendimiento proporcionado por la acción en un año, expresado con una composición continua.

Cuando Δt es pequeño, la ecuación (12.1) muestra que $\sigma^2 \Delta t$ es aproximadamente igual a la varianza del cambio porcentual en el precio de la acción en el tiempo Δt. Esto significa que $\sigma\sqrt{\Delta t}$ es aproximadamente igual a la desviación estándar del cambio porcentual en el precio de la acción en el tiempo Δt. Suponga que $\sigma = 0.3$, o 30% anual, y que el precio actual de la acción es de \$50. La desviación estándar del cambio porcentual en el precio de la acción en una semana es aproximadamente

$$30 \times \sqrt{\frac{1}{52}} = 4.16\%$$

Por lo tanto, una variación de una desviación estándar en el precio de la acción en una semana es igual a \$50 × 0.0416, o \$2.08.

Nuestra incertidumbre sobre el precio futuro de una acción, medido por su desviación estándar, aumenta (por lo menos aproximadamente) con la raíz cuadrada de qué tan lejos miramos hacia el futuro. Por ejemplo, la desviación estándar del precio de la acción en cuatro semanas es aproximadamente el doble de la desviación estándar en una semana.

12.4 CÁLCULO DE LA VOLATILIDAD A PARTIR DE DATOS HISTÓRICOS

Se puede utilizar un registro de las variaciones de precio de la acción para calcular la volatilidad. El precio de la acción se observa usualmente a intervalos fijos (por ejemplo, cada día, semana o mes). Definamos:

$n + 1$: número de observaciones

S_i: precio de la acción al final del i^{mo} intervalo, donde $i = 0, 1, \ldots n$

τ: duración del intervalo en años

y calculemos

$$u_i = \ln\left(\frac{S_i}{S_{i-1}}\right)$$

Una estimación, s, de la desviación estándar de u_i se obtiene por medio de

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(u_i - \bar{u})^2}$$

o

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} u_i^2 - \frac{1}{n(n-1)}\left(\sum_{i=1}^{n} u_i\right)^2}$$

donde $\overline{u}$ es la media de u_i.

Con base en la ecuación (12.4), la desviación estándar de u_i es $\sigma\sqrt{\tau}$. Por lo tanto, la variable s es una estimación de $\sigma\sqrt{\tau}$. Se deduce que σ misma puede calcularse como σ, donde

$$\hat{\sigma} = \frac{s}{\sqrt{\tau}}$$

El error estándar de este cálculo es aproximadamente $\sigma/\sqrt{2n}$. El ejemplo 12.3 ilustra la aplicación de estas fórmulas.

Elegir un valor adecuado para n no es fácil. Generalmente, más datos dan lugar a mayor exactitud, pero σ sí cambia con el paso del tiempo y los datos demasiado antiguos pueden no ser relevantes para predecir la volatilidad futura. Un compromiso que parece funcionar razonablemente bien es usar precios de cierre obtenidos de datos diarios de los últimos 90 a 180 días. De manera alternativa, como regla general, podemos establecer n igual al número de días a los que se aplicará la volatilidad. Por lo tanto, si la estimación de la volatilidad se usa para valuar una opción a dos años, se calcula a partir de datos diarios de los últimos dos años.

El análisis anterior asume que la acción no paga dividendos, pero puede adaptarse para acciones que sí los pagan. El rendimiento, u_i, durante un intervalo que incluye un día ex-dividendo se calcula de la siguiente manera

$$u_i = \ln\frac{S_i + D}{S_{i-1}}$$

Ejemplo 12.3 Cálculo de la volatilidad a partir de datos históricos

La tabla 12.1 muestra una posible secuencia de los precios de la acción durante 21 días de negociación consecutivos. En este caso,

$$\sum u_i = 0.09531 \text{ y } \sum u_i^2 = 0.00326$$

y el cálculo de la desviación estándar del rendimiento diario es

$$\sqrt{\frac{0.00326}{19} - \frac{0.09531^2}{380}} = 0.01216$$

o 1.216%. Si asumimos que hay 252 días de negociación por año, $t = 1/252$ y los datos proporcionan una estimación de la volatilidad anual de $0.01216\sqrt{252} = 0.193$ o 19.3%. El error estándar de esta estimación es

$$\frac{0.193}{\sqrt{2 \times 20}} = 0.031$$

o 3.1% anual.

Tabla 12.1 Cálculo de la volatilidad

Día	*Precio de cierre de la acción ($)*	*Precio relativo* S_i/S_{i-1}	*Rendimiento diario* $u_i = \ln(S_i/S_{i-1})$
0	20.00		
1	20.10	1.00500	0.00499
2	19.90	0.99005	−0.01000
3	20.00	1.00503	0.00501
4	20.50	1.02500	0.02469
5	20.25	0.98780	−0.01227
6	20.90	1.03210	0.03159
7	20.90	1.00000	0.00000
8	20.90	1.00000	0.00000
9	20.75	0.99282	−0.00720
10	20.75	1.00000	0.00000
11	21.00	1.01205	0.01198
12	21.10	1.00476	0.00475
13	20.90	0.99052	−0.00952
14	20.90	1.00000	0.00000
15	21.25	1.01675	0.01661
16	21.40	1.00706	0.00703
17	21.40	1.00000	0.00000
18	21.25	0.99299	−0.00703
19	21.75	1.02353	0.02326
20	22.00	1.01149	0.01143

donde D es el monto del dividendo. El rendimiento en otros intervalos de tiempo aún es

$$u_i = \ln \frac{S_i}{S_{i-1}}$$

No obstante, como los factores fiscales participan en la determinación de los rendimientos alrededor de una fecha ex-dividendo, probablemente sea mejor descartar por completo los datos de intervalos que incluyan una fecha ex-dividendo cuando se usen datos diarios o semanales.

Días de negociación frente días naturales

Hay una cuestión importante con respecto a si el tiempo debe medirse en días naturales o días de negociación cuando se calculan y usan parámetros de volatilidad. Como señala la Panorámica de negocios 12.2, la investigación muestra que la volatilidad es mucho mayor cuando la bolsa permanece abierta durante las negociaciones que cuando está cerrada. En consecuencia, los practicantes tienden a ignorar los días cuando la bolsa está cerrada al estimar la volatilidad a partir de datos históricos y al calcular la vida de una opción. La volatilidad anual se calcula a partir de la volatilidad por día de negociación usando la fórmula

$$\text{Volatilidad anual} = \text{Volatilidad por día de negociación} \times \sqrt{\text{Número de días de negociación por año}}$$

Panorámica de negocios 12.2 ¿Qué ocasiona la volatilidad?

Es natural asumir que la nueva información que llega al mercado es la causa de la volatilidad de una acción. Esta nueva información hace que la gente examine sus opiniones acerca del valor de la acción. El precio de la acción cambia y surge la volatilidad. La investigación no apoya este punto de vista sobre las causas de la volatilidad.

Al contar con varios años de datos diarios sobre el precio de las acciones, los investigadores pueden calcular:

1. La varianza de los rendimientos del precio de las acciones entre el cierre de las negociaciones de un día y el del día siguiente, cuando no hay días intermedios sin negociaciones.
2. La varianza de los rendimientos del precio de las acciones entre el cierre de las negociaciones del viernes y el del lunes.

La segunda varianza es la de los rendimientos durante un periodo de tres días. La primera es una varianza durante un periodo de un día. De modo razonable, esperaríamos que la segunda varianza fuera tres veces mayor que la primera. Fama (1965), French (1980) y French y Roll (1986) muestran que éste no es el caso. Estos tres estudios de investigación calculan que la segunda varianza es, respectivamente, 22%, 19% y 10.7% mayor que la primera.

En esta etapa, usted podría sentirse tentado a argumentar que estos resultados tienen su explicación en que llegan más noticias al mercado cuando éste está abierto durante las negociaciones. Sin embargo, la investigación de Roll (1984) no apoya esta explicación. Roll analizó los precios de futuros de jugo de naranja. Hasta ahora, las noticias más importantes para los precios de futuros de jugo de naranja son las que conciernen al clima y estas noticias pueden llegar en cualquier momento. Cuando Roll hizo un análisis semejante al descrito para las acciones descubrió que la segunda varianza (de viernes a lunes) es sólo 1.54 veces mayor que la primera.

La única conclusión razonable que se obtuvo de todo esto es que, en gran medida, la causa de la volatilidad es la negociación misma. (¡En general, los negociantes no tienen dificultad para aceptar esta conclusión!)

Esto es lo que hicimos al calcular la volatilidad con base en los datos de la tabla 12.1. Por lo general se asume que el número de días de negociación en un año es de 252 en el caso de las acciones.

Generalmente, la vida de una opción también se mide usando días de negociación en vez de días naturales y se calcula como T años, donde

$$T = \frac{\text{Número de días de negociación hasta la opción de vencimiento}}{252}$$

12.5 SUPUESTOS SUBYACENTES AL MODELO BLACK-SCHOLES

Los supuestos que hicieron Black y Scholes cuando dedujeron su fórmula para la valuación de opciones fueron los siguientes:

1. El comportamiento del precio de la acción corresponde al modelo logarítmico normal (desarrollado anteriormente en este capítulo), con μ y σ constantes.
2. No hay costos de transacción ni impuestos. Todos los títulos son perfectamente divisibles.
3. No hay dividendos sobre la acción durante la vida de la opción.

4. No hay oportunidades de arbitraje libres de riesgo.
5. La negociación de valores es continua.
6. Los inversionistas pueden adquirir u otorgar préstamos a la misma tasa de interés libre de riesgo.
7. La tasa de interés libre de riesgo a corto plazo, r, es constante.

Otros investigadores han hecho más flexibles algunos de estos supuestos. Por ejemplo, es posible usar variaciones de la fórmula de Black-Scholes cuando r y σ son funciones de tiempo y, como veremos más adelante en este capítulo, la fórmula puede ajustarse para tomar en cuenta los dividendos.

12.6 ARGUMENTO CLAVE DE NO ARBITRAJE

Los argumentos que usaron Black, Scholes y Merton para valuar opciones son similares a los argumentos de no arbitraje que se usaron en el capítulo 11 cuando los cambios en el precio de la acción son binomiales. Se establece una cartera libre de riesgo que consiste en una posición en la opción y una posición en la acción subyacente. Al no haber oportunidades de arbitraje, el rendimiento de la cartera debe ser la tasa de interés libre de riesgo, r. Esto da como resultado una ecuación diferencial que la opción debe resolver.

La razón por la que se puede establecer una cartera libre de riesgo es que el precio de la acción y el precio de la opción reciben la influencia de la misma fuente subyacente de incertidumbre: las variaciones en el precio de la acción. En un periodo corto, el precio de una opción de compra está perfectamente correlacionado de manera positiva con el precio de la acción subyacente; el precio de una opción de venta está perfectamente correlacionado de manera negativa con el precio de la acción subyacente. En ambos casos, cuando se establece una cartera adecuada de la acción y la opción, la ganancia o la pérdida de la posición en la acción siempre compensa la ganancia o la pérdida de la posición en la opción de tal manera que se conoce con certeza el valor general de la cartera al final del periodo corto.

Por ejemplo, suponga que, en determinado momento la relación entre un pequeño cambio en el precio de la acción, ΔS y el pequeño cambio resultante en el precio de una opción de compra europea, Δc, está dada por

$$\Delta c = 0.4\Delta S$$

Esto significa que la pendiente de la línea que representa la relación entre ΔS y ΔS es 0.4, como se indica en la figura 12.3. Una cartera libre de riesgo consistiría en:

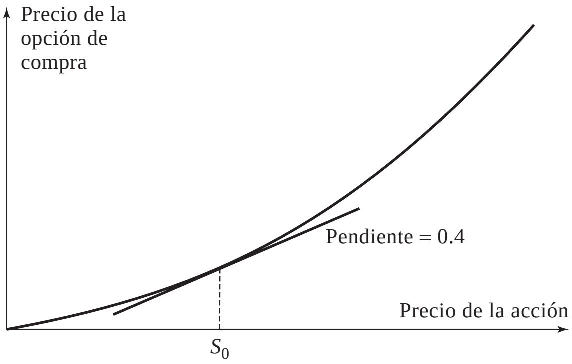
1. Una posición larga en 40 acciones
2. Una posición corta en 100 opciones de compra

Por ejemplo, imagine que el precio de la acción aumenta \$0.10. El precio de la opción aumentará \$0.04 y la ganancia sobre las acciones, de $40 \times 0.10 = \$4$, es igual a la pérdida sobre la posición corta en la opción, de $100 \times 0.04 = \$4$.

Hay una diferencia importante entre este análisis y el que usa un modelo binomial, presentado en el capítulo 11. Aquí, la posición que se establece está libre de riesgo sólo durante un periodo muy corto. (En teoría, permanece libre de riesgos sólo durante un instante). Para que permanezca libre de riesgo debe ajustarse o *reequilibrarse* frecuentemente.[4] Por ejemplo, la relación entre Δc y ΔS podría cambiar de $\Delta c = 0.4\ \Delta S$ el día de hoy a $\Delta c = 0.5\ \Delta S$ en dos semanas. (Si es así, es necesario comprar 0.1 acciones adicionales por cada opción de compra vendida para mantener una

[4] En el capítulo 15 analizaremos con más detalle el reequilibrio de carteras.

Figura 12.3 Relación entre el precio de una opción de compra y el precio de la acción. El precio actual de la acción es S_0



cartera libre de riesgo). No obstante, es cierto que el rendimiento de la cartera libre de riesgo en un periodo corto debe ser la tasa de interés libre de riesgo. Éste es el elemento clave de los argumentos de Black, Scholes y Merton que da lugar a sus fórmulas de valuación.

12.7 FÓRMULAS DE VALUACIÓN DE BLACK-SCHOLES

Las fórmulas de Black-Scholes para calcular los precios de opciones de compra y de venta europeas sobre acciones que no pagan dividendos son[5]

$$c = S_0 N(d_1) - Ke^{-rT} N(d_2) \tag{12.5}$$

$$p = Ke^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \tag{12.6}$$

donde

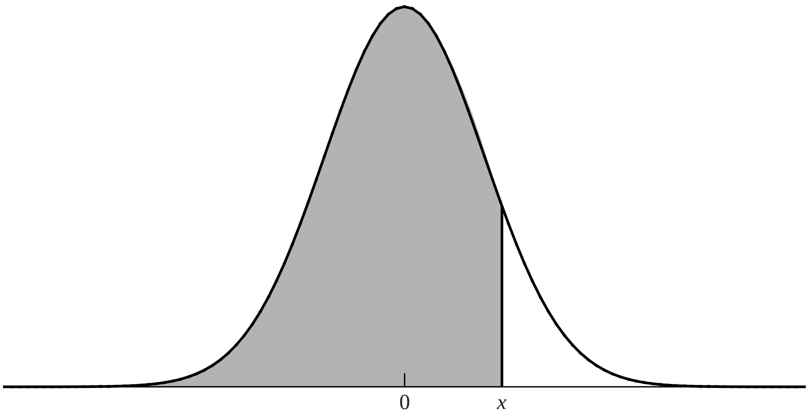
$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

La función $N(x)$ es la función de probabilidad acumulativa para una variable normal estandarizada. En otras palabras, es la probabilidad de que una variable con una distribución normal estándar, $\phi(0, 1)$, sea menor que x. Esto se ilustra en la figura 12.4. La notación restante en las ecuaciones (12.5) y (12.6) ya es conocida. Las variables c y p son los precios de las opciones de compra y de venta europeas, S_0 es el precio de la acción, K es el precio de ejercicio, r es la tasa de interés libre de riesgo (expresada con una composición continua), T es el tiempo al vencimiento y σ es la volatilidad del precio de la acción. Puesto que el precio de la opción de compra americana, C, es igual al precio de la opción de compra europea, c, sobre una acción que no paga dividendos, la ecuación (12.5) también proporciona el precio de una opción de compra americana. No hay una fórmula analítica

[5] El software que se adjunta a este libro puede utilizarse para realizar cálculos basados en el modelo Black-Scholes para valuar opciones sobre acciones, divisas, índices y contratos de futuros.

Figura 12.4 El área sombreada representa $N(x)$



exacta para valuar una opción de venta americana, pero pueden usarse árboles binomiales como los que se presentaron en el capítulo 11.

En teoría, la fórmula de Black-Scholes es correcta sólo si la tasa de interés a corto plazo, r, es constante. En la práctica, la fórmula se usa generalmente estableciendo la tasa de interés, r, igual a la tasa de interés libre de riesgo sobre una inversión que dura el tiempo T.

Propiedades de las fórmulas de Black-Scholes

Una prueba exhaustiva de las fórmulas de Black-Scholes va más allá del propósito de este libro. En esta etapa mostramos que las fórmulas tienen las propiedades generales correctas, analizando lo que ocurre cuando alguno de los parámetros adquiere valores extremos.

Si el precio de la acción, S_0, aumenta demasiado, es casi cierto que se ejerza una opción de compra. Entonces, se vuelve muy similar a un contrato a plazo con un precio de entrega K. Por lo tanto, con base en la ecuación (5.5), esperamos que el precio de la opción de compra sea

$$S_0 - Ke^{-rT}$$

De hecho, éste es el precio de la opción de compra que proporciona la ecuación (12.5) porque, cuando S_0 aumenta demasiado, tanto d_1 como d_2 aumentan mucho y $N(d_1)$ y $N(d_2)$ se aproximan a 1.0.

Cuando el precio de la acción aumenta demasiado, el precio de una opción de venta europea, p, se aproxima a cero. Este resultado concuerda con la ecuación (12.6) porque $N(-d_1)$ y $N(-d_2)$ se aproximan a cero cuando S_0 es grande.

Cuando el precio de la acción disminuye demasiado, tanto d_1 como d_2 aumentan mucho y se vuelven negativos. Eso significa que $N(d_1)$ y $N(d_2)$ están muy próximos a cero y que la ecuación (12.5) proporciona un precio cercano a cero para la opción de compra. Esto es como se esperaba. Además, $N(-d_1)$ y $N(-d_2)$ se aproximan a 1, de manera que el precio de la opción de venta proporcionado por la ecuación (12.6) es cercano a $Ke^{-rT} - S_0$. Así es como también se esperaba.

El ejemplo 12.4 ilustra la aplicación de las ecuaciones (12.5) y (12.6). La única dificultad es el cálculo de la función de distribución normal acumulativa, N. Las tablas de los valores de N se presentan al final de este libro. Esta función también se evalúa usando la función NORMSDIST de Excel. Una aproximación polinómica que proporciona una exactitud hasta de seis lugares decimales es

$$N(x) = \begin{cases} 1 - N'(x)(a_1 k + a_2 k^2 + a_3 k^3 + a_4 k^4 + a_5 k^5) & \text{si } x \geqslant 0 \\ 1 - N(-x) & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

Ejemplo 12.4 Uso de las fórmulas de Black-Scholes

El precio de la acción seis meses antes del vencimiento de una opción es de $42, el precio de ejercicio de la opción es de $40, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual y la volatilidad es de 20% anual. Esto significa que $S_0 = 42$, $K = 40$, $r = 0.1$, $\sigma = 0.2$, $T = 0.5$,

$$d_1 = \frac{\ln(42/40) + (0.1 + 0.2^2/2) \times 0.5}{0.2\sqrt{0.5}} = 0.7693$$

$$d_2 = \frac{\ln(42/40) + (0.1 - 0.2^2/2) \times 0.5}{0.2\sqrt{0.5}} = 0.6278$$

y

$$p = 38.049N(-0.6278) - 42N(-0.7693)$$

Si usamos la aproximación polinómica de la sección 12.6 o las tablas que se presentan al final del libro, obtenemos

$$N(0.7693) = 0.7791, \quad N(-0.7693) = 0.2209$$

$$N(0.6278) = 0.7349, \quad N(-0.6278) = 0.2651$$

de modo que

$$c = 4.76 \text{ y } p = 0.81$$

Si ignoramos el valor del dinero en el tiempo, el precio de la acción debe aumentar $2.76 para que el comprador de la opción de compra termine sin pérdidas. Del mismo modo, el precio de la acción debe bajar $2.81 para que el comprador de la opción de venta termine en el punto de equilibrio.

donde

$$k = \frac{1}{1 + \gamma x}, \quad \gamma = 0.2316419$$

$$a_1 = 0.319381530, \quad a_2 = -0.356563782$$

$$a_3 = 1.781477937, \quad a_4 = -1.821255978 \quad a_5 = 1.330274429$$

y

$$N'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$$

12.8 VALUACIÓN NEUTRAL AL RIESGO

Un resultado muy importante de la valuación de derivados se conoce como valuación neutral al riesgo. Este principio se presentó en el capítulo 11 y se establece de la manera siguiente:

> Cualquier título que depende de otros títulos negociados puede valuarse bajo el supuesto de que los inversionistas son neutrales al riesgo.

Observe que la valuación neutral al riesgo no afirma que los inversionistas son neutrales al riesgo. Lo que sí afirma es que los derivados, como las opciones, pueden valuarse bajo el supuesto de que los inversionistas son neutrales al riesgo. Esto significa que las preferencias de riesgo de los inversionistas no tienen ningún efecto en el valor de una opción sobre una acción cuando éste se expresa en función del precio de una acción subyacente. Explica por qué las ecuaciones (12.5) y (12.6) no incluyen el rendimiento esperado de la acción, μ. La valuación neutral al riesgo es una herramienta muy poderosa porque en un mundo neutral al riesgo se sostienen dos resultados particularmente simples:

1. El rendimiento esperado de todos los activos de inversión es la tasa de interés libre de riesgo.
2. La tasa de interés libre de riesgo es la tasa de descuento adecuada para aplicar a cualquier flujo de efectivo futuro esperado.

Las opciones y otros derivados se valúan con la valuación neutral al riesgo. El procedimiento es el siguiente:

1. Asuma que el rendimiento esperado del activo subyacente es la tasa de interés libre de riesgo r (es decir, asuma que $\mu = r$).
2. Calcule el beneficio esperado.
3. Descuente el beneficio esperado a la tasa de interés libre de riesgo.

Aplicación a los contratos a plazo

Este procedimiento puede usarse para obtener las fórmulas de Black-Scholes, pero las operaciones matemáticas son muy complicadas, por lo que no las presentaremos aquí. En vez de esto, como ejemplo, mostraremos cómo se usa el procedimiento para valuar un contrato a plazo sobre una acción que no paga dividendos. (Este contrato ya se valuó en el capítulo 5 con un método diferente). Haremos el supuesto de que las tasas de interés son constantes e iguales a r.

Considere una posición larga en un contrato a plazo que vence en el tiempo T con un precio de entrega K. El valor del contrato a su vencimiento es

$$S_T - K$$

El valor esperado de S_T se mostró anteriormente en este capítulo como $S_0 e^{\mu T}$. En un mundo neutral al riesgo, se convierte en $S_0 e^{rT}$. Por lo tanto, el beneficio que se espera del contrato a su vencimiento en un mundo neutral al riesgo es

$$S_0 e^{rT} - K$$

Si descontamos a la tasa de interés libre de riesgo r para el tiempo T obtenemos el valor, f, del contrato a plazo el día de hoy

$$f = e^{-rT}(S_0 e^{rT} - K) = S_0 - Ke^{-rT}$$

Esto concuerda con el resultado de la ecuación (5.5).

12.9 VOLATILIDADES IMPLÍCITAS

El único parámetro en las fórmulas de valuación de Black-Scholes que no puede observarse directamente es la volatilidad del precio de la acción. Anteriormente, en este capítulo, vimos cómo se determina la volatilidad a partir de datos históricos del precio de la acción. Ahora mostramos cómo calcular lo que se conoce como *volatilidad implícita*. Ésta es la volatilidad implícita en el precio de una opción observado en el mercado.[6]

Para ilustrar la idea básica, suponga que el valor de una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos es de 1.90 cuando $S_0 = 21$, K $= 20$, $r = 0.1$ y $T = 0.25$. La volatilidad

[6] Las volatilidades implícitas de opciones europeas y americanas sobre acciones, índices bursátiles, divisas y futuros, pueden calcularse con el software DerivaGem proporcionado con este libro.

implícita es el valor de σ que, cuando se sustituye en la ecuación (12.5), da $c = 1.90$. No es posible invertir la ecuación (12.5) de tal manera que σ se exprese en función de S_0, K, r, T y c, pero puede utilizarse un procedimiento de búsqueda repetitiva para determinar la σ implícita. Podríamos comenzar probando con $\sigma = 0.20$. Esto da un valor de c igual a 1.76, que es demasiado bajo. Como c es una función creciente de σ, se requiere un valor más alto de σ. A continuación podríamos probar un valor de 0.30 para σ. Esto da un valor de c igual a 2.10, que es demasiado alto, lo que significa que σ debe estar entre 0.20 y 0.30. Posteriormente probamos un valor de 0.25 para σ. Este valor también es demasiado alto, lo que indica que σ está entre 0.20 y 0.25. Continuando de este modo, podemos dividir en dos el margen de σ en cada repetición y calcular así el valor correcto de σ para obtener cualquier exactitud requerida.[7] En este ejemplo, la volatilidad implícita es 0.242 o de 24.2% anual.

Las volatilidades implícitas se usan para monitorear la opinión del mercado sobre la volatilidad de una acción específica. En tanto que las volatilidades históricas (vea la sección 12.4) “miran hacia el pasado”, las volatilidades implícitas “miran hacia el futuro”. Por lo tanto, no es sorprendente que las predicciones sobre la volatilidad futura de una acción que se basan en volatilidades implícitas tiendan a ser ligeramente mejores que las que se basan en volatilidades históricas.

Los negociantes cotizan con frecuencia la volatilidad implícita de una opción en lugar de su precio. Esto es conveniente porque la volatilidad implícita es menos variable que el precio de la opción. La volatilidad implícita de una opción sí depende de su precio de ejercicio y del tiempo a su vencimiento. Como se explicará en el capítulo 17, los negociantes usan las volatilidades implícitas de opciones negociadas activamente para calcular las volatilidades implícitas adecuadas para otras opciones.

12.10 DIVIDENDOS

Hasta ahora hemos asumido que la acción sobre la que se suscribe la opción no paga dividendos. En la práctica, muchas acciones sí pagan dividendos. Ahora ampliamos nuestros resultados asumiendo que los dividendos pagados sobre la acción durante la vida de una opción pueden pronosticarse con certeza. Cuando las opciones duran periodos relativamente cortos (menos de un año), el supuesto no es exagerado.

Debemos asumir que la fecha en que se paga el dividendo es la fecha ex-dividendo. En esta fecha, el precio de la acción disminuye en el monto del dividendo.[8] El efecto es para reducir el valor de las opciones de compra y aumentar el valor de las opciones de venta.

Opciones europeas

Las opciones europeas se analizan asumiendo que el precio de la acción es la suma de dos componentes: un componente libre de riesgo que se usará para pagar los dividendos conocidos durante la vida de la opción y un componente de riesgo. El componente libre de riesgo en cualquier momento dado es el valor presente de todos los dividendos durante la vida de la opción, descontado desde las fechas ex-dividendo hasta el presente a la tasa de interés libre de riesgo. Entonces, la fórmula de Black-Scholes es correcta si se establece S_0 igual al componente de riesgo. Desde un punto de vista

[7] Este método se presenta como ejemplo. Por lo común, en la práctica se siguen otros procedimientos más eficaces.

[8] Por razones fiscales, el precio de la acción puede disminuir algo menos que el monto en efectivo del dividendo. Para tomar en cuenta este fenómeno necesitamos interpretar la palabra *dividendo* en el contexto de la valuación de opciones como la reducción del precio de la acción en la fecha ex-dividendo ocasionada por el dividendo. Por lo tanto, si se anticipa un dividendo de $1 por acción y el precio de la acción disminuye normalmente 80% del dividendo en la fecha ex-dividendo, se debe suponer que el dividendo será de $0.80 con fines de análisis.

Ejemplo 12.5 Uso de la fórmula de Black-Scholes cuando hay dividendos

Considere una opción de compra europea sobre una acción, con fechas ex-dividendo en dos y cinco meses. Se espera que el dividendo en cada fecha ex-dividendo sea de \$0.50. El precio actual de la acción es de \$40, el precio de ejercicio es de \$40, la volatilidad del precio de la acción es de 30% anual, la tasa de interés libre de riesgo es de 9% anual, y el tiempo al vencimiento es de seis meses. El valor presente del dividendo es

$$0.5e^{-0.09\times 2/12} + 0.5e^{-0.09\times 5/12} = 0.9741$$

Por lo tanto, el precio de la opción se calcula usando la fórmula de Black-Scholes con los datos siguientes: $S_0 = 40 - 0.9741 = 39.0259$, $K = 40$, $r = 0.09$, $\sigma = 0.3$ y $T = 0.5$.

$$d_1 = \frac{\ln(39.0259/40) + (0.09 + 0.3^2/2) \times 0.5}{0.3\sqrt{0.5}} = 0.2017$$

$$d_2 = \frac{\ln(39.0259/40) + (0.09 - 0.3^2/2) \times 0.5}{0.3\sqrt{0.5}} = -0.0104$$

Si usamos la aproximación polinómica obtenemos

$$N(d_1) = 0.5800 \text{ y } N(d_2) = 0.4959$$

y con base en la ecuación (12.5), el precio de la opción de compra es de

$$39.0259 \times 0.5800 - 40e^{-0.09\times 0.5} \times 0.4959 = 3.67$$

o \$3.67.

operativo, esto significa que la fórmula de Black-Scholes puede utilizarse con la condición de que el precio de la acción se reduzca en el valor presente de todos los dividendos durante la vida de la opción, realizando el descuento desde las fechas ex-dividendo a la tasa de interés libre de riesgo. Un dividendo se incluye en los cálculos únicamente si su fecha ex-dividendo ocurre durante la vida de la opción. El ejemplo 12.5 ilustra estos cálculos.

Con este procedimiento, en la fórmula de Black-Scholes, σ debe ser la volatilidad del componente de riesgo del precio de la acción, no la volatilidad del precio mismo de la acción. En la práctica, se asume usualmente que ambas son iguales. En teoría, la volatilidad del componente de riesgo es aproximadamente $S_0/(S_0 - D)$ veces la volatilidad del precio de la acción, donde D es el valor presente de los dividendos restantes y S_0 es el precio de la acción.

Opciones de compra americanas

En el capítulo 9 vimos que las opciones de compra americanas nunca deben ejercerse de manera anticipada cuando la acción subyacente no paga dividendos. Cuando se pagan dividendos, lo óptimo es, en ocasiones, ejercer la opción inmediatamente antes de que la acción llegue a la fecha ex-dividendo. La razón es fácil de entender, pues el dividendo disminuirá el valor tanto de la acción como de la opción de compra. Si el dividendo es bastante grande y la opción de compra está suficientemente *in the money*, puede ser conveniente renunciar al valor restante de la opción en el tiempo para evitar los efectos adversos del dividendo en el precio de la acción.

En la práctica, lo más probable es que las opciones de compra se ejerzan de manera anticipada inmediatamente antes de la última fecha ex-dividendo. El análisis que presenta el Apéndice al final de este capítulo indica la razón de esto y deduce las condiciones bajo las cuales el ejercicio

Ejemplo 12.6 Uso de la aproximación de Black para una opción de compra americana

Suponga que la opción del ejemplo 12.5 es americana en vez de europea. El valor presente del primer dividendo se obtiene por medio de

$$0.5e^{-0.09\times 2/12} = 0.4926$$

El valor de la opción bajo el supuesto de que vence justo antes de la última fecha ex-dividendo, se calcula usando la fórmula de Black-Scholes con los datos siguientes: $S_0 = 40 - 0.4926 = 39.5074$, $K = 40$, $r = 0.09$, $\sigma = 0.30$ y $T = 0.4167$. El valor de la opción es de \$3.52. La aproximación de Black consiste en tomar la cifra mayor entre este valor y el valor de la opción cuando ésta se ejerce únicamente al término de seis meses. Con base en el ejemplo anterior, sabemos que este último valor es de \$3.67. Por lo tanto, la aproximación de Black calcula el valor de la opción de compra americana en \$3.67.

anticipado puede ser lo óptimo. Ahora mencionamos un procedimiento aproximado, sugerido por Fischer Black, para valuar opciones de compra americanas sobre acciones que pagan dividendos.

Aproximación de Black

La aproximación de Black consiste en calcular los precios de dos opciones europeas:

1. Una opción europea que vence al mismo tiempo que la opción americana
2. Una opción europea que vence justo antes de la última fecha ex-dividendo que ocurre durante la vida de la opción

El precio de ejercicio, el precio inicial de la acción, la tasa de interés libre de riesgo y la volatilidad, son iguales a los de la opción bajo consideración. El precio de la opción americana es igual al precio más alto de estas dos opciones europeas. El ejemplo 12.6 ilustra este planteamiento.

12.11 VALUACIÓN DE OPCIONES SOBRE ACCIONES PARA DIRECTIVOS

Presentamos las opciones sobre acciones para directivos en la sección 8.12 y en la Panorámica de negocios 8.3. Éstas son opciones de compra que una empresa otorga sobre su propia acción a sus directivos. Con frecuencia, las opciones duran de 10 a 15 años. Tienen usualmente las siguientes características que las distinguen de las opciones regulares que se negocian en una bolsa o en el mercado over-the-counter.

1. Hay un periodo de adquisición de derechos durante el cual las opciones no pueden ejercerse. Este periodo puede ser hasta de cuatro años.
2. Cuando los directivos se retiran de su empleo (voluntariamente o no) durante el periodo de adquisición de derechos, pierden las opciones no concedidas.
3. Cuando los directivos dejan su empleo (voluntariamente o no) después del periodo de adquisición de derechos, pierden las opciones que están *out of the money* y deben ejercer las opciones que están *in the money* casi inmediatamente.
4. Los directivos no tienen permitido vender las opciones.

5. Cuando un directivo ejerce las opciones, la empresa emite nuevas acciones y las vende al directivo al precio de ejercicio.

La cuarta característica tiene implicaciones importantes. Si el directivo, por cualquier razón, desea obtener un beneficio en efectivo de las opciones que mantiene, debe ejercer las opciones y vender las acciones subyacentes. No puede vender las opciones a otra persona. Esto conduce a la tendencia de que una opción sobre acciones para directivos se ejerza antes que la opción de compra regular correspondiente. Por ejemplo, considere una opción sobre una acción que no paga dividendos. En la sección 9.5 mostramos que, si es una opción de compra regular, nunca debe ejercerse de manera anticipada. (Siempre es mejor para el tenedor vender la opción en vez de ejercerla antes de su vencimiento). Los argumentos que usamos no se aplican a las opciones sobre acciones para directivos porque éstas no pueden venderse. No es raro que las opciones sobre acciones para directivos se ejerzan de manera relativamente anticipada, aunque la acción subyacente no pague dividendos.

Un método rápido que se usa con bastante frecuencia para valuar una opción sobre acciones para directivos utiliza lo que se conoce como la *vida esperada* de la opción, que es el tiempo promedio durante el cual los directivos mantienen la opción antes de que se ejerza o de que llegue a su fecha de vencimiento. La vida esperada puede calcularse en forma aproximada a partir de datos históricos sobre el comportamiento de ejercicio anticipado de los directivos y refleja el periodo de adquisición de derechos, el impacto de los directivos que abandonan la empresa y la tendencia que acabamos de mencionar de que las opciones sobre acciones para directivos se ejerzan antes que las opciones regulares. El método rápido consiste en el uso del modelo de Black-Scholes, estableciendo la vida de la opción, T, igual a la vida esperada. Debemos destacar que el uso de la fórmula de Black-Scholes de este modo no tiene validez teórica. No hay una razón por la que el valor de una opción sobre una acción europea, en la que T es igual a la vida esperada, deba ser aproximadamente similar al valor de la opción sobre acciones para directivos parcialmente americana que nos interesa. Sin embargo, los resultados que proporciona el modelo no son demasiado ilógicos. Cuando las empresas reportan su gasto de opciones sobre acciones para empleados, suelen mencionar la volatilidad y la vida esperada que usan en sus cálculos de Black-Scholes. El ejemplo 12.7 ilustra el método rápido.

Un método más complejo para valuar opciones sobre acciones para directivos consiste en construir un árbol binomial, como se describió en el capítulo 11, y en ajustar las reglas usadas al retroceder a lo largo del árbol para reflejar: a) si la opción se concedió, b) la probabilidad de que el di-

Ejemplo 12.7 El método rápido para valuar opciones de acciones para directivos

Una empresa otorga un millón de opciones a sus directivos el 1 de noviembre de 2006. En esa fecha, el precio de la acción es de \$30 y el precio de ejercicio de las opciones es también de \$30. Las opciones duran 10 años y la adquisición de derechos ocurre después de tres años. La empresa ha emitido opciones similares *at the money* durante los últimos 10 años. En promedio, los empleados han ejercido estas opciones después de 4.5 años. Por lo tanto, la empresa decide usar una vida esperada de 4.5 años. Calcula que la volatilidad a largo plazo del precio de la acción es de 25% usando el método descrito en la sección 12.3 y cinco años de datos históricos. Se calcula que el valor presente de los dividendos durante los próximos 4.5 años es de \$4. La tasa de interés libre de riesgo cupón cero a 4.5 años es de 5%. Por lo tanto, la opción valuada usando el modelo de Black-Scholes (ajustado para los dividendos en la forma descrita en la sección 12.9) y los datos siguientes: $S_0 = 30 - 4 = 26$, $K = 30$, $r = 5\%$, $\sigma = 25\%$ y $T = 4.5$. La fórmula de Black-Scholes proporciona el valor de una opción en \$8.12. Por lo tanto, el gasto reportado en el estado de resultados es igual a $1{,}000{,}000 \times 8.12$ u \$8,120,000.

Panorámica de negocios 12.3 Opciones sobre acciones para directivos y dilución

Considere una empresa con 100,000 acciones, cada una con un valor de $50. Esta empresa sorprende al mercado con un anuncio de que está otorgando a sus empleados 100,000 opciones sobre acciones, con un precio de ejercicio de $50 y un periodo de adquisición de derechos de tres años. Si el mercado considera que los accionistas obtendrán poco beneficio de las opciones sobre acciones para empleados en forma de salarios reducidos y gerentes más motivados, el precio de la acción disminuirá inmediatamente después del anuncio de estas opciones. Si el precio de la acción disminuye a $45, el costo de dilución para los accionistas actuales es de $5 por acción o $500 000 en total.

Suponga que a la empresa le va bien durante el periodo de adquisición de derechos, de tal manera que al término de éste el precio por acción es de $100. Además, suponga que todas las opciones se ejercen en este momento. El beneficio para los empleados es de $50 por opción. Es tentador argumentar que habrá una mayor dilución, ya que las 100,000 acciones con un valor de $100 por acción se combinan ahora con 100,000 acciones por las que se paga sólo $50, de modo que: a) el precio por acción se reduce a $75 y b) el beneficio para los tenedores de opciones es de sólo $25 por opción. Sin embargo, este argumento es erróneo. El mercado anticipa el ejercicio de las opciones, el cual ya se refleja en el precio por acción. El beneficio obtenido de cada opción ejercida es de $50.

Este ejemplo ilustra la cuestión general de que, cuando los mercados son eficientes, el impacto de la dilución de las opciones sobre acciones para directivos o de los warrants se refleja en el precio de la acción tan pronto como se anuncian, por lo que no es necesario tomarlos en cuenta nuevamente al valuar las opciones.

rectivo abandone la empresa y c) la probabilidad de que el directivo decida ejercer la opción en diferentes circunstancias.[9] Los términos de la opción definen si la opción se concedió (y, por lo tanto, puede ejercerse) en diferentes nodos del árbol. Los datos históricos sobre las tasas de rotación de empleados se usan para calcular la probabilidad de que la opción se ejerza prematuramente o que se pierda el derecho a ejercerla en un nodo porque el directivo deja la empresa. La probabilidad de que el directivo decida ejercer la opción en diferentes nodos del árbol es más difícil de cuantificar. Evidentemente, esta probabilidad aumenta a medida que se incrementa la relación entre el precio de la acción y el precio de ejercicio y conforme disminuye el tiempo al vencimiento de la opción, pero la manera en que esto ocurre se estima sólo de manera aproximada a partir de datos históricos.

Una forma de valuar una opción sobre acciones para directivos consiste en ver cuánto paga el mercado por ella. En enero de 2007, la SEC aprobó este método; específicamente, un sistema basado en subastas desarrollado por Zions Bancorp. Los títulos subastados proporcionan beneficios semejantes a los que obtienen realmente los directivos. Suponga que el precio de ejercicio de una concesión específica para directivos es de $40 y que 1% de los directivos ejerce las opciones exactamente después de cinco años, cuando el precio de la acción es de $60. Entonces, 1% de los títulos subastados proporcionará un beneficio de $20 después de cinco años.

El hecho de que la empresa emita nuevas acciones cuando se ejerce la opción ocasiona cierta dilución de los tenedores accionarios, ya que se venden nuevas acciones a directivos a un precio más bajo que el precio actual de la acción. Es natural asumir que esta dilución ocurre al mo-

[9] Un modelo sencillo, en este sentido, se presenta en J. Hull y A. White, “How to Value Employee stock Options”, *Financial Analysts Journal*, 60, 1 (enero/febrero de 2004), 114-19.

mento de ejercer la opción. Sin embargo, esto no es así, ya que los precios de las acciones se diluyen cuando el mercado escucha por primera vez acerca de la concesión de una opción sobre acciones. Cuando los mercados son eficientes, se anticipa el posible ejercicio de las opciones y se refleja en el precio de la acción. Éste es el tema que aborda la Panorámica de negocios 12.3. Esta misma cuestión se aplica a la dilución que ocurre cuando se emiten warrants o convertibles (vea la sección 8.12).

Como se mencionó en la Panorámica de negocios 8.2, las normas de contabilidad de muchos países requieren ahora que las opciones se valúen en la fecha de concesión y que el valor se registre como un gasto en el estado de resultados de ese año. No se requiere una valuación en fechas posteriores. Se puede argumentar que las opciones deben revaluarse al término de cada año financiero hasta que se ejerzan o lleguen al término de sus vidas.[10] Esto les daría un trato similar al de otras transacciones de derivados. Si la opción aumentara su valor de un año a otro, habría un cargo adicional al estado de resultados. No obstante, si disminuyera en valor, parte del monto reflejado anteriormente como gastos se recuperaría y tendría un impacto positivo en el ingreso. Este método tendría muchas ventajas. El costo acumulativo para la empresa reflejaría el costo real de las opciones (igual a cero si las opciones no se ejercen o el beneficio de las opciones si se ejercen). Aunque el costo en cualquier año dependería del modelo de valuación de opciones utilizado, esto no sería así con el costo acumulativo durante la vida de la opción. Además, la empresa tendría muchos menos incentivos para antedatar ilegalmente las emisiones de opciones en la forma descrita en Panorámica de negocios 8.3. La desventaja citada usualmente por llevar la contabilidad de este modo es que introduce una volatilidad innecesaria en el estado de resultados.[11]

RESUMEN

El supuesto usual en la valuación de opciones sobre acciones es que el precio de una acción en alguna fecha futura, dado su precio el día de hoy, es logarítmicamente normal. A su vez, esto implica que el rendimiento continuamente compuesto de la acción en el periodo se distribuye normalmente. Nuestra incertidumbre sobre los precios futuros de las acciones aumenta conforme miramos más lejos hacia el futuro. Podemos decir, de manera aproximada, que la desviación estándar del precio de la acción es proporcional a la raíz cuadrada de qué tan lejos miramos hacia el futuro.

Para calcular empíricamente la volatilidad, σ, del precio de una acción, necesitamos observar el precio de la acción a intervalos fijos (por ejemplo, cada día, semana o mes). Para cada periodo, se calcula el logaritmo natural de la relación entre el precio de la acción al final del periodo y el precio de la acción al inicio del periodo. La volatilidad se determina como la desviación estándar de estas cifras, dividida entre la raíz cuadrada de la duración del periodo en años. Por lo general, se ignora el momento en que las bolsas permanecen cerradas cuando se mide el tiempo con el objetivo de calcular la volatilidad.

La valuación de opciones sobre acciones implica establecer una posición libre de riesgo en la opción y la acción. Como el precio de la acción y el precio de la opción dependen de la misma fuente subyacente de incertidumbre, esta posición siempre se logra. La posición permanece libre de riesgo sólo durante un periodo muy corto. Sin embargo, el rendimiento sobre una posición libre de riesgo debe ser siempre la tasa de interés libre de riesgo si no hay oportunidades de arbitraje. Este hecho permite que el precio de la opción se valúe en términos del precio de la acción. La ecuación

[10] Vea J. Hull y A. White, "Accounting for Employee Stock Options: A Practical Approach to Handling the Valuation Issues", *Journal of Derivatives Accounting*, 1, 1 (2004), pp. 3-9.

[11] De hecho, éste puede no ser el caso. Posiblemente, el estado de resultados será menos volátil. Cuando a la empresa le va bien, el ingreso se reduce al revaluar las opciones sobre acciones para directivos con relación al mercado. Cuando a la empresa le va mal, aumenta.

original de Black-Scholes proporciona el valor de una opción de compra o de venta europea sobre una acción que no paga dividendos en términos de cinco variables: el precio de la acción, el precio de ejercicio, la tasa de interés libre de riesgo, la volatilidad y el tiempo al vencimiento.

Sorprendentemente, el rendimiento esperado sobre la acción no se incluye en la ecuación de Black-Scholes. Hay un principio general conocido como valuación neutral al riesgo, el cual establece que cualquier título que depende de otros títulos negociados puede valuarse bajo el supuesto de que el mundo es neutral al riesgo. El resultado demuestra ser muy útil en la práctica. En un mundo neutral al riesgo, el rendimiento esperado de todos los títulos es la tasa de interés libre de riesgo, y la tasa de descuento correcta para los flujos de efectivo esperados también es la tasa de interés libre de riesgo.

Una volatilidad implícita es aquella que cuando se sustituye en la ecuación de Black-Scholes o en sus ampliaciones, proporciona el precio de mercado de la opción. Los negociantes monitorean las volatilidades implícitas y cotizan, con frecuencia, la volatilidad implícita de una opción más que su precio. Han desarrollado procedimientos para usar las volatilidades implícitas por los precios de opciones activamente negociadas para calcular las volatilidades adecuadas para otras opciones.

Los resultados del modelo de Black-Scholes pueden aplicarse a opciones de compra y de venta europeas sobre acciones que pagan dividendos. Un procedimiento es usar la fórmula de Black-Scholes con el precio de la acción reducido en el valor presente de los dividendos anticipados durante la vida de la opción y la volatilidad igual a la volatilidad del precio de la acción neto del valor presente de estos dividendos. Fischer Black sugirió una manera aproximada de valuar las opciones de compra americanas sobre una acción que paga dividendos. Este método consiste en establecer el precio más alto de dos opciones europeas. La primera opción europea vence al mismo tiempo que la opción americana; la segunda vence inmediatamente antes de la última fecha ex-dividendo.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Sobre la fórmula de Black-Scholes y sus ampliaciones

Black, F. "Fact and Fantasy in the Use of Options and Corporate Liabilities", *Financial Analysts Journal*, 31 (julio/agosto de 1975), pp. 36-41, 61-72.

Black, F. "How We Came Up with the Option Pricing Formula", *Journal of Portfolio Management*, 15, 2 (1989), pp. 4-8.

Black, F. y M. Scholes. "The Pricing of Options and Corporate Liabilities", *Journal of Political Economy*, 81 (mayo-junio de 1973), pp. 637-59.

Hull, J. *Options, Futures, and Other Derivatives*. 6a. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006.

Merton, R. C. "Theory of Rational Option Pricing", *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4 (primavera de 1973), pp. 141-83.

Sobre las causas de la volatilidad

Fama, E.F. "The Behavior of Stock Market Prices", *Journal of Business*, 38 (enero de 1965), pp. 34-105.

French, K.R. "Stock Returns and the Weekend Effect", *Journal of Financial Economics*, 8 (marzo de 1980), pp. 55-69.

French, K.R. y R. Roll. "Stock Return Variances: The Arrival of Information and the Reaction of Traders", *Journal of Financial Economics*, 17 (septiembre de 1986), pp. 5-26.

Roll, R. "Orange Juice and Weather", *American Economic Review*, 74, 5 (diciembre de 1984), pp. 861-80.

Examen (respuestas al final del libro)

12.1. ¿Qué asume el modelo de Black-Scholes de valuación de opciones sobre acciones acerca de la distribución de probabilidades del precio de una acción en un año? ¿Qué asume acerca de la tasa de rendimiento continuamente compuesta sobre la acción durante el año?

12.2. La volatilidad del precio de una acción es de 30% anual. ¿Cuál es la desviación estándar del cambio porcentual en el precio de la acción en un día de negociación?

12.3. Explique cómo podría usarse la valuación neutral al riesgo para obtener las fórmulas de Black-Scholes.

12.4. Calcule el precio de una opción de venta europea a tres meses sobre una acción que no paga dividendos con un precio de ejercicio de $50 cuando el precio actual de la acción es de $50, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual y la volatilidad es de 30% anual.

12.5. ¿Cómo difieren sus cálculos a la pregunta anterior si se espera un dividendo de $1.50 en dos meses?

12.6. ¿Qué significa volatilidad implícita? ¿Cómo calcularía la volatilidad implícita en el precio de una opción de venta europea?

12.7. ¿Qué es la aproximación de Black para valuar una opción de compra americana sobre una acción que paga dividendos?

Preguntas y problemas

12.8. El precio de una acción es actualmente de $40. Asuma que el rendimiento esperado sobre la acción es de 15% y su volatilidad es de 25%. ¿Cuál es la distribución de probabilidades de la tasa de rendimiento, con una composición continua, obtenida durante un periodo de un año?

12.9. El precio de una acción tiene un rendimiento esperado de 16% y una volatilidad de 35%. Su precio actual es de $38.

a. ¿Cuál es la probabilidad de que se ejerza una opción de compra europea sobre la acción con un precio de ejercicio de $40 y una fecha de vencimiento en seis meses?

b. ¿Cuál es la probabilidad de que se ejerza una opción de venta europea sobre la acción con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento?

12.10. Demuestre que, con la notación del capítulo, un intervalo de confianza de 95% para S_T está entre

$$S_0e^{(\mu-\sigma^2/2)T-1.96\sigma\sqrt{T}} \quad \text{y} \quad S_0e^{(\mu-\sigma^2/2)T+1.96\sigma\sqrt{T}}$$

12.11. Un administrador de cartera anuncia que el promedio de los rendimientos obtenidos en cada uno de los últimos 10 años es de 20% anual. ¿En qué sentido es errónea esta afirmación?

12.12. Asuma que una acción que no paga dividendos tiene un rendimiento esperado de μ y una volatilidad de σ. Una institución financiera innovadora acaba de anunciar que negociará un derivado que paga un monto en dólares igual a

$$\frac{1}{T}\ln\left(\frac{S_T}{S_0}\right)$$

en el tiempo T. Las variables S_0 y S_T indican los valores del precio de la acción en el tiempo cero y en el tiempo T.

a. Describa el beneficio de este derivado.

b. Use la valuación neutral al riesgo para calcular el precio del derivado en tiempo cero.

12.13. ¿Cuál es el precio de una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $52, el precio de ejercicio es de $50, la tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual, la volatilidad es de 30% anual y el tiempo al vencimiento es de tres meses?

12.14. ¿Cuál es el precio de una opción de venta europea sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $69, el precio de ejercicio es de $70, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual, la volatilidad es de 35% anual y el tiempo al vencimiento es de seis meses?

12.15. Una opción de compra sobre una acción que no paga dividendos tiene un precio de mercado de $2.50. El precio de la acción es de $15, el precio de ejercicio es de $13, el tiempo al vencimiento es de tres meses y la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual. ¿Qué es la volatilidad implícita?

12.16. Muestre que la fórmula de Black-Scholes para una opción de compra proporciona un precio que tiende a $\max(S_0 - K, 0)$ a medida que $T \to 0$.

12.17. Explique con detalle por qué la aproximación de Black para evaluar una opción de compra americana sobre una acción que paga dividendos puede dar una respuesta aproximada aunque sólo se anticipe un dividendo. La respuesta proporcionada por la aproximación de Black, ¿subestima o sobreestima el verdadero valor de la opción? Explique su respuesta.

12.18. Considere una opción de compra americana sobre una acción. El precio de la acción es de $70, el tiempo al vencimiento es de ocho meses, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual, el precio de ejercicio es de $65 y la volatilidad es de 32%. Se espera un dividendo de $1 después de tres meses y nuevamente después de seis meses. Use los resultados del Apéndice para mostrar que nunca es lo óptimo ejercer la opción en cualquiera de las dos fechas de dividendos. Utilice el software DerivaGem para calcular el precio de la opción.

12.19. Actualmente, el precio de una acción es de $50 y la tasa de interés libre de riesgo es de 5%. Use el software DerivaGem para traducir la siguiente tabla de opciones de compra europeas sobre la acción en una tabla de volatilidades implícitas, asumiendo que la acción no paga dividendos. ¿Son congruentes los precios de las opciones con los supuestos subyacentes al modelo de Black-Scholes?

	Vencimiento (meses)		
Precio de ejercicio ($)	*3*	*6*	*12*
45	7.00	8.30	10.50
50	3.50	5.20	7.50
55	1.60	2.90	5.10

12.20. Muestre que las fórmulas de Black-Scholes para opciones de compra y de venta satisfacen la paridad entre opciones de venta y de compra.

12.21. Muestre que la probabilidad de que una opción de compra europea se ejerza en un mundo neutral al riesgo es $N(d_2)$, con la notación presentada en este capítulo. ¿Cuál es una expresión para el valor de un derivado que proporciona un beneficio de $100 si el precio de una acción en el tiempo T es mayor que K?

12.22. Las notas incluidas en los estados financieros de una empresa dicen: “nuestras opciones sobre acciones para directivos duran 10 años y se conceden después de 4 años. Valuamos las opciones otorgadas este año usando el modelo de Black-Scholes con una vida esperada de 5 años y una volatilidad de 20%”. ¿Qué significa esto? Analice el modelo que utilizó la empresa.

Preguntas de tarea

12.23. El precio de una acción es actualmente de $50. Asuma que el rendimiento esperado sobre la acción es de 18% anual y su volatilidad es de 30% anual. ¿Cuál es la distribución de probabilidades para el precio de la acción en dos años? Calcule la media y la desviación estándar de la distribución. Determine el intervalo de confianza de 95%.

12.24. Suponga que las observaciones sobre el precio de una acción (en dólares) al final de cada una de 15 semanas consecutivas son las siguientes:

30.2, 32.0, 31.1, 30.1, 30.2, 30.3, 30.6, 33.0, 32.9, 33.0, 33.5, 33.5, 33.7, 33.5, 33.2

Determine la volatilidad del precio de la acción. ¿Cuál es el error estándar de su cálculo?

12.25. Una institución financiera planea ofrecer un derivado que paga un monto en dólares igual a S_T^2 en el tiempo T, donde S_T es el precio de la acción en el tiempo T. Asuma que la acción no paga dividendos. Defina otras variables según sea necesario y use la valuación neutral al riesgo para calcular el precio del derivado en el tiempo cero. (*Sugerencia*: el valor esperado de S_T^2 puede calcularse a partir de la media y la varianza de S_T presentadas en la sección 12.1).

12.26. Considere una opción sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de $30, el precio de ejercicio es de $29, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual, la volatilidad es de 25% anual y el tiempo al vencimiento es de cuatro meses.

a. ¿Cuál es el precio de la opción si es una opción de compra europea?

b. ¿Cuál es el precio de la opción si es una opción de compra americana?

c. ¿Cuál es el precio de la opción si es una opción de venta europea?

d. Compruebe que se sostenga la paridad entre opciones de venta y de compra.

12.27. Asuma que la fecha ex-dividendo de la acción presentada en el problema 12.26 deberá ocurrir en 1.5 meses. El dividendo esperado es de $0.50.

a. ¿Cuál es el precio de la opción si es una opción de compra europea?

b. ¿Cuál es el precio de la opción si es una opción de venta europea?

c. Use los resultados del Apéndice de este capítulo para determinar si hay alguna circunstancia bajo la cual la opción se ejerza anticipadamente.

12.28. Considere una opción de compra americana cuando el precio de la acción es de $18, el precio de ejercicio es de $20, el tiempo al vencimiento es de seis meses, la volatilidad es de 30% anual y la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual. Se esperan dos dividendos iguales de $0.40 durante la vida de la opción, con fechas ex-dividendo al término de dos y cinco meses. Use la aproximación de Black y el software DerivaGem para valuar la opción. Ahora, suponga que el dividendo es D en cada fecha ex-dividendo. Utilice los resultados del Apéndice para determinar qué tan grande puede ser D sin que la opción americana se ejerza anticipadamente.

APÉNDICE

El ejercicio anticipado de opciones de compra americanas sobre acciones que pagan dividendos

En el capítulo 9 vimos que no es lo óptimo ejercer una opción de compra americana sobre una acción que no paga dividendos antes de la fecha de vencimiento. Un argumento similar muestra que las únicas ocasiones en las que debe ejercerse una opción de compra sobre una acción que paga dividendos son inmediatamente antes de una fecha ex-dividendo y en la fecha de vencimiento. Asumimos que se anticipan n fechas ex-dividendo y que ocurren en las fechas t_1, t_2,... t_n, siendo $t_1 < t_2 < ... < t_n$. Los dividendos se indicarán como D_1, D_2,... D_n, respectivamente.

Comenzaremos considerando la posibilidad de un ejercicio anticipado inmediatamente antes de la última fecha ex-dividendo (es decir, en la fecha t_n). Si la opción se ejerce en la fecha t_n, el inversionista recibe

$$S(t_n) - K$$

donde $S(t)$ representa el precio de la acción en la fecha t.

Si la opción no se ejerce, el precio de la acción baja a $S(t_n) - D_n$. Como se muestra en el capítulo 9, un límite inferior para el precio de la opción es entonces de

$$S(t_n) - D_n - Ke^{-r(T-t_n)}$$

Se deduce que si

$$S(t_n) - D_n - Ke^{-r(T-t_n)} \geqslant S(t_n) - K$$

es decir,

$$D_n \leqslant K(1 - e^{-r(T-t_n)}) \tag{12A.1}$$

puede no ser lo óptimo ejercer la opción en la fecha t_n. Por otro lado, si

$$D_n > K(1 - e^{-r(T-t_n)}) \tag{12A.2}$$

se muestra que lo óptimo siempre es ejercer la opción en la fecha t_n para obtener un valor suficientemente alto de $S(t_n)$. Lo más probable es que la desigualdad de la ecuación (12A.2) se satisfaga cuando la última fecha ex-dividendo esté muy próxima al vencimiento de la opción (es decir, cuando $T - t_n$ sea corto) y el dividendo sea grande.

A continuación, considere la fecha t_{n-1}, es decir, la penúltima fecha ex-dividendo. Si la opción se ejerce inmediatamente antes de la fecha t_{n-1}, el inversionista recibe

$$S(t_{n-1}) - K$$

Si la opción no se ejerce en la fecha t_{n-1}, el precio de la acción baja a $S(t_{n-1}) - D_{n-1}$ y la fecha subsiguiente más temprana a la que podría realizarse el ejercicio es t_n. Un límite inferior para el precio de la opción si ésta no se ejerce en la fecha t_{n-1} es

$$S(t_{n-1}) - D_{n-1} - Ke^{-r(t_n-t_{n-1})}$$

Se deduce que si

$$S(t_{n-1}) - D_{n-1} - Ke^{-r(t_n-t_{n-1})} \geqslant S(t_{n-1}) - K$$

Ejemplo 12.8 Prueba para saber si una opción de compra debe ejercerse alguna vez de manera anticipada

El ejemplo 12.6 considera una opción de compra americana en la que $S_0 = 40$, $K = 40$, $r = 0.09$, $\sigma = 0.30$, $t_1 = 0.1667$, $t_2 = 0.4167$, $T = 0.5$, $D_1 = D_2 = 0.5$, de modo que

$$K(1 - e^{-r(t_2-t_1)}) = 40(1 - e^{-0.09\times 0.25}) = 0.89$$

Como esta cifra es mayor a 0.5, se deduce, a partir de la ecuación (12A.3), que la opción nunca debe ejercerse en la primera fecha ex-dividendo. Además,

$$K(1 - e^{-r(T-t_2)}) = 40(1 - e^{-0.09\times 0.08333}) = 0.30$$

Como esta cifra es menor a 0.5, se deduce, a partir de la ecuación (12A.1), que cuando la opción está suficientemente *in the money* debe ejercerse en la segunda fecha ex-dividendo.

o

$$D_{n-1} \leqslant K(1 - e^{-r(t_n-t_{n-1})})$$

no es lo óptimo ejercer la opción en la fecha t_{n-1}. Del mismo modo, para cualquier $i < n$, si

$$D_i \leqslant K(1 - e^{-r(t_{i+1}-t_i)}) \qquad \textbf{(12A.3)}$$

no es lo óptimo ejercer la opción inmediatamente antes de la fecha t_i. El ejemplo 12.8 ilustra el uso de estos resultados.

La desigualdad de la ecuación (12A.3) es aproximadamente equivalente a

$$D_i \leqslant Kr(t_{i+1} - t_i)$$

Si asumimos que K se aproxima mucho al precio actual de la acción, el rendimiento de dividendos sobre la acción debe aproximarse o ser mayor que la tasa de interés libre de riesgo para que la desigualdad no se satisfaga.

Con base en este análisis podemos concluir que, en muchas circunstancias, la fecha más probable para el ejercicio anticipado de una opción de compra americana es la última fecha ex-dividendo, t_n. Además, si se sostiene la desigualdad de la ecuación (12A.3) para $i = 1, 2,... n - 1$, y también se sostiene la desigualdad de la ecuación (12A.1), entonces podemos tener la certeza de que el ejercicio anticipado nunca es lo óptimo.

CAPÍTULO 13

Opciones sobre índices bursátiles y divisas

Las opciones sobre índices bursátiles y divisas se presentaron en el capítulo 8. En este capítulo las analizamos con más detalle, explicamos cómo funcionan y revisamos algunas formas de usarlas. En la segunda mitad del capítulo, los resultados de valuación se aplican a las opciones europeas sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos conocido. Se argumenta luego que tanto los índices bursátiles como las divisas son similares a las acciones que pagan rendimientos de dividendos. Esto permite que los resultados para las opciones sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos también se apliquen a estos tipos de opciones.

13.1 OPCIONES SOBRE ÍNDICES BURSÁTILES

Varias bolsas negocian opciones sobre índices bursátiles. Algunos de los índices vigilan el movimiento del mercado en general. Otros se basan en el desempeño de un sector específico (por ejemplo, tecnología de cómputo, petróleo y gas, transporte o telecomunicaciones). Entre las opciones sobre índices que se negocian en la Bolsa de Opciones de Chicago hay opciones americanas y europeas sobre el índice S&P 100 (OEX y XEO), opciones europeas sobre el índice S&P 500 (SPX), opciones europeas sobre el Promedio Industrial Dow Jones (DJX), y opciones europeas sobre el índice Nasdaq 100 (NDX). En el capítulo 8 explicamos que la CBOE negocia LEAPS y opciones flexibles sobre acciones individuales. Incluso ofrece estos productos de opciones sobre índices.

Un contrato de opción sobre un índice se establece 100 veces sobre el índice. (Observe que el índice Dow Jones que se usa para las opciones sobre índices es 0.01 veces el índice Dow Jones que se cotiza usualmente). Las opciones sobre índices se establecen en efectivo. Esto significa que, al ejercicio de la opción, el tenedor del contrato de una opción de compra recibe $(S - K) \times 100$ en efectivo y el suscriptor de la opción paga este monto en efectivo, donde S es el valor del índice al cierre de la negociación del día de ejercicio, y K es el precio de ejercicio. Del mismo modo, el tenedor de un contrato de opción de venta recibe $(K - S) \times 100$ en efectivo y el suscriptor de la opción paga este monto en efectivo.

Seguro de cartera

Los administradores de cartera pueden usar opciones sobre índices para limitar su riesgo de disminución de valor. Suponga que el valor de un índice el día de hoy es S_0. Considere a un administrador a cargo de una cartera bien diversificada cuya beta es 1.0. Una beta de 1.0 implica que los rendimientos de la cartera son similares a los del índice. Si asumimos que el rendimiento de dividendos de la cartera es igual al rendimiento de dividendos del índice, podemos esperar que los cambios porcentuales en el valor de la cartera sean aproximadamente iguales a los cambios en el valor del índice. Cada contrato sobre el índice S&P 500 se establece sobre este índice multiplicado por 100. Se deduce que el valor de la cartera está protegida contra la posibilidad de que el índice caiga por debajo de K si, por cada $100S_0$ dólares en la cartera, el administrador compra un contrato de opción de venta con un precio de ejercicio K. Suponga que la cartera del administrador vale $500,000 y que el valor del índice es de 1,000. La cartera vale 500 veces el índice. El administrador puede obtener un seguro contra la caída del valor de la cartera por debajo de $450,000 en los tres meses siguientes, por medio de la compra de cinco contratos de opción de venta a tres meses con un precio de ejercicio de 900.

Para ilustrar cómo funciona el seguro, considere una situación en la que el índice cae a 880 en tres meses. La cartera valdrá alrededor de $440,000. El beneficio de las opciones será de $5 \times (900 - 880) \times 100 = \$10,000$, incrementando el valor total de la cartera hasta el valor asegurado de $450,000 (vea el ejemplo 13.1).

Cuando la beta de la cartera no es 1.0

Si la beta de la cartera (β) no es 1.0, deben comprarse opciones de venta β por cada $100S_0$ dólares en la cartera, donde S_0 es el valor actual del índice. Suponga que la cartera de $500,000 que acabamos de considerar tiene una beta de 2.0 en vez de 1.0. Continuemos asumiendo que el índice S&P 500 es de 1,000. El número de opciones de venta requeridas es de

$$2.0 \times \frac{500{,}000}{1{,}000 \times 100} = 10$$

en lugar de las 5 anteriores.

Para calcular el precio de ejercicio adecuado se usa el modelo de valuación de activos de capital. Suponga que la tasa de interés libre de riesgo es de 12%, el rendimiento de dividendos sobre el índice y la cartera es de 4% y se requiere protección contra una disminución del valor de la cartera por debajo de $450,000 en los tres meses siguientes. Con el modelo de valuación de activos de capital, se asume que el rendimiento adicional esperado de una cartera sobre la tasa de interés libre

Tabla 13.1 Cálculo del valor esperado de una cartera cuando el índice es de 1,040 en tres meses y $\beta = 2.0$

Valor del índice en tres meses:	1,040
Rendimiento del cambio del índice:	40/1,000 o 4% trimestral
Dividendos del índice:	$0.25 \times 4 = 1\%$ trimestral
Rendimiento total del índice:	$4 + 1 = 5\%$ trimestral
Tasa de interés libre de riesgo:	$0.25 \times 12 = 3\%$ trimestral
Rendimiento adicional del índice sobre la tasa de interés libre de riesgo:	$5 - 3 = 2\%$ trimestral
Rendimiento adicional esperado de la cartera sobre la tasa de interés libre de riesgo:	$2 \times 2 = 4\%$ trimestral
Rendimiento esperado de la cartera:	$3 + 4 = 7\%$ trimestral
Dividendos de la cartera:	$0.25 \times 4 = 1\%$ trimestral
Aumento esperado del valor de la cartera:	$7 - 1 = 6\%$ trimestral
Valor esperado de la cartera:	$\$500,000 \times 1.06 = \$530,000$

Tabla 13.2 Relación entre el valor del índice y el valor de la cartera para una $\beta = 2.0$

Valor del índice en tres meses	*Valor de la cartera en tres meses ($)*
1,080	570,000
1,040	530,000
1,000	490,000
960	450,000
920	410,000
880	370,000

de riesgo es igual a beta veces el rendimiento adicional de la cartera índice sobre la tasa de interés libre de riesgo. El modelo permite calcular el valor esperado de la cartera para diferentes valores del índice al término de tres meses. La tabla 13.1 muestra los cálculos para el caso en que el índice sea de 1,040. En este caso, el valor esperado de la cartera al final de los tres meses es de $530,000. Se pueden realizar cálculos similares para otros valores del índice al término de los tres meses. La tabla 13.2 muestra estos resultados. El precio de ejercicio de las opciones compradas debe ser el nivel del índice correspondiente al nivel de protección requerido en la cartera. En este caso, el nivel de protección es de $450,000, por lo que el precio de ejercicio correcto de los 10 contratos de opción de venta adquiridos es de 960.[1]

Para ilustrar cómo funciona el seguro, considere lo que sucede si el valor del índice cae a 880. Como se muestra en la tabla 13.2, el valor de la cartera es aproximadamente de $370,000. Las opciones de venta proporcionan un beneficio de $(960 - 880) \times 10 \times 100 = \$80{,}000$ y éste es exactamente el monto necesario para incrementar el valor total de la posición del administrador de cartera de $370,000 al nivel requerido de $450,000 (vea el ejemplo 13.2).

Ejemplo 13.1 Protección del valor de una cartera que refleja el índice S&P 500

Un administrador a cargo de una cartera con un valor de $500,000 está preocupado porque el mercado podría decaer rápidamente durante los tres meses siguientes y desearía usar opciones sobre índices como una cobertura contra una disminución del valor de la cartera por debajo de $450,000. Se espera que la cartera refleje fielmente el índice S&P 500, que es actualmente de 1,000.

La estrategia

El administrador compra cinco contratos de opción de venta con un precio de ejercicio de 900 sobre el índice S&P 500.

El resultado

El índice cae a 880.

El valor de la cartera disminuye a $440,000.

Los cinco contratos de opción de venta proporcionan un beneficio de $10,000.

[1] Aproximadamente 1% de $500,000, o $5,000, se obtendrán en dividendos durante los tres meses siguientes. Si deseamos que el nivel asegurado de $450,000 incluya los dividendos, podemos elegir un precio de ejercicio correspondiente a $445,000 en vez de $450,000. Este precio de ejercicio es de 955.

Ejemplo 13.2 Protección del valor de una cartera que tiene una beta de 2.0

Un administrador a cargo de una cartera con un valor de $500,000 está preocupado porque el mercado podría decaer rápidamente durante los tres meses siguientes y desearía usar opciones sobre índices como una cobertura contra una disminución del valor de la cartera por debajo de $450,000. La cartera tiene una beta de 2.0 y el índice S&P 500 se mantiene en 1,000. La tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual y el rendimiento de dividendos sobre el índice y la cartera es de 4% anual.

La estrategia
El administrador compra 10 contratos de opción de venta con un precio de ejercicio de 960.

El resultado
El índice cae a 880.
El valor de la cartera disminuye a $370,000.
Los cinco contratos de opción de venta proporcionan un beneficio de $80,000.

Si comparamos los ejemplos 13.1 y 13.2, vemos que hay dos razones por las que el costo de la cobertura se incrementa a medida que aumenta la beta de una cartera. Se requieren más opciones de venta con un precio de ejercicio más alto.

13.2 OPCIONES SOBRE DIVISAS

Las opciones sobre divisas se negocian principalmente en el mercado over-the-counter. La ventaja de este mercado es que se pueden realizar grandes transacciones, con precios de ejercicio, fechas de vencimiento y otras características “a la medida” para satisfacer las necesidades de los tesoreros corporativos. Aunque las opciones europeas y americanas sobre divisas se negocian en la Bolsa de Valores de Filadelfia en Estados Unidos de América, el mercado de estas opciones que cotiza en bolsa es mucho más pequeño que el mercado over-the-counter.

Un ejemplo de una opción de compra europea es un contrato que otorga al tenedor el derecho a comprar un millón de euros con dólares estadounidenses a un tipo de cambio de 1.2000 dólares estadounidenses por euro. Si el tipo de cambio real al vencimiento de la opción es de 1.2500, el beneficio es de $1{,}000{,}000 \times (1.2500 - 1.2000) = \$50{,}000$. Del mismo modo, un ejemplo de una opción de venta europea es un contrato que otorga al tenedor el derecho a vender 10 millones de dólares australianos por dólares estadounidenses a un tipo de cambio de 0.7000 dólares estadounidenses por dólar australiano. Si el tipo de cambio real al vencimiento de la opción es de 0.6700, el beneficio es de $10{,}000{,}000 \times (0.7000 - 0.6700) = \$300{,}000$.

Para una corporación que desea cubrir una exposición a un tipo de cambio, las opciones sobre divisas son una alternativa interesante para los contratos a plazo. Una empresa que recibirá libras esterlinas en una fecha futura conocida puede cubrir su riesgo por medio de la compra de opciones de venta sobre libras esterlinas que venzan en esa fecha. La estrategia garantiza que el valor de la libra esterlina no será menor que el precio de ejercicio, en tanto que permite a la empresa beneficiarse de cualquier variación favorable del tipo de cambio. Del mismo modo, una empresa que debe pagar libras esterlinas en una fecha futura conocida puede cubrirse adquiriendo opciones de compra sobre libras esterlinas que venzan en esa fecha. La estrategia garantiza que el costo de la libra esterlina no será mayor de determinado monto, en tanto que permite a la empresa beneficiarse de las variaciones favorables del tipo de cambio. En tanto que un contrato a plazo garantiza el tipo de cambio para una transacción futura, una opción proporciona un tipo de seguro. Este seguro no es gratuito. No cuesta nada participar en una transacción a plazo, pero las opciones requieren el pago de una prima por adelantado.

Contratos *range-forward*

Un *contrato range-forward* es una variación de un contrato a plazo estándar para cubrir un riesgo cambiario. Considere a una empresa estadounidense que sabe que recibirá un millón de libras esterlinas en tres meses. Suponga que el tipo de cambio a plazo a tres meses es de 1.9200 dólares por libra. La empresa podría garantizar este tipo de cambio para los dólares que recibe, tomando una posición corta en un contrato a plazo para vender un millón de libras esterlinas en tres meses. Esto aseguraría que el monto recibido por el millón de libras fuera de $1,920,000.

Una alternativa es comprar una opción de venta europea con un precio de ejercicio de K_1 y vender una opción de compra europea con un precio de ejercicio de K_2, donde $K_1 < 1.9200 < K_2$. Esto se conoce como una posición corta en un contrato *range-forward*. El beneficio de este contrato se muestra en la figura 13.1a. En ambos casos, las opciones se establecen sobre un millón de libras. Si el tipo de cambio en tres meses resulta ser menor que K_1, la opción de venta se ejerce y, en consecuencia, la empresa puede vender el millón de libras a un tipo de cambio de K_1. Si el tipo de cambio está entre K_1 y K_2, no se ejerce opción alguna y la empresa obtiene el tipo de cambio vigente para el millón de libras. Si el tipo de cambio es mayor que K_2, la opción de ventas se ejerce contra la empresa, de modo que el millón de libras se vende a un tipo de cambio de K_2. La figura 13.2 muestra el tipo de cambio obtenido para el millón de libras.

Si la empresa supiera que debe pagar en vez de recibir un millón de libras en tres meses, podría vender una opción de venta europea con un precio de ejercicio de K_1 y adquirir una opción de compra europea con un precio de ejercicio de K_2. Esto se conoce como una posición larga en un contrato *range-forward*. El beneficio de este contrato se muestra en la figura 13.1b. Si el tipo de cambio en tres meses resulta ser menor que K_1, la opción de venta se ejerce contra la empresa y, en consecuencia, ésta compra el millón de libras que necesita a un tipo de cambio de K_1. Si el tipo de cambio está entre K_1 y K_2, ninguna opción se ejerce y la empresa compra el millón de libras al tipo de cambio vigente. El tipo de cambio es mayor que K_2, la opción de compra se ejerce y la empresa puede comprar el millón de libras a un tipo de cambio de K_2. El tipo de cambio pagado por

Figura 13.1 Beneficios de: a) una posición corta y b) una posición larga en un contrato *range-forward*

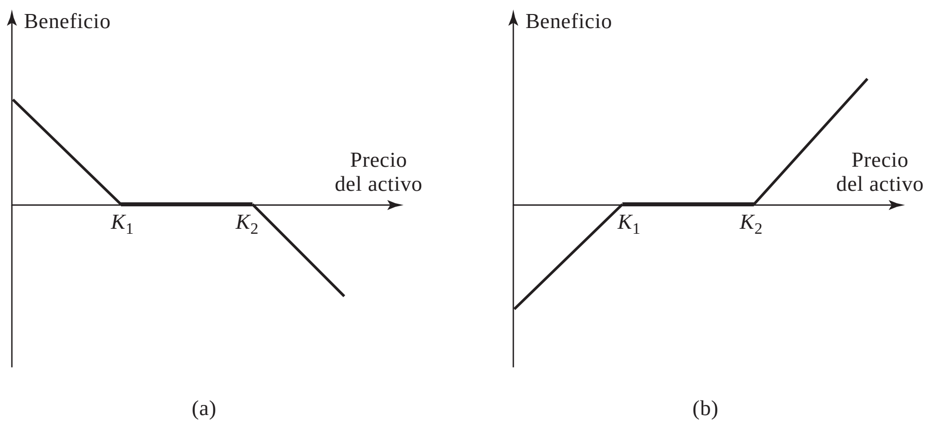
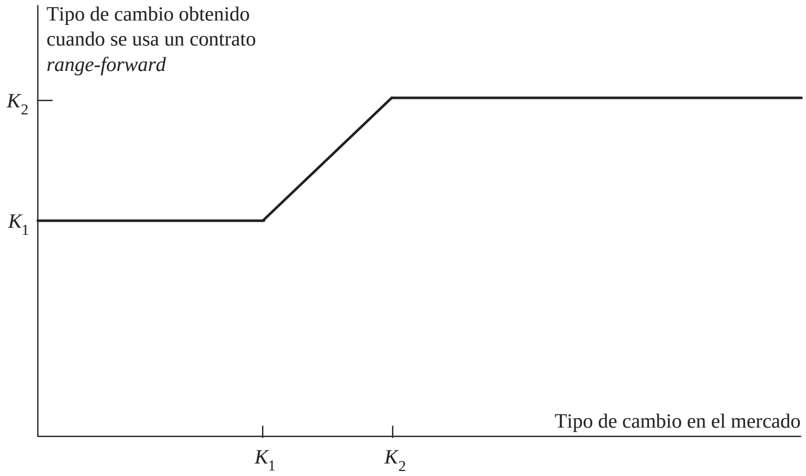


Figura 13.2 Tipo de cambio obtenido cuando: a) se toma una posición corta en un contrato *range-forward* para cubrir una entrada futura de divisas, o b) se toma una posición larga en un contrato *range-forward* para cubrir una salida futura de divisas



el millón de libras es igual al recibido por el millón de libras en el ejemplo anterior; esto se muestra en la figura 13.2.

En la práctica, un contrato *range-forward* se establece de tal manera que el precio de la opción de venta sea igual al precio de la opción de compra. [Esto significa que no cuesta nada establecer un contrato *range-forward*, del mismo modo que no cuesta nada establecer un contrato a plazo regular]. Suponga que ambas tasas de interés, estadounidense y británica, son de 5%, de tal forma que el tipo de cambio spot es de 1.9200 (igual que el tipo de cambio a plazo). Suponga además que la volatilidad del tipo de cambio es de 14%. Podemos usar el software DerivaGem para mostrar que una opción de venta con un precio de ejercicio de 1.9000 para vender una libra tiene el mismo precio que una opción de compra con un precio de ejercicio de 1.9413 para comprar una libra. Ambas opciones valen 0.04338). Si establecemos $K_1 = 1.9000$ y $K_2 = 1.9413$, esto da lugar a un contrato con un costo igual a cero en nuestro ejemplo.

Conforme los precios de ejercicio de las opciones de compra y de ventas se aproximan en un contrato *range-forward*, éste se vuelve un contrato a plazo regular. Una posición corta en un contrato *range-forward* se convierte en una posición corta en un contrato a plazo y una posición larga en un contrato *range-forward* se convierte en una posición larga en un contrato a plazo.

13.3 OPCIONES SOBRE ACCIONES QUE PAGAN RENDIMIENTOS DE DIVIDENDOS CONOCIDOS

En esta sección establecemos una regla sencilla que permite que los resultados de valuación generados por opciones europeas sobre una acción que no paga dividendos se amplíen para aplicarse a opciones europeas sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos conocido. Posteriormente mostramos cómo esto nos permite generar resultados de valuación para opciones sobre índices bursátiles y divisas.

Los dividendos hacen que los precios de las acciones disminuyan en la fecha ex-dividendo en el monto del pago de dividendos. Por lo tanto, el pago de un rendimiento de dividendos a la tasa q hace que la tasa de crecimiento del precio de la acción sea menor en un monto q de lo que sería en caso contrario. Si, con un rendimiento de dividendos de q, el precio de la acción aumenta de S_0 el día de hoy a S_T en el tiempo T, entonces, al no haber dividendos aumentaría de S_0 el día de hoy a $S_T e^{qT}$ en el tiempo T. Por otra parte, al no haber dividendos aumentaría de $S_0 e^{-qT}$ el día de hoy a S_T en el tiempo T.

Este argumento muestra que obtenemos la misma distribución de probabilidades para el precio de la acción en el tiempo T en cada uno de los dos casos siguientes:

1. La acción comienza en el precio S_0 y proporciona un rendimiento de dividendos a la tasa q.
2. La acción comienza en el precio $S_0 e^{-qT}$ y no paga dividendos.

Esto da lugar a una regla sencilla. Al valuar una opción europea que dura el tiempo T sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos conocido a la tasa q, reducimos el precio actual de la acción de S_0 a $S_0 e^{-qT}$ y después valuamos la opción como si la acción no pagara dividendos.

Límites inferiores de los precios de opciones

Como una primera aplicación de esta regla, consideramos el problema de determinar los límites de precio de una opción europea sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos a la tasa q. Si sustituimos S_0 por $S_0 e^{-qT}$ en la ecuación (9.1), vemos que obtenemos un límite inferior para el precio de la opción de compra europea, c, dada por

$$c \geqslant S_0 e^{-qT} - Ke^{-rT} \tag{13.1}$$

Además podemos demostrar esto en forma directa al considerar las dos carteras siguientes:

Cartera A: una opción de compra europea más un monto de efectivo igual a Ke^{-rT}
Cartera B: e^{-qT} acciones, cuyos dividendos se reinvierten en acciones adicionales

A fin de obtener un límite inferior para una opción de venta europea, podemos reemplazar de modo similar S_0 por $S_0 e^{-qT}$ en la ecuación (9.2) para obtener

$$p \geqslant Ke^{-rT} - S_0 e^{-qT} \tag{13.2}$$

Este resultado también puede demostrarse directamente al considerar las siguientes carteras:
Cartera C: una opción de venta europea más e^{-qT} acciones, cuyos dividendos se reinvierten en acciones adicionales
Cartera D: un monto de efectivo igual a Ke^{-rT}

Paridad entre opciones de venta y de compra

Si remplazamos S_0 por $S_0 e^{-qT}$ en la ecuación (9.3), obtenemos la paridad entre opciones de venta y de compra (*put-call parity*) para una opción sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos a la tasa q:

$$c + Ke^{-rT} = p + S_0 e^{-qT} \tag{13.3}$$

Este resultado también puede demostrarse en forma directa al considerar las dos carteras siguientes:

Cartera A: una opción de compra europea más un monto de efectivo igual a Ke^{-rT}
Cartera C: una opción de venta europea más e^{-qT} acciones, cuyos dividendos se reinvierten en acciones adicionales

Ambas carteras valen máx(S_T, K) en el tiempo T. Por lo tanto, deben valer lo mismo hoy y el resultado de la paridad entre opciones de venta y de compra de la ecuación (13.3) es una consecuencia lógica. En el caso de las opciones americanas, la relación de paridad entre opciones de venta y de compra es (vea el problema 13.12)

$$S_0 e^{-qT} - K \leqslant C - P \leqslant S_0 - Ke^{-rT}$$

Fórmulas de valuación

Si reemplazamos S_0 por $S_0 e^{-qT}$ en las fórmulas de Black-Scholes, ecuaciones (12.5) y (12.6), obtenemos el precio, c, de una opción de compra europea y el precio, p, de una opción de venta europea sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos a la tasa q de la manera siguiente

$$c = S_0 e^{-qT} N(d_1) - Ke^{-rT} N(d_2) \tag{13.4}$$

$$p = Ke^{-rT} N(-d_2) - S_0 e^{-qT} N(-d_1) \tag{13.5}$$

Puesto que

$$\ln \frac{S_0 e^{-qT}}{K} = \ln \frac{S_0}{K} - qT$$

se deduce que d_1 y d_2 se obtienen por medio de

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - q + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - q - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Merton obtuvo estos resultados por primera vez.[2] Como se analizó en el capítulo 12, la palabra *dividendo* debe definirse, con fines de evaluación de opciones, como la reducción del precio de la acción en la fecha ex-dividendo como consecuencia de cualquier dividendo declarado. Si se conoce la tasa de rendimiento de dividendos, pero no es constante durante la vida de la opción, las ecuaciones (13.4) y (13.5) aun son válidas, siendo q igual al rendimiento de dividendos promedio anualizado durante la vida de la opción.

Árboles binomiales

En el caso de las opciones americanas, podemos usar árboles binomiales en la forma descrita en el capítulo 11. Considere la situación mostrada en la figura 13.3, en la cual el precio de una acción comienza en S_0 y sube a S_0u o baja a S_0d. Definamos p como la probabilidad de un aumento en un mundo neutral al riesgo. El rendimiento total que proporciona la acción en un mundo neutral al riesgo debe ser la tasa de interés libre de riesgo, r. Los dividendos proporcionan un rendimiento igual a q. Por lo tanto, el rendimiento en forma de ganancias de capital debe ser $r - q$. Esto significa que p debe resolver

$$pS_0u + (1 - p)S_0d = S_0 e^{(r-q)T} \tag{13.6}$$

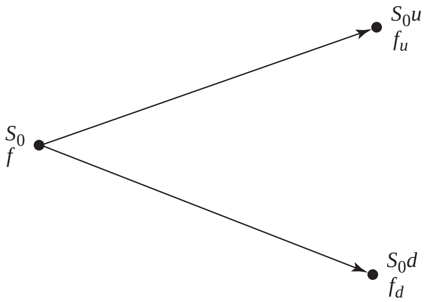
o

$$p = \frac{e^{(r-q)T} - d}{u - d} \tag{13.7}$$

Éste es el resultado que aparece en la sección 11.9.

[2] Vea R.C. Merton, "Theory of Rational Option Pricing", *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4 (primavera de 1973), pp. 141-83.

Figura 13.3 Precio de una acción y precio de un derivado en un árbol binomial de un paso cuando la acción paga un dividendo a la tasa q



Como se explicó en el capítulo 11, el valor de un derivado en el tiempo cero es el beneficio esperado en un mundo neutral al riesgo descontado a la tasa de interés libre de riesgo:

$$f = e^{-rT}[pf_u + (1-p)f_d] \tag{13.8}$$

Estas fórmulas se ilustran en el ejemplo 13.3. Podemos igualar la volatilidad del precio de la acción en un árbol de pasos múltiples al establecer $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$ y $d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$, donde Δt es la duración del intervalo.

13.4 VALUACIÓN DE OPCIONES SOBRE ÍNDICES BURSÁTILES

Al valuar futuros sobre índices en el capítulo 5, asumimos que el índice podía manejarse como un activo que paga un rendimiento conocido. Al valuar opciones sobre índices, hicimos supuestos similares. Esto significa que las ecuaciones (13.1) y (13.2) proporcionan un límite inferior para

Ejemplo 13.3 Cálculos con árboles binomiales para una acción que paga un rendimiento de dividendos conocido

Suponga que el precio inicial de la acción es de \$30 y que este precio aumentará a \$36 o disminuirá a \$24 durante un periodo de seis meses. La tasa de interés libre de riesgo a seis meses es de 5% y se espera que la acción proporcione un rendimiento de dividendos de 3% durante este periodo. En este caso, $u = 1.2$, $d = 0.8$ y

$$p = \frac{e^{(0.05-0.03)\times 6/12} - 0.8}{1.2 - 0.8} = 0.5251$$

Considere una opción de venta a seis meses sobre la acción, con un precio de ejercicio de \$28. Si el precio de la acción sube, el beneficio es de cero; si baja, el beneficio es de 4. Por lo tanto, el valor de la opción es

$$e^{-0.05\times 0.5}[0.5251 \times 0 + 0.4749 \times 4] = 1.85$$

Ejemplo 13.4 Valuación de una opción sobre un índice bursátil

Considere una opción de compra europea sobre el índice S&P 500 que vence en dos meses. El valor actual del índice es de 930, el precio de ejercicio es de 900, la tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual y la volatilidad del índice es de 20% anual. Se esperan rendimientos de dividendos de 0.2% y 0.3% en el primero y el segundo mes, respectivamente. En este caso, $S_0 = 930$, $K = 900$, $r = 0.08$, $\sigma = 0.2$ y $T = 2/12$. El rendimiento de dividendos total durante la vida de la opción es de $0.2 + 0.3 = 0.5\%$. Éste es de 3% anual. Por consiguiente, $q = 0.03$ y

$$d_1 = \frac{\ln(930/900) + (0.08 - 0.03 + 0.2^2/2) \times 2/12}{0.2\sqrt{2/12}} = 0.5444$$

$$d_2 = \frac{\ln(930/900) + (0.08 - 0.03 - 0.2^2/2) \times 2/12}{0.2\sqrt{2/12}} = 0.4628$$

$$N(d_1) = 0.7069, \qquad N(d_2) = 0.6782$$

de modo que el precio de la opción de compra, c, se obtiene mediante la ecuación (13.4) de la siguiente manera

$$c = 930 \times 0.7069e^{-0.03\times2/12} - 900 \times 0.6782e^{-0.08\times2/12} = 51.83$$

Un contrato costaría \$5,183.

acciones europeas sobre índices; la ecuación (13.3) es el resultado de la paridad entre opciones de venta y de compra para opciones europeas sobre índices; las ecuaciones (13.4) y (13.5) pueden usarse para valuar opciones europeas sobre un índice y el modelo de árboles binomiales puede utilizarse para opciones americanas. En todos los casos, S_0 es igual al valor del índice, σ es igual a la volatilidad del índice y q es igual al rendimiento de dividendos promedio anualizado sobre el índice durante la vida de la opción. El ejemplo 13.4 proporciona una aplicación de las fórmulas de valuación.

El cálculo de q debe incluir sólo los dividendos cuya fecha ex-dividendo ocurra durante la vida de la opción. En Estados Unidos de América, las fechas ex-dividendo ocurren durante la primera semana de febrero, mayo, agosto y noviembre. Por lo tanto, en cualquier fecha dada, el valor de q dependerá de la vida de la opción. Esto es aún más válido para algunos índices extranjeros. Por ejemplo, en Japón todas las empresas tienden a usar las mismas fechas ex-dividendo.

Si se asume que se conoce el monto absoluto del dividendo que se pagará sobre las acciones subyacentes al índice (más que el rendimiento de dividendos), puede usarse la fórmula básica de Black-Scholes, reduciendo el precio inicial de la acción en el valor presente de los dividendos. Éste es el modelo recomendado en el capítulo 12 para una acción que paga dividendos conocidos. Sin embargo, puede ser difícil de implementar para un índice bursátil amplio, debido a que requiere conocer los dividendos esperados sobre cada acción subyacente al índice.

En ocasiones se argumenta que el rendimiento de una cartera de acciones supera con certeza el rendimiento de una cartera de bonos a largo plazo cuando ambas tienen el mismo valor inicial. Si esto fuera así, una opción de compra a largo plazo sobre una cartera de acciones en la que el precio de ejercicio igualara al valor futuro de una cartera de bonos no costaría mucho. De hecho, como se indica en la Panorámica de negocios 13.1, es bastante costosa.

Panorámica de negocios 13.1 ¿Podemos garantizar que las acciones superarán a los bonos a largo plazo?

Se dice con frecuencia que si usted es un inversionista a largo plazo debe comprar acciones en vez de bonos. Considere a un administrador de fondos estadounidense que trata de convencer a los inversionistas de que compren, como una inversión a largo plazo, un fondo de capital que se espera refleje el índice S&P 500. El administrador podría sentir la tentación de ofrecer a los compradores del fondo una garantía de que su rendimiento será por lo menos tan bueno como el rendimiento sobre los bonos libres de riesgo durante los próximos 10 años. Históricamente, las acciones han superado a los bonos en Estados Unidos de América en casi todo el periodo de 10 años. Al parecer, el administrador de fondos no estaría regalando mucho.

De hecho, este tipo de garantía es sorprendentemente costosa. Suponga que un índice accionario está en 1,000 el día de hoy, el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 1% anual, la volatilidad del índice es de 15% anual y la tasa de interés libre de riesgo a 10 años es de 5% anual. Para superar a los bonos, las acciones subyacentes al índice deben ganar más de 5% anual. El rendimiento de dividendos proporcionará 1% anual. Por lo tanto, las ganancias de capital sobre las acciones deben proporcionar 4% anual. Esto significa que requerimos que el nivel del índice sea por lo menos de $1{,}000e^{0.04\times 10} = 1{,}492$ en 10 años.

Por lo tanto, una garantía de que el rendimiento sobre $1,000 invertidos en el índice será mayor que el rendimiento sobre $1,000 invertidos en bonos durante los próximos 10 años, equivale al derecho de vender el índice en 1,492 dentro de 10 años. Ésta es una opción de venta europea sobre el índice y puede valuarse con la ecuación (13.5), en la que $S_0 = 1{,}000$, $K = 1{,}492$, $r = 5\%$, $\sigma = 15\%$, $T = 10$ y $q = 1\%$. El valor de la opción de venta es de 169.7. Esto muestra que la garantía considerada por el administrador de fondos vale alrededor de 17% del fondo, ¡algo que difícilmente deba regalarse!

13.5 VALUACIÓN DE OPCIONES SOBRE DIVISAS

Para valuar opciones sobre divisas, definimos S_0 como el tipo de cambio spot. Para ser precisos, S_0 es el valor de una unidad de la divisa en dólares estadounidenses. Como se explicó en el capítulo 5, una divisa es semejante a una acción que paga un rendimiento de dividendos conocidos. El propietario de la divisa recibe un rendimiento igual a la tasa de interés libre de riesgo, r_f, en la divisa. Las ecuaciones (13.1) y (13.2), en las que q se reemplaza por r_f, proporcionan los límites de precio para la opción de compra europea, c, y la opción de venta europea, p:

$$c \geqslant S_0 e^{-r_f T} - K e^{-rT}$$

$$p \geqslant K e^{-rT} - S_0 e^{-r_f T}$$

La ecuación (13.3), en la que q se reemplaza por r_f, proporciona el resultado de la paridad entre opciones de venta y de compra para opciones sobre divisas:

$$c + K e^{-rT} = p + S_0 e^{-r_f T}$$

Por último, las ecuaciones (13.4) y (13.5) proporcionan las fórmulas de valuación para opciones sobre divisas cuando q se reemplaza por r_f:

$$c = S_0 e^{-r_f T} N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2) \qquad \textbf{(13.9)}$$

$$p = K e^{-rT} N(-d_2) - S_0 e^{-r_f T} N(-d_1) \qquad \textbf{(13.10)}$$

Ejemplo 13.5 Volatilidad implícita para una opción sobre divisas

Considere una opción de compra europea a cuatro meses sobre la libra británica. Suponga que el tipo de cambio actual es de 1.6000, el precio de ejercicio es de 1.6000, la tasa de interés libre de riesgo en Estados Unidos de América es de 8% anual, la tasa de interés libre de riesgo en Gran Bretaña es de 11% anual y el precio de la opción es de $0.43. En este caso, $S_0 = 1.6$, $K = 1.6$, $r = 0.08$, $r_f = 0.11$, $T = 0.3333$ y $c = 0.043$. La volatilidad implícita puede calcularse por ensayo y error. El precio de la opción con una volatilidad de 20% es de 0.0639, con una volatilidad de 10% es de 0.0285, etc. La volatilidad implícita es de 14.1%.

donde

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - r_f + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - r_f - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

El ejemplo 13.5 muestra cómo se usan estas fórmulas para calcular las volatilidades implícitas de opciones sobre divisas. Tanto la tasa de interés doméstica, r, como la tasa de interés extranjera, r_f, son las tasas para un vencimiento T. Las opciones de venta y de compra sobre una divisa son simétricas en que una opción de venta para vender la moneda A por la moneda B a un precio de ejercicio de K es igual a una opción de compra para adquirir la moneda B por la moneda A a un precio de ejercicio de $1/K$.

Con base en la ecuación (5.9), el tipo de cambio a plazo, F_0, para un vencimiento T se obtiene por medio de

$$F_0 = S_0 e^{(r-r_f)T}$$

Esta relación permite simplificar las ecuaciones (13.9) y (13.10) a

$$c = e^{-rT}[F_0 N(d_1) - KN(d_2)] \tag{13.11}$$

$$p = e^{-rT}[KN(-d_2) - F_0 N(-d_1)] \tag{13.12}$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln(F_0/K) + \sigma^2 T/2}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(F_0/K) - \sigma^2 T/2}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Observe que, para que las ecuaciones (13.11) y (13.12) sean las correctas para valuar una opción europea sobre el tipo de cambio spot, los vencimientos del contrato a plazo y de la opción deben ser iguales.

En algunas circunstancias lo óptimo es ejercer las opciones americanas sobre divisas antes de su vencimiento. Por lo tanto, estas opciones valen más que sus contrapartes europeas. En general, lo más probable es que las opciones de compra sobre divisas de interés alto y las opciones de venta sobre divisas de interés bajo se ejerzan antes de su vencimiento. La razón es que se espera que una divisa de interés alto se deprecie y que una divisa de interés bajo se aprecie.

RESUMEN

La fórmula de Black-Scholes para valuar opciones europeas sobre una acción que no paga dividendos puede aplicarse a opciones europeas sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos conocido. Esto es útil porque muchos otros activos sobre los que se suscriben opciones se consideran similares a una acción que paga un rendimiento de dividendos. En este capítulo se manejaron los siguientes resultados:

1. Un índice bursátil es semejante a una acción que paga un rendimiento de dividendos. Éste es el rendimiento de dividendos sobre las acciones que integran el índice.
2. Una divisa es similar a una acción que paga un rendimiento de dividendos. La tasa de interés libre de riesgo extranjera juega el rol del rendimiento de dividendos.

Por lo tanto, la ampliación del modelo Black-Scholes se puede utilizar para valuar opciones europeas sobre índices bursátiles y divisas.

Las opciones sobre índices que cotizan en bolsas se establecen en efectivo. Al ejercer una opción de compra sobre un índice, el tenedor recibe 100 veces el monto en que el índice excede al precio de ejercicio. Del mismo modo, al ejercer un contrato de opción de venta sobre un índice, el tenedor recibe 100 veces el monto en que el precio de ejercicio excede al índice. Las opciones sobre índices pueden usarse como seguro de cartera. Si el valor de la cartera refleja el índice, es conveniente comprar un contrato de opción de venta por cada $100S_0$ dólares en la cartera, donde S_0 es el valor del índice. Si la cartera no refleja el índice, deben comprarse contratos de opción de venta β por cada $100S_0$ dólares en la cartera, donde β es la beta de la cartera calculada usando el modelo de valuación de activos de capital. El precio de ejercicio de las opciones de venta compradas debe reflejar el nivel de seguro requerido.

Casi todas las opciones sobre divisas se negocian en el mercado over-the-counter. Las usan los tesoreros corporativos para cubrir una exposición a un tipo de cambio. Por ejemplo, un tesorero corporativo estadounidense que sabe que la empresa recibirá libras esterlinas en cierta fecha futura puede cubrir mediante la compra de opciones de venta que venzan en esa fecha. De igual manera, un tesorero corporativo estadounidense que sabe que la empresa pagará libras esterlinas en determinada fecha futura puede cubrir mediante la adquisición de opciones de compra que venzan en esa fecha.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Amin, K. y R.A. Jarrow. “Pricing Foreign Currency Options under Stochastic Interest Rates”, *Journal of International Money and Finance*, 10 (1991), pp. 310-29.

Biger, N. y J.C. Hull. “The Valuation of Currency Options”, *Financial Management*, 12 (primavera de 1983), pp. 24-28.

Bodie, Z. “On the Risk of Stocks in the Long Run”, *Financial Analysts Journal*, 51, 3 (1995), pp. 18-22.

Garman, M.B. y S.W. Kohlhagen. “Foreign Currency Option Values”, *Journal of International Money and Finance*, 2 (diciembre de 1983), pp. 231-37.

Giddy, I.H. y G. Dufey. “Uses and Abuses of Currency Options”, *Journal of Applied Corporate Finance*, 8, 3 (1995), pp. 49-57.

Grabbe, J.O. “The Pricing of Call and Put Options on Foreign Exchange”, *Journal of International Money and Finance*, 2 (diciembre de 1983), pp. 239-53.

Jorion, P. “Predicting Volatility in the Foreign Exchange Market”, *Journal of Finance* 50, 2(1995), pp. 507-28.

Merton, R.C. "Theory of Rational Option Princing", *Bell Journal of Economics and Management Science*, 4 (primavera de 1973), pp. 141-83.

Examen (respuestas al final del libro)

13.1. Una cartera vale actualmente $10 millones y tiene una beta de 1.0. En este momento, el índice S&P 100 está en 800. Explique cómo se usa una opción de venta sobre el índice S&P 100, con un precio de ejercicio de 700, para que proporcione un seguro de cartera.

13.2. "Una vez que sabemos cómo valuar opciones sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos, sabemos cómo valuar opciones sobre índices bursátiles y divisas". Explique esta afirmación.

13.3. Actualmente, un índice bursátil está en 300, el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 3% anual y la tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual. ¿Cuál es un límite inferior para el precio de una opción de compra europea a seis meses sobre el índice cuando el precio de ejercicio es de 290?

13.4. Una divisa vale actualmente $0.80. Se espera que su valor aumente o disminuya 2% en cada uno de los dos meses siguientes. Las tasas de interés libres de riesgo, domésticas y extranjeras, son de 6 y 8%, respectivamente. ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a dos meses con un precio de ejercicio de $0.80?

13.5. Explique cómo las corporaciones usan opciones sobre divisas para cubrir su exposición al riesgo cambiario.

13.6. Calcule el valor de una opción de compra europea at-the-money a tres meses sobre un índice bursátil cuando éste está en 250, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual, la volatilidad del índice es de 18% anual y el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 3% anual.

13.7. Calcule el valor de una opción de venta europea a ocho meses sobre una divisa, con un precio de ejercicio de 0.50. El tipo de cambio vigente es de 0.52, la volatilidad del tipo de cambio es de 12% y las tasas de interés libres de riesgo, doméstica y extranjera, son de 4% y 8% anual, respectivamente.

Preguntas y problemas

13.8. Suponga que una bolsa crea un índice bursátil que da seguimiento al rendimiento, incluyendo los dividendos, sobre determinada cartera. Explique cómo valuaría: a) contratos de futuros y b) opciones europeas sobre el índice.

13.9. Una divisa vale actualmente $1.50. Las tasas de interés libres de riesgo, domésticas y extranjeras, son de 5 y 9%, respectivamente. Calcule un límite inferior para el valor de una opción de compra a seis meses sobre la divisa, con un precio de ejercicio de $1.40, si esta opción es: a) europea y b) americana.

13.10. Considere un índice bursátil que está en 250 en este momento. El rendimiento de dividendos sobre el índice es de 4% anual y la tasa de interés libre de riesgo es de 6% anual. Una opción de compra europea a tres meses sobre el índice, con un precio de ejercicio de 245, vale actualmente $10. ¿Cuál es el valor de una opción de venta a tres meses sobre el índice, con un precio de ejercicio de 245?

13.11. Actualmente, un índice está en 696 y tiene una volatilidad de 30% anual. La tasa de interés libre de riesgo es de 7% anual y el índice proporciona un rendimiento de dividendos de 4%

anual. Calcule el valor de una opción de venta europea a tres meses con un precio de ejercicio de 700.

13.12. Demuestre que, si C es el precio de una opción de compra americana con un precio de ejercicio K y un vencimiento T sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos de q, y P es el precio de una opción de venta americana sobre la misma acción, con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento, entonces

$$S_0e^{-qT} - K < C - P < S_0 - Ke^{-rT},$$

donde S_0 es el precio de ejercicio, r es la tasa de interés libre de riesgo y $r > 0$. (*Sugerencia*: para obtener la primera parte de la desigualdad, considere los valores posibles de:

Cartera A: una opción de compra europea más un monto K invertido a la tasa de interés libre de riesgo

Cartera B: una opción de venta americana más e^{-qT} de la acción, cuyos dividendos se reinvierten en la misma acción

Para obtener la segunda parte de la desigualdad, considere los valores posibles de:

Cartera C: una opción de compra americana más un monto Ke^{-rT} invertido a la tasa de interés libre de riesgo

Cartera D: una opción de venta europea más una acción, cuyos dividendos se reinvierten en la misma acción

13.13. Demuestre que una opción de compra europea sobre una divisa tiene el mismo precio que la opción de venta europea correspondiente sobre la divisa cuando el precio a plazo es igual al precio de ejercicio.

13.14. ¿Esperaría que la volatilidad de un índice bursátil fuera mayor o menor que la volatilidad de una acción normal? Explique su respuesta.

13.15. ¿Aumenta o disminuye el costo del seguro de cartera a medida que aumenta la beta de una cartera? Explique su respuesta.

13.16. Imagine que una cartera vale $60 millones y que el índice S&P 500 está en 1,200. Si el valor de la cartera refleja el valor del índice, ¿qué opciones se deben comprar para proporcionar protección contra una disminución del valor de la cartera por debajo de $54 millones en un periodo de un año?

13.17. Considere de nuevo la situación del problema 13.16. Suponga que la cartera tiene una beta de 2.0, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual y el rendimiento de dividendos sobre la cartera y el índice es de 3% anual. ¿Qué opciones deben comprarse para proporcionar protección contra una disminución del valor de la cartera por debajo de $54 de dólares en un periodo de un año?

Preguntas de tarea

13.18. El 12 de enero de 2007, el Promedio Industrial Dow Jones estuvo en 12,556 y el precio de la opción de compra de marzo, con un precio de ejercicio de 126, fue de $2.25. Use el software DerivaGem para calcular la volatilidad implícita de esta opción. Asuma que la tasa de interés libre de riesgo fue de 5.3% y que el rendimiento de dividendos fue de 3%. La opción vence el 20 de marzo de 2007. Calcule el precio de una opción de venta de marzo, con un precio de ejercicio de 126. ¿Cuál es la volatilidad implícita en el precio que calculó para esta opción? (Observe que las opciones se establecen sobre el índice Dow Jones dividido entre 100).

13.19. Actualmente, un índice bursátil está en 300. Se espera que aumente o disminuya 10% en cada uno de los dos trimestres siguientes. La tasa de interés libre de riesgo es de 8% y el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 3%. ¿Cuál es el valor de una opción de venta a seis meses sobre el índice, con un precio de ejercicio de 300, si es a) europea y b) americana?

13.20. Suponga que el precio spot del dólar canadiense es de 0.85 dólares estadounidenses y que el tipo de cambio dólar canadiense/dólar estadounidense tiene una volatilidad de 4% anual. Las tasas de interés libres de riesgo en Canadá y Estados Unidos de América son de 4 y 5% anual, respectivamente. Calcule el valor de una opción de compra europea para adquirir un dólar canadiense en $0.85 dentro de nueve meses. Use la paridad entre opciones de venta y de compra para calcular el precio de una opción de venta europea para vender un dólar canadiense en $0.85 dentro de nueve meses. ¿Cuál es el precio de una opción de compra para adquirir $0.85 con un dólar canadiense dentro de nueve meses?

13.21. Un fondo de inversión anuncia que los salarios de sus administradores de fondos dependerán del desempeño del fondo. Si el fondo pierde dinero, los salarios serán de cero. Si el fondo obtiene un beneficio, los salarios serán proporcionales a éste. Describa el salario de un administrador de fondos como una opción. ¿De qué manera un administrador de fondos se sentirá motivado a comportarse con este tipo de paquete de remuneración?

CAPÍTULO 14

Opciones sobre futuros

Las opciones que hemos considerado hasta ahora otorgan al tenedor el derecho a comprar o vender un activo en una fecha específica. En ocasiones se denominan *opciones sobre spot* (*options on spot*) u *opciones spot* (*spot options*) porque cuando se ejercen las opciones, la venta o compra del activo al precio convenido ocurre inmediatamente. En este capítulo consideramos las *opciones sobre futuros (futures options)*, conocidas también como *opciones sobre contratos de futuros*. En estos contratos, el ejercicio de la opción otorga al tenedor una posición en un contrato de futuros.

La Comisión de Comercio en Futuros sobre Mercancías autorizó la negociación de opciones sobre futuros de manera experimental en 1982. La negociación permanente se aprobó en 1987, y desde entonces la popularidad del contrato entre los inversionistas ha crecido con mucha rapidez.

En este capítulo analizamos cómo funcionan las opciones sobre futuros y las diferencias entre estas opciones y las opciones spot. Examinamos cómo se valúan las opciones sobre futuros utilizando tanto árboles binomiales como fórmulas similares a las que crearon Black, Scholes y Merton para las opciones sobre acciones. Además, exploramos la valuación relativa de las opciones sobre futuros y las opciones spot.

14.1 NATURALEZA DE LAS OPCIONES SOBRE FUTUROS

Una opción sobre futuros es el derecho, pero no la obligación, de participar en un contrato de futuros a cierto precio de futuros en una determinada fecha. Específicamente, una opción de compra sobre futuros es el derecho a tomar una posición larga en un contrato de futuros a un precio determinado; una opción de venta sobre futuros es el derecho a tomar una posición corta en un contrato de futuros a un precio determinado. La mayoría de las opciones sobre futuros son americanas, es decir, pueden ejercerse en cualquier momento durante la vida del contrato.

Para ilustrar la operación de los contratos de opciones sobre futuros, considere la posición de un inversionista que adquirió una opción de compra de julio sobre futuros de oro, con un precio de ejercicio de $600 por onza. El activo subyacente a un contrato corresponde a 100 onzas de oro. Al igual que con otros contratos de opciones que cotizan en bolsa, el inversionista debe pagar por la opción al momento de ingresar al contrato. Si se ejerce la opción de compra sobre futuros, el inversionista obtiene una posición larga en un contrato de futuros y hay una liquidación en efectivo que refleja que el inversionista ingresa al contrato de futuros al precio de ejercicio. Suponga que el precio de futuros de julio al momento de ejercer la opción es de 640 y que el precio de liquidación más reciente del contrato de futuros de julio es de 638. El inversionista recibe un monto en efectivo

Ejemplo 14.1 Mecánica de las opciones de compra sobre futuros

Un inversionista adquiere un contrato de opciones de compra sobre futuros de oro de julio. El tamaño del contrato es de 100 onzas. El precio de ejercicio es de 600.

La decisión de ejercicio
El inversionista ejerce las opciones cuando el precio de futuros de oro de julio es de 640 y el precio de liquidación más reciente es de 638.

El resultado
1. El inversionista recibe un monto en efectivo igual a $(638 - 600) \times 100 = \$3,800$.
2. El inversionista recibe una posición larga en un contrato de futuros.
3. El inversionista cierra inmediatamente la posición larga en el contrato de futuros para obtener una ganancia de $(640 - 638) \times 100 = \$200$.
4. Beneficio total $= \$4,000$.

igual al excedente del precio de liquidación más reciente sobre el precio de ejercicio. Este monto, $(638 - 600) \times 100 = \$3,800$ en nuestro ejemplo, se suma a la cuenta de margen del inversionista.

Como se muestra en el ejemplo 14.1, si el inversionista cierra inmediatamente el contrato de futuros de julio, la ganancia sobre el contrato de futuros es $(640 - 638) \times 100$, o \$200. Por lo tanto, el beneficio total obtenido por ejercer el contrato de opciones sobre futuros es de \$4,000. Esto corresponde al precio de futuros de julio en la fecha de ejercicio menos el precio de ejercicio. Si el inversionista mantiene el contrato de futuros puede requerir un margen adicional.

El inversionista que vende (o suscribe) una opción de compra sobre futuros recibe la prima de la opción, pero corre el riesgo de que el contrato se ejerza. Cuando el contrato se ejerce, este inversionista asume una posición corta en el contrato de futuros. Se deduce un monto igual a $F - K$ de la cuenta de margen del inversionista, donde F es el precio de liquidación más reciente. La cámara de compensación de la bolsa dispone que esta suma se transfiera al inversionista del otro lado de la transacción, quien decide ejercer la opción.

Las opciones de venta sobre futuros funcionan de forma parecida a las opciones de compra. El ejemplo 14.2 considera a un inversionista que compra una opción de venta sobre futuros de maíz de septiembre, con un precio de ejercicio de \$3.00 por bushel. Cada contrato se establece sobre 5,000 bushels de maíz. Si se ejerce la opción de venta sobre futuros, el inversionista obtiene una posición corta en un contrato de futuros más una liquidación en efectivo. Suponga que el contrato se ejerce cuando el precio de futuros de septiembre es de \$2.80 y que el precio de liquidación más reciente es de \$2.79. El inversionista recibe un monto en efectivo igual al excedente del precio de ejercicio sobre el precio de liquidación más reciente. El monto en efectivo recibido, $(3.00 - 2.79) \times 5,000 = \$1,050$ en nuestro ejemplo, se suma a la cuenta de margen del inversionista. Si el inversionista cierra inmediatamente el contrato de futuros, la pérdida sobre la posición corta en el contrato de futuros es de $(2.80 - 2.79) \times 5,000 = \$50$. Por consiguiente, el beneficio total obtenido por ejercer el contrato de opciones sobre futuros es de \$1,000. Esto corresponde al precio de ejercicio menos el precio de futuros en la fecha de ejercicio. Al igual que en el caso de las opciones de compra sobre futuros, el inversionista puede requerir un margen adicional si decide mantener la posición en el contrato de futuros.

El inversionista del otro lado de la transacción (es decir, el inversionista que vendió la opción de venta sobre futuros) obtiene una posición larga en un contrato de futuros cuando la opción se ejerce y el excedente del precio de ejercicio sobre el precio de liquidación más reciente se deduce de la cuenta de margen del inversionista.

Meses de vencimiento

Las opciones sobre futuros se denominan de acuerdo con el mes en que vence el contrato de futuros subyacente, no según el mes de vencimiento de la opción. Como se mencionó anteriormente, la

Ejemplo 14.2 Mecánica de las opciones de venta sobre futuros

Un inversionista compra un contrato de opciones de venta sobre futuros de maíz de septiembre. El tamaño del contrato es de 5,000 bushels. El precio de ejercicio es de $3.00.

La decisión de ejercicio
El inversionista ejerce las opciones cuando el precio de futuros de maíz de septiembre es de $2.80 y el precio de liquidación más reciente es de $2.79.

El resultado
1. El inversionista recibe un monto en efectivo de $(3.00 - 2.79) \times 5{,}000 = \$1{,}050$.
2. El inversionista recibe una posición corta en un contrato de futuros.
3. El inversionista cierra inmediatamente la posición corta en el contrato de futuros y experimenta una pérdida de $(2.80 - 2.79) \times 5{,}000 = \$50$.
4. Beneficio total = $1,000.

mayoría de las opciones sobre futuros son americanas. La fecha de vencimiento de un contrato de opciones sobre futuros ocurre usualmente en la fecha de entrega más temprana del contrato de futuros subyacente o algunos días antes. (Por ejemplo, la opción de futuros sobre bonos del Tesoro que se negocia en la CBOT vence el primer viernes anterior por lo menos a cinco días hábiles al final del mes, justo antes del mes de vencimiento del contrato de futuros). Una excepción es el contrato en eurodólares mid-curve que se negocia en la CME, en el cual el contrato de futuros vence uno o dos años después del contrato de opciones.

En Estados Unidos de América, los contratos populares son los que se negocian sobre maíz, soya, algodón, azúcar mundial, petróleo crudo, gas natural, oro, bonos del Tesoro, notas del Tesoro, notas del Tesoro a cinco años, fondos federales a 30 días, eurodólares, eurodólares mid-curve a uno y dos años, Euribor, Eurobunds y el índice S&P 500.

14.2 RAZONES DE LA POPULARIDAD DE LAS OPCIONES SOBRE FUTUROS

Es natural preguntar por qué las personas deciden negociar opciones sobre futuros en vez de opciones sobre el activo subyacente. La razón principal parece ser que un contrato de futuros es, en muchas circunstancias, más líquido y fácil de negociar que el activo subyacente. Además, un precio de futuros se conoce inmediatamente a partir de las negociaciones en la bolsa de futuros, en tanto que el precio spot del activo subyacente no está disponible con tanta facilidad.

Considere los bonos del Tesoro. El mercado de futuros sobre bonos del Tesoro es mucho más activo que el mercado de cualquier bono del Tesoro específico. Además, un precio de futuros sobre bonos del Tesoro se conoce inmediatamente en las negociaciones de la Bolsa de Comercio de Chicago. Por el contrario, el precio de mercado actual de un bono se obtiene únicamente al ponerse en contacto con uno o más agentes. No es de sorprender que los inversionistas prefieran un contrato de futuros sobre bonos del Tesoro en vez de bonos del Tesoro.

Con frecuencia, los futuros sobre *commodities* son también más fáciles de negociar que los *commodities* mismos. Por ejemplo, es mucho más fácil y conveniente entregar o recibir un contrato de futuros de ganado bovino en pie que entregar o recibir el ganado mismo.

Un punto importante acerca de una opción sobre futuros es que por lo común su ejercicio no da lugar a la entrega del activo subyacente, ya que, en la mayoría de los casos, el contrato de futuros subyacente se cierra antes de la entrega. Por lo tanto, las opciones sobre futuros se liquidan eventualmente en efectivo. Esto es muy atractivo para muchos inversionistas, en particular para quienes tienen un capital limitado y se les haría difícil contar con los fondos necesarios para comprar el activo subyacente cuando se ejerce una opción. Otra ventaja de las opciones sobre futuros que se cita en ocasiones es que los futuros y las opciones sobre futuros se negocian en pits contiguos en la misma bolsa. Esto facilita la cobertura, el arbitraje y la especulación, y tiende a hacer que los mercados sean más eficientes. Una última característica es que, en muchas situaciones, las opciones sobre futuros implican costos de transacción más bajos que las opciones spot.

14.3 OPCIONES EUROPEAS SPOT Y SOBRE FUTUROS

El beneficio de una opción de compra europea con un precio de ejercicio K sobre el precio spot de un activo es

$$\text{máx}(S_T - K, 0)$$

donde S_T es el precio spot al vencimiento de la opción. El beneficio de una opción de compra europea con el mismo precio de ejercicio sobre el precio de futuros del activo es

$$\text{máx}(F_T - K, 0)$$

donde F_T es el precio de futuros al vencimiento de la opción. Si el contrato de futuros vence al mismo tiempo que la opción, entonces $F_T = S_T$ y las dos opciones son equivalentes. Del mismo modo, una opción de venta europea sobre futuros tiene el mismo valor que la opción de venta spot equivalente cuando el contrato de futuros vence al mismo tiempo que la opción.

Casi todas las opciones de futuros que se negocian son de estilo americano. Sin embargo, como veremos, es útil estudiar las opciones europeas sobre futuros debido a que los resultados obtenidos se pueden aplicar para valuar las opciones europeas spot correspondientes.

14.4 PARIDAD ENTRE OPCIONES DE VENTA Y DE COMPRA (PARIDAD *PUT-CALL*)

En el capítulo 9 obtuvimos una relación de paridad entre opciones de venta y de compra para opciones europeas sobre acciones (paridad *put-call*). Ahora analizamos un argumento similar para obtener una relación de paridad entre opciones de venta y de compra para opciones europeas sobre futuros. Considere las opciones de compra y de venta europeas sobre futuros, ambas con un precio de ejercicio K y un tiempo al vencimiento T. Podemos crear dos carteras:

Cartera A: una opción de compra europea sobre futuros más un monto de efectivo igual a Ke^{-rT}

Cartera B: una opción de venta europea sobre futuros más una posición larga en un contrato de futuros más un monto de efectivo igual a F_0e^{-rT}, donde F_0 es el precio de futuros

En la cartera A, el efectivo se invierte a la tasa de interés libre de riesgo, r, y aumenta a K en el tiempo T. Digamos que F_T es el precio de futuros al vencimiento de la opción. Si $F_T > K$, se ejerce la opción de compra de la cartera A y esta cartera vale F_T. Si $F_T \leqslant K$, la opción de compra no se ejerce y la cartera A vale K. Por consiguiente, el valor de la cartera A en el tiempo T es

$$\text{máx}(F_T, K)$$

En la cartera B, el efectivo puede invertirse a la tasa de interés libre de riesgo para que aumente a F_0 en el tiempo T. La opción de venta proporciona un beneficio de máx$(K - F_T, 0)$. El contrato de futuros proporciona un beneficio de $F_T - F_0$.[1] Por lo tanto, el valor de la cartera B en el tiempo T es

$$F_0 + (F_T - F_0) + \text{máx}(K - F_T, 0) = \text{máx}\,(F_T, K)$$

Como ambas carteras tienen el mismo valor en el tiempo T y las opciones europeas no pueden ejercerse de manera anticipada, se deduce que valen lo mismo el día de hoy. Hoy, el valor de la cartera A es

$$c + Ke^{-rT}$$

donde c es el precio de la opción de compra sobre futuros. El proceso de ajuste al mercado garantiza que el contrato de futuros de la cartera B tenga hoy un valor cero. Por consiguiente, la cartera B vale

$$p + F_0e^{-rT}$$

donde p es el precio de la opción de venta sobre futuros. Por lo tanto,

$$c + Ke^{-rT} = p + F_0e^{-rT} \tag{14.1}$$

La diferencia entre esta relación de paridad *put-call* y la de la acción que no paga dividendos de la ecuación (9.3) es que el precio de la acción, S_0, se reemplaza con el precio de futuros descontado, F_0e^{-rT}. En el caso de las opciones americanas sobre futuros, la relación es (vea el problema 14.19)

$$F_0e^{-rT} - K < C - P < F_0 - Ke^{-rT} \tag{14.2}$$

Como se muestra en la sección 14.3, cuando el contrato de futuros subyacente vence al mismo tiempo que la opción, las opciones europeas sobre futuros y spot son iguales. Por consiguiente, la ecuación (14.1) proporciona una relación entre el precio de una opción de compra sobre el precio spot, el precio de una opción de venta sobre el precio spot y el precio de futuros cuando ambas porciones vencen al mismo tiempo que el contrato de futuros. El ejemplo 14.3 ilustra esto.

Ejemplo 14.3 Paridad *put-call* con el uso de precios de futuros

Suponga que el precio de una opción de compra europea sobre la plata spot para entrega en seis meses es de \$0.56 por onza cuando el precio de ejercicio es de \$8.50. Asuma que el precio de futuros de plata para entrega en seis meses es actualmente de \$8.00 y que la tasa de interés libre de riesgo de una inversión que vence en seis meses es de 10% anual. Con base en una reordenación de la ecuación (14.1), el precio de una opción de venta europea sobre la plata spot con el mismo vencimiento y fecha de ejercicio que la opción de compra es de

$$0.56 + 8.50e^{-0.2 \times 6/12} - 8.00e^{-0.1 \times 6/12} = 1.04$$

Podemos usar la ecuación (14.1) para opciones spot porque el precio de futuros considerado tiene el mismo vencimiento que el precio de la opción.

[1] Este análisis asume que un contrato de futuros es como un contrato a plazo y se liquida al final de su vida en vez de liquidarse diariamente.

14.5 LÍMITES PARA OPCIONES SOBRE FUTUROS

La relación *put-call* de la ecuación (14.1) proporciona límites para opciones europeas de compra y de venta. Puesto que el precio de una opción de venta, p, no puede ser negativo, se deduce de la ecuación (14.1) que

$$c + Ke^{-rT} \geqslant F_0 e^{-rT}$$

o

$$c \geqslant (F_0 - K)e^{-rT} \tag{14.3}$$

Del mismo modo, como el precio de una opción de compra no puede ser negativo, se deduce de la ecuación (14.1) que

$$Ke^{-rT} \leqslant F_0 e^{-rT} + p$$

o

$$p \geqslant (K - F_0)e^{-rT} \tag{14.4}$$

Estos límites son similares a los obtenidos para opciones sobre acciones europeas en el capítulo 9. Los precios de las opciones europeas de compra y de venta están muy próximos a sus límites inferiores cuando las opciones están *deep in the money*. Para ver por qué esto es así, regresemos a la relación de paridad *put-call* de la ecuación (14.1). Cuando una opción de compra está *deep in the money*, la opción de venta correspondiente está *deep out of the money*. Esto significa que p está muy próximo a cero. La diferencia entre c y su límite inferior es igual a p, de modo que el precio de la opción de compra debe estar muy próximo a su límite inferior. Un argumento semejante se aplica a las opciones de venta.

Puesto que las opciones americanas sobre futuros pueden ejercerse en cualquier momento, debemos tener

$$C \geqslant F_0 - K$$

y

$$P \geqslant K - F_0$$

Por lo tanto, si las tasas de interés son positivas, el límite inferior del precio de una opción americana siempre es mayor que el límite inferior del precio de una opción europea. Esto es así porque siempre hay alguna posibilidad de que una opción americana sobre futuros se ejerza anticipadamente.

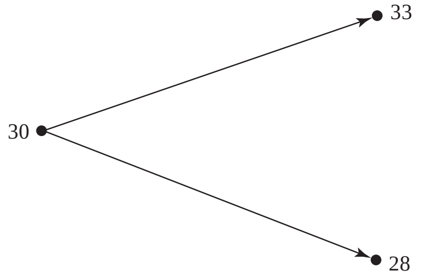
14.6 VALUACIÓN DE OPCIONES SOBRE FUTUROS UTILIZANDO ÁRBOLES BINOMIALES

Esta sección analiza, de manera más formal que el capítulo 11, cómo se usan los árboles binomiales para valuar opciones sobre futuros. Una diferencia clave entre las opciones de futuros y las opciones sobre acciones es que no hay costos iniciales cuando se ingresa a un contrato de futuros.

Suponga que el precio de futuros actual es de 30 y que subirá a 33 o bajará a 28 durante el próximo mes. Considere una opción de compra a un mes sobre el contrato de futuros, con un precio de ejercicio de 29, e ignore la liquidación diaria. La figura 14.1 indica esta situación. Si el precio de futuros resulta ser de 33, el beneficio de la opción es de 4 y el valor del contrato de futuros es de 3. Si el precio de futuros resulta ser de 28, el beneficio de la opción es de cero y el valor del contrato de futuros es de -2.[2]

[2] Aquí hay una aproximación en cuanto a que la ganancia o la pérdida sobre el contrato de futuros no se obtiene en el tiempo T, sino día a día entre el tiempo 0 y el tiempo T. No obstante, a medida que disminuye la duración del intervalo en un árbol binomial, la aproximación mejora y, en el límite, conforme el intervalo se aproxima a cero, no hay pérdida de exactitud.

Figura 14.1 Variaciones del precio de futuros en un ejemplo numérico



Para establecer una cobertura libre de riesgo, consideremos una cartera que conste de una posición corta en un contrato de opciones y una posición larga en Δ contratos de futuros. Si el precio de futuros sube a 33, el valor de la cartera es $3\Delta - 4$; si baja a 28, el valor de la cartera es -2Δ. La cartera está libre de riesgo cuando estas posiciones son iguales, es decir, cuando

$$3\Delta - 4 = -2\Delta$$

o $\Delta = 0.8$.

Para este valor de Δ sabemos que la cartera valdrá $3 \times 0.8 - 4 = -1.6$ en un mes. Asuma una tasa de interés libre de riesgo de 6%. El valor de la cartera el día de hoy debe ser

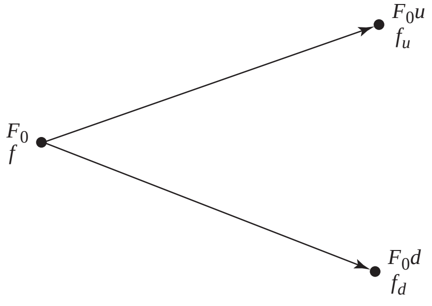
$$-1.6e^{-0.06\times 1/12} = -1.592$$

La cartera consta de una posición corta en una opción y Δ contratos de futuros. Como el valor del contrato de futuros el día de hoy es de cero, el valor de la opción el día de hoy debe ser de 1.592.

Una generalización

Podemos generalizar este análisis considerando un precio de futuros que inicia en F_0 y se anticipa que subirá a F_0u o bajará a F_0d durante el periodo T. Consideremos una opción que vence en el tiempo T y suponga que su beneficio es f_u si el precio de futuros sube y f_d si baja. La figura 14.2 resume esta situación.

Figura 14.2 Precio de futuro y precio de la opción en una situación general



En este caso, la cartera libre de riesgo consiste en una posición corta en una opción combinada con una posición larga en Δ contratos de futuros, donde

$$\Delta = \frac{f_u - f_d}{F_0 u - F_0 d}$$

Entonces, el valor de la cartera en el tiempo T siempre es

$$(F_0 u - F_0)\Delta - f_u$$

Si designamos la tasa de interés libre de riesgo como r, obtenemos el valor de la cartera el día de hoy de la manera siguiente

$$[(F_0 u - F_0)\Delta - f_u]e^{-rT}$$

Otra expresión para el valor presente de la cartera es $-f$, donde f es el valor de la opción el día de hoy. Se deduce que

$$-f = [(F_0 u - F_0)\Delta - f_u]e^{-rT}$$

Si sustituimos Δ y simplificamos la ecuación, ésta se reduce a

$$f = e^{-rT}[pf_u + (1-p)f_d] \tag{14.5}$$

donde

$$p = \frac{1-d}{u-d} \tag{14.6}$$

Esto concuerda con el resultado de la sección 11.9.

En el ejemplo numérico considerado anteriormente (vea la figura 14.1), $u = 1.1$, $d = 0.9333$, $r = 0.06$, $T = 1/12$, $f_u = 4$ y $f_d = 0$. Con base en la ecuación (14.6),

$$p = \frac{1 - 0.9333}{1.1 - 0.9333} = 0.4$$

y, con base en ecuación (14.5),

$$f = e^{-0.06 \times 1/12}[0.4 \times 4 + 0.6 \times 0] = 1.592$$

Este resultado concuerda con la respuesta obtenida anteriormente para este ejemplo.

14.7 PRECIO DE FUTUROS COMO UN ACTIVO QUE PROPORCIONA UN RENDIMIENTO

Hay un resultado general que hace que el análisis de las opciones sobre futuros sea semejante al análisis de las opciones sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos. Este resultado es que los precios de futuros se comportan de la misma forma que una acción que paga un rendimiento de dividendos igual a la tasa de interés libre de riesgo doméstica, r.

Una señal de que esto podría ser así se obtiene comparando las ecuaciones (14.5) y (14.6) con las (13.7) y (13.8). Estas dos series de ecuaciones son idénticas cuando establecemos que $q = r$. Otra señal es que los límites inferiores de los precios de opciones sobre futuros y la relación de paridad entre opciones de venta y de compra para los precios de opciones sobre futuros son iguales que los de las opciones sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos a la tasa q cuando el precio de la acción se reemplaza por el precio de futuros y $q = r$.

Podemos entender el resultado general teniendo presente que un contrato de futuros requiere una inversión de cero. En un mundo neutral al riesgo, el beneficio esperado de mantener una posición en una inversión cuyo establecimiento no cuesta nada debe ser de cero. Por consiguiente, el beneficio esperado de un contrato de futuros en un mundo neutral al riesgo debe ser de cero. Se deduce que la tasa de crecimiento esperada del precio de futuros en un mundo neutral al riesgo debe ser de cero. Como se señaló en el capítulo 13, una acción que paga un dividendo a la tasa q crece a una tasa esperada de $r - q$ en un mundo neutral al riesgo. Si establecemos $q = r$, la tasa de crecimiento esperada del precio de la acción es de cero, lo que la hace semejante a un precio de futuros.

14.8 MODELO DE BLACK PARA VALUAR OPCIONES SOBRE FUTUROS

Las opciones europeas sobre futuros pueden valuarse con las ecuaciones (13.4) y (13.5), si $q = r$. Fischer Black fue el primero en mostrar esto en un artículo publicado en 1976. El supuesto subyacente es que los precios de futuros tienen la misma propiedad logarítmica normal que asumimos para los precios de las acciones en el capítulo 12. Las ecuaciones (13.4) y (13.5) proporcionan el precio de una opción de compra europea, c, y el precio de una opción de venta europea, p, para una opción sobre futuros, reemplazando S_0 por F_0 y $q = r$:

$$c = e^{-rT}[F_0 N(d_1) - KN(d_2)] \qquad \textbf{(14.7)}$$

$$p = e^{-rT}[KN(-d_2) - F_0 N(-d_1)] \qquad \textbf{(14.8)}$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln(F_0/K) + \sigma^2 T/2}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(F_0/K) - \sigma^2 T/2}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Ejemplo 14.4 Valuación de una opción europea sobre futuros

Considere una opción de venta europea sobre futuros de petróleo crudo. El tiempo al vencimiento de la opción es de cuatro meses, el precio de futuros actual es de \$60, el precio de ejercicio es de \$60, la tasa de interés libre de riesgo es de 9% anual y la volatilidad del precio de futuros es de 25% anual. En este caso, $F_0 = 60$, $K = 60$, $r = 0.09$, $T = 4/12$, $\sigma = 0.25$ y $\ln(F_0/K) = 0$, de tal manera que

$$d_1 = \frac{\sigma\sqrt{T}}{2} = 0.07216$$

$$d_2 = -\frac{\sigma\sqrt{T}}{2} = -0.07216$$

$$N(-d_1) = 0.4712, \qquad N(-d_2) = 0.5288$$

y el precio de la opción de venta p se obtiene por medio de

$$p = e^{-0.09\times 4/12}(60 \times 0.5288 - 60 \times 0.4712) = 3.35$$

o \$3.35.

σ es la volatilidad del precio de futuros y T es el tiempo al vencimiento de la opción (no del contrato de futuros). El ejemplo 14.4 ilustra estas fórmulas.

Uso del modelo de Black en vez del modelo de Black-Scholes

Los resultados de la sección 14.3 muestran que las opciones sobre futuros y las opciones spot son equivalentes cuando el contrato sobre opciones vence al mismo tiempo que el contrato de futuros. Por lo tanto, las ecuaciones (14.7) y (14.8) proporcionan una manera de calcular el valor de las opciones europeas sobre el precio spot de un activo. Esto se ilustra en el ejemplo 14.5.

Los negociantes prefieren usar el modelo de Black en vez del modelo de Black-Scholes para valuar opciones europeas sobre una amplia gama de activos subyacentes. La variable F_0 en las ecuaciones (14.7) y (14.8) se establece igual al precio de futuros o a plazo del activo subyacente de un contrato que vence al mismo tiempo que la opción. Las ecuaciones (13.11) y (13.12) son ejemplos del modelo de Black cuando se usa para valuar opciones europeas sobre el valor spot de una divisa. En este caso, el modelo de Black evita la necesidad de calcular explícitamente la tasa de interés libre de riesgo extranjera. Otro uso común del modelo de Black consiste en valuar una opción europea sobre el valor spot de un índice bursátil en términos de los precios de futuros o a plazo del índice. En este caso, los dividendos pagados por la cartera subyacente al índice no necesitan calcularse explícitamente.

14.9 OPCIONES AMERICANAS SOBRE FUTUROS FRENTE A OPCIONES AMERICANAS SPOT

En la práctica, las opciones sobre futuros negociadas suelen ser americanas. Si asumimos que la tasa de interés libre de riesgo, r, es positiva, siempre hay alguna posibilidad de que lo óptimo sea ejercer en forma anticipada una opción americana sobre futuros. Por consiguiente, las opciones americanas sobre futuros valen más que sus contrapartes europeas.

En general, no es cierto que una opción americana sobre futuros valga lo mismo que la correspondiente opción americana spot cuando los contratos de futuros y de opciones tienen el mismo vencimiento.[3] Por ejemplo, suponga que existe un mercado normal con precios de futuros consistentemente más altos que los precios spot antes del vencimiento. Esto ocurre con la mayoría de los índices bursátiles, el oro, la plata, las divisas con interés bajo y algunos commodities. Una opción de compra americana sobre futuros debe valer más que la opción de compra americana spot correspondiente. La razón es que en algunas situaciones la opción sobre futuros se ejercerá de manera anticipada, en cuyo caso proporcionará un beneficio mayor al tenedor. Del mismo modo, una opción de venta americana sobre futuros debe valer menos que la opción de venta americana spot correspondiente. Si hay un mercado invertido con precios de futuros consistentemente más bajos que los precios spot, como ocurre con las divisas de interés alto y algunos commodities, lo contrario debe ser lo cierto. Las opciones de compra americanas sobre futuros valen menos que la opción de compra americana spot correspondiente, en tanto que las opciones de venta americanas sobre futuros valen más que la opción de venta americana spot correspondiente.

Las diferencias que acabamos de describir entre las opciones americanas sobre futuros y las opciones americanas spot son ciertas cuando el contrato de futuros vence después que el contrato de opciones, así como cuando ambos vencen al mismo tiempo. De hecho, cuanto más tarde venza el contrato de futuros, las diferencias tenderán a ser mayores.

[3] La opción spot "correspondiente" a una opción sobre futuros se define aquí como una opción que tiene el mismo precio de ejercicio y la misma fecha de vencimiento.

Ejemplo 14.5 Valuación de una opción spot utilizando precios de futuros

Considere una opción de compra europea a seis meses sobre el precio spot del oro, es decir, una opción para comprar una onza de oro en seis meses. El precio de ejercicio es de $600, el precio de futuros de oro a seis meses es de $620, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual y la volatilidad del precio de futuros es de 20%. La opción es igual a una opción europea a seis meses sobre el contrato de futuros a seis meses. Por lo tanto, la ecuación (14.7) proporciona el valor de la opción de la manera siguiente

$$e^{-0.05\times 0.5}[620N(d_1) - 600N(d_2)]$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln(620/600) + 0.2^2 \times 0.5/2}{0.2 \times \sqrt{0.5}} = 0.3026$$

$$d_2 = \frac{\ln(620/600) - 0.2^2 \times 0.5/2}{0.2 \times \sqrt{0.5}} = 0.1611$$

Este valor es de $44.19.

RESUMEN

Las opciones sobre futuros requieren la entrega del contrato de futuros subyacente al ejercicio de la opción. Cuando se ejerce una opción de compra, el tenedor adquiere una posición larga en un contrato de futuros más un monto en efectivo igual al excedente del precio de futuros sobre el precio de ejercicio. Igualmente, cuando se ejerce una opción de venta, el tenedor adquiere una posición corta más un monto en efectivo igual al excedente del precio de ejercicio sobre el precio de futuros. El contrato de futuros que se entrega vence usualmente un poco después que la opción.

Un precio de futuros se comporta de la misma forma que una acción que proporciona un rendimiento de dividendos igual a la tasa de interés libre de riesgo, r. Esto significa que los resultados obtenidos en el capítulo 13 para opciones sobre acciones que pagan un rendimiento de dividendos, se aplican a las opciones sobre futuros si reemplazamos el precio de la acción por el precio de futuros y establecemos el rendimiento de dividendos igual a la tasa de interés libre de riesgo. Fischer Black fue el primero en crear fórmulas de valuación para opciones europeas sobre futuros en 1976. Dichas fórmulas asumen que el precio de futuros tiene una distribución logarítmica normal al vencimiento de la opción.

Si las fechas de vencimiento de los contratos de opción y de futuros son iguales, una opción europea sobre futuros vale exactamente lo mismo que la opción europea spot correspondiente. Esto no es verdadero para las opciones americanas. Si el mercado de futuros es normal, una opción de compra americana sobre futuros vale más que la opción de compra americana spot correspondiente, en tanto que una opción de venta americana sobre futuros vale menos que la opción de venta americana spot correspondiente. Si el mercado de futuros está invertido, lo contrario es lo cierto.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Black, F. "The Princing of Commodity Contracts", *Journal of Financial Economics*, 3 (1976), pp. 167-79.

Hilliard, J.E. y J. Reis. "Valuation of Commodity Futures and Options under Stochastic Convenience Yields, Interest Rates, and Jump Diffusions in the Spot", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 33, 1 (marzo de 1998), pp. 61-86.

Miltersen, K.R. y E.S. Schwartz. "Pricing of Options on Commodity Futures with Stochastic Term Structures of Convenience Yields and Interest Rates", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 33, 1 (marzo de 1998), pp. 33-59.

Examen (respuestas al final del libro)

14.1. Explique la diferencia entre una opción de compra sobre yenes y una opción de compra de futuros sobre yenes.

14.2. ¿Por qué las opciones de futuros sobre bonos se negocian en forma más activa que las opciones sobre bonos?

14.3. "Un precio de futuros es como una acción que paga un rendimiento de dividendos". ¿Cuál es el rendimiento de dividendos?

14.4. Un precio de futuros es actualmente de 50. Al término de seis meses será de 56 o 46. La tasa de interés libre de riesgo es de 6% anual. ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a seis meses con un precio de ejercicio de 50?

14.5. ¿Cómo difiere la fórmula de la paridad entre opciones de venta y de compra para una opción sobre futuros de la paridad entre opciones de venta y de compra para una opción sobre una acción que no paga dividendos?

14.6. Considere una opción de compra americana sobre futuros en la que el contrato de futuros y el contrato de la opción vencen al mismo tiempo. ¿En qué circunstancias la opción sobre futuros vale más que la opción americana correspondiente sobre el activo subyacente?

14.7. Calcule el valor de una opción de venta europea sobre futuros a cinco meses cuando el precio de futuros es de $19, el precio de ejercicio es de $20, la tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual y la volatilidad del precio de futuros es de 20% anual.

Preguntas y problemas

14.8. Suponga que usted compra un contrato de opción de venta sobre futuros de oro de octubre, con un precio de ejercicio de $400 por onza. Cada contrato entrega 100 onzas. ¿Qué sucede si usted ejerce el contrato cuando el precio de futuros de octubre es de $380?

14.9. Suponga que usted vende un contrato de opción de compra sobre futuros de ganado bovino en pie de abril, con un precio de ejercicio de $0.70 por libra. Cada contrato entrega 40,000 libras. ¿Qué ocurre si el contrato se ejerce cuando el precio de futuros es de $0.75?

14.10. Considere una opción de compra sobre futuros a dos meses, con un precio de ejercicio de 40, cuando la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual. El precio de futuros actual es de 47. ¿Cuál es un límite inferior para el valor de la opción sobre futuros si ésta es a) europea y b) americana?

14.11. Considere una opción de venta sobre futuros a cuatro meses, con un precio de ejercicio de 50, cuando la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual. El precio de futuros actual es de 47. ¿Cuál es un límite inferior para el valor de la opción sobre futuros si ésta es a) europea y b) americana?

14.12. Un precio de futuros es actualmente de 60. Se sabe que en cada uno de los dos trimestres siguientes aumentará o disminuirá 10%. La tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a seis meses sobre el contrato de futuros, con un precio de ejercicio de 60? Si la opción de compra fuera americana, ¿valdría la pena ejercerla alguna vez de manera anticipada?

14.13. En el problema 14.12, ¿cuál es el valor de una opción de venta europea a seis meses sobre un contrato de futuros, con un precio de ejercicio de 60? Si la opción de venta fuera americana, ¿valdría la pena ejercerla alguna vez de manera anticipada? Compruebe que los precios de la opción de compra calculados en el problema 14.12 y los precios de la opción de venta calculados aquí satisfagan las relaciones de paridad entre opciones de venta y de compra.

14.14. Un precio de futuros es actualmente de 25, su volatilidad es de 30% anual y la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual. ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a nueve meses sobre el contrato de futuros, con un precio de ejercicio de 26?

14.15. Un precio de futuros es actualmente de 70, su volatilidad es de 20% anual y la tasa de interés libre de riesgo es de 6% anual. ¿Cuál es el valor de una opción de venta europea a cinco meses sobre el contrato de futuros, con un precio de ejercicio de 65?

14.16. Suponga que un precio de futuros a un año es actualmente de 35. Una opción de compra europea a un año y una opción de venta europea a un año sobre el contrato de futuros, con un precio de ejercicio de 34, se valúan en 2 en el mercado. La tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual. Identifique una oportunidad de arbitraje.

14.17. “El precio de una opción de compra europea sobre futuros *at the money* siempre es igual al precio de una opción de venta europea sobre futuros *at the money* similar”. Explique por qué esta declaración es cierta.

14.18. Suponga que un precio de futuros es actualmente de 30. La tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual. Una opción de compra americana sobre futuros a tres meses, con un precio de ejercicio de 28, tiene un valor de 4. Calcule los límites de precio de una opción de venta americana sobre futuros a tres meses, con un precio de ejercicio de 28.

14.19. Demuestre que, si C es el precio de una opción de compra americana sobre un contrato de futuros cuando el precio de ejercicio es K y el vencimiento es T, y P es el precio de una opción de venta americana sobre el mismo contrato de futuros, con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento, entonces

$$F_0e^{-rT} - K < C - P < F_0 - Ke^{-rT}$$

donde F_0 es el precio de futuros y r es la tasa de interés libre de riesgo. Asuma que $r > 0$ y que no hay ninguna diferencia entre los contratos a plazo y de futuros. (*Sugerencia*: siga un método análogo al indicado en el problema 13.12).

14.20. Calcule el precio de una opción de compra europea a tres meses sobre el valor spot de la plata. El precio de futuros a tres meses es de \$12, el precio de ejercicio es de \$13, la tasa de interés libre de riesgo es de 4% y la volatilidad del precio de la plata es de 25%.

Preguntas de tarea

14.21. Un precio de futuros es actualmente de 40. Se sabe que al término de tres meses el precio será de 35 o 45. ¿Cuál es el valor de una opción de compra europea a tres meses sobre el contrato de futuros, con un precio de ejercicio de 42, si la tasa de interés libre de riesgo es de 7% anual?

14.22. Calcule la volatilidad implícita de los precios de futuros de soya con base en la siguiente información relacionada con una opción de venta europea sobre futuros de soya:

Precio de futuros actual	525
Precio de ejercicio	525
Tasa de interés libre de riesgo	6% anual
Tiempo al vencimiento	5 meses
Precio de la opción de venta	20

14.23. Hoy es 4 de febrero. Las opciones de compra de julio sobre futuros de maíz, con precios de ejercicio de 260, 270, 280, 290 y 300 cuestan 26.75, 21.25, 17.25, 14.00 y 11.375, respectivamente. Las opciones de venta de julio con estos precios de ejercicio cuestan 8.50, 13.50, 19.00, 25.625 y 32.625, respectivamente. Las opciones vencen el 19 de junio, el precio de futuros actual de maíz de julio es de 278.25 y la tasa de interés libre de riesgo es de 1.1%. Calcule las volatilidades implícitas de las opciones con el software DerivaGem. Comente los resultados que obtenga.

14.24. Calcule el precio de una opción de venta europea a seis meses sobre el valor spot del índice S&P 500. El precio a plazo a seis meses del índice es de 1,400, el precio de ejercicio es de 1,450, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% y la volatilidad del índice es de 15%.

15

CAPÍTULO

Las letras griegas

Una institución financiera que vende una opción a un cliente en el mercado over-the-counter se enfrenta al problema de manejar su riesgo. Si resulta que la opción es igual a una que se negocia en una bolsa, la institución financiera puede neutralizar su exposición al comprar en la bolsa la misma opción que había vendido. Sin embargo, cuando la opción se ha adaptado a las necesidades de un cliente y no corresponde a los productos estandarizados que se negocian en las bolsas, la cobertura a la exposición es más difícil.

En este capítulo analizamos algunos de los métodos alternativos para resolver este problema. Abordamos lo que se conoce comúnmente como las "letras griegas" o simplemente las "griegas". Cada letra griega mide un aspecto diferente del riesgo en una posición en opciones y el objetivo de un negociante es manejar las letras griegas de tal manera que todos los riesgos sean aceptables. El análisis presentado en este capítulo se aplica a los creadores de mercado de opciones que operan en una bolsa, así como a los negociantes over-the-counter que trabajan para instituciones financieras.

Hacia el final del capítulo consideraremos la creación sintética de opciones. Esto se relaciona de cerca con la cobertura de opciones. La creación sintética de una posición en opciones es básicamente la misma tarea que cubrir la posición opuesta en opciones. Por ejemplo, crear sintéticamente una posición larga en una opción de compra es igual a cubrir una posición corta en la opción de compra.

15.1 EJEMPLO

En las secciones siguientes usamos como ejemplo la posición de una institución financiera que vendió en \$300,000 una opción de compra europea sobre 100,000 acciones de una acción que no paga dividendos. Asumimos que el precio de la acción es de \$49, el precio de ejercicio es de \$50, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual, la volatilidad del precio de la acción es de 20% anual, el tiempo al vencimiento es de 20 semanas (0.3846 años) y el rendimiento esperado de la acción es de 13% anual.[1] Con nuestra notación usual, esto significa que

$$S_0 = 49, \quad K = 50, \quad r = 0.05, \quad \sigma = 0.20, \quad T = 0.3846, \quad \mu = 0.13$$

[1] Como se muestra en los capítulos 11 y 12, el rendimiento esperado es irrelevante para valuar una opción. Se proporciona aquí porque puede tener alguna influencia en la eficacia de un plan de cobertura.

El precio de Black-Scholes de la opción es aproximadamente de $240,000. Por lo tanto, la institución financiera vendió la opción en $60,000 más que su valor teórico, pero se enfrenta al problema de cubrir los riesgos.[2]

15.2 POSICIONES DESCUBIERTAS Y CUBIERTAS

Una estrategia disponible para la institución financiera es no hacer nada. En ocasiones, esto se conoce como adoptar una *posición descubierta*. Esta estrategia funciona bien si el precio de la acción está por debajo de $50 al final de las 20 semanas. Entonces, la opción no le cuesta nada a la institución financiera y ésta obtiene una utilidad de $300,000. Una posición descubierta no funciona tan bien si la opción de compra se ejerce porque la institución financiera debe entonces comprar 100,000 acciones al precio de mercado vigente en 20 semanas para cubrir la opción de compra. El costo para la institución financiera es 100,000 veces el monto en que el precio de la acción excede al precio de ejercicio. Por ejemplo, si después de 20 semanas el precio de la acción es de $60, la opción cuesta a la institución financiera $1,000,000. Este monto es mucho mayor que los $300,000 cobrados por la opción.

Como una alternativa a la posición descubierta, la institución financiera puede adoptar una *posición cubierta*. Esto consiste en comprar 100,000 acciones tan pronto como se venda la opción. Si la opción se ejerce, esta estrategia funciona bien, pero en otras circunstancias podría generar una pérdida significativa. Por ejemplo, si el precio de la acción baja a $40, la institución financiera pierde $900,000 sobre su posición accionaria. Este monto es considerablemente mayor que los $300,000 cobrados por la opción.[3]

Ninguna de las dos posiciones, descubierta o cubierta, proporciona una buena cobertura. Si se sostienen los supuestos subyacentes a la fórmula de Black-Scholes, el costo para la institución financiera debe ser siempre de $240,000 en promedio para ambas estrategias.[4] No obstante, en alguna ocasión el costo puede variar de cero a más de $1,000,000. Una buena cobertura garantizaría que el costo siempre fuera cercano a $240,000.

15.3 ESTRATEGIA *STOP-LOSS*

Un plan de cobertura interesante, propuesto en ocasiones, consiste en una *estrategia stop-loss* (o estrategia para frenar pérdidas). Para ilustrar la idea básica, consideremos una institución que suscribió una opción de compra con un precio de ejercicio K para adquirir una unidad de una acción. El plan de cobertura consiste en comprar una unidad de la acción tan pronto como su precio aumente por arriba de K y venderla tan pronto como su precio disminuya por debajo de K. El objetivo es mantener una posición descubierta siempre que el precio de la acción sea menor que K y una posición cubierta siempre que sea mayor que K. El plan está diseñado para garantizar que, en el tiempo T, la institución posea la acción si la opción cierra *in the money* y que no la posea si la opción cierra *out of the money*. Al parecer, la estrategia produce beneficios iguales a los beneficios obtenidos de la opción. En la situación que se ilustra en la figura 15.1, esta estrategia consiste en comprar

[2] Una opción de compra sobre una acción que no paga dividendos es un ejemplo conveniente para desarrollar nuestras ideas. Los argumentos que expondremos se aplican tanto a otros tipos de opciones como a otros derivados.

[3] La paridad *put-call* muestra que la exposición por suscribir una opción de compra cubierta es igual a la exposición por suscribir una opción de venta descubierta.

[4] De manera más precisa, el valor presente del costo esperado es de $240,000 para ambas estrategias, si asumimos que se usan las tasas de descuento adecuadas ajustadas al riesgo.

la acción en el tiempo t_1, venderla en el tiempo t_2, comprarla en el tiempo t_3, venderla en el tiempo t_4, comprarla en el tiempo t_5 y entregarla en el tiempo T.

Como siempre, representamos el precio inicial de la acción como S_0. El costo inicial de establecer la cobertura es S_0 si $S_0 > K$ o igual a cero en caso contrario. Al parecer, el costo total, Q, de suscribir y cubrir la opción es igual al valor intrínseco de la opción:

$$Q = \text{máx}(S_0 - K, 0) \qquad \textbf{(15.1)}$$

Esto se debe a que todas las compras y ventas posteriores al tiempo cero se realizan al precio K. Si esto fuera correcto, el plan de cobertura funcionaría perfectamente al no haber costos de transacción. Además, el costo de cubrir la opción siempre sería menor que su precio de Black-Scholes. Por consiguiente, un inversionista podría obtener beneficios libres de riesgo al suscribir opciones y cubrirlas.

Hay dos razones básicas por las que la ecuación (15.1) es incorrecta. La primera es que los flujos de efectivo para el coberturista ocurren en diferentes tiempos y deben descontarse. La segunda es que las compras y ventas no pueden realizarse exactamente al mismo precio K. Este segundo punto es decisivo. Si asumimos un mundo neutral al riesgo con tasas de interés de cero, podemos justificar que se ignore el valor del dinero en el tiempo. Sin embargo, no podemos asumir legítimamente que tanto las compras como las ventas se realicen al mismo precio. Si los mercados son eficientes, el coberturista no puede saber si, cuando el precio de la acción es igual a K, continuará por arriba o por debajo de K.

En la práctica, las compras deben realizarse a un precio de $K + \epsilon$ y las ventas a un precio de $K - \epsilon$, para alguna cifra positiva pequeña, ϵ. Por lo tanto, cada compra y venta posterior implica un costo (independiente de los costos de transacción) de 2ϵ. Una respuesta natural de parte del coberturista es vigilar las variaciones de precio de manera más cercana de tal modo que ϵ se reduzca. Si asumimos que los precios de las acciones cambian continuamente, ϵ puede reducirse arbitrariamente vigilando de cerca los precios de las acciones. No obstante, a medida que ϵ se reduce, las negociaciones ocurren con mayor frecuencia. Por consiguiente, el costo más bajo por transacción se

Figura 15.1 Estrategia *stop-loss*

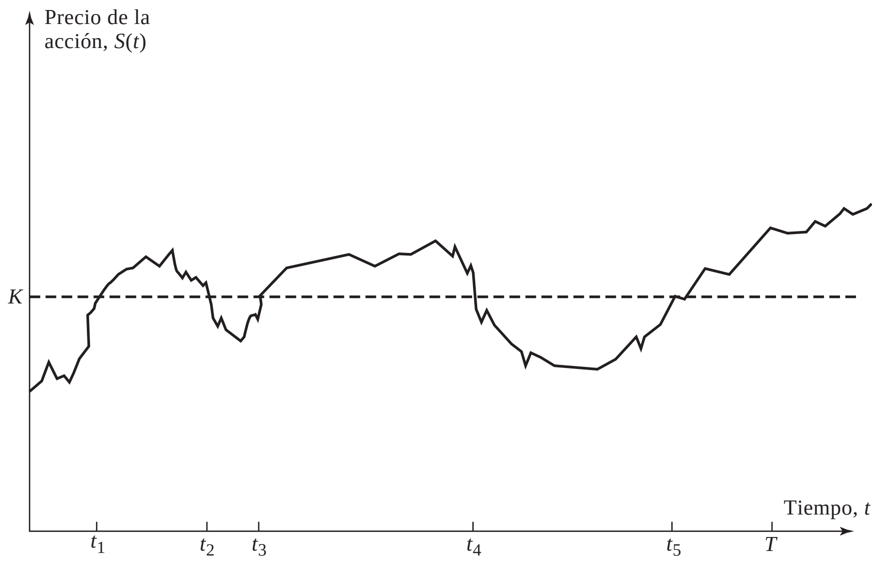


Tabla 15.1 Desempeño de la estrategia *stop-loss*. (La medida de desempeño es la relación entre la desviación estándar del costo de suscribir y cubrir la opción para el precio teórico de la opción)

Δt (semanas):	5	4	2	1	0.5	0.25
Desempeño de la cobertura	1.02	0.93	0.82	0.77	0.76	0.76

compensa con el aumento de la frecuencia de las negociaciones. A medida que $\epsilon \to 0$, el número esperado de transacciones tiende al infinito.

Una estrategia *stop-loss*, aunque es atractiva a simple vista, no funciona particularmente bien como un plan de cobertura. Considere su uso para una opción *out of the money*. Si el precio de la acción nunca llega al precio de ejercicio de K, el plan de cobertura no cuesta nada. Si la trayectoria del precio de la acción cruza el nivel del precio de ejercicio muchas veces, el plan es muy costoso. La simulación Monte Carlo se usa para evaluar el desempeño general de la cobertura *stop-loss*. Esto consiste en realizar un muestreo al azar de las trayectorias del precio de la acción y observar los resultados del uso del plan. La tabla 15.1 muestra los resultados de la opción considerada en la sección 15.1. Esta tabla asume que el precio de la acción se observa al final de intervalos de tiempo con una duración Δt.[5] La medida de desempeño de la cobertura es la relación entre la desviación estándar del costo de cubrir la opción y el precio Black-Scholes de la opción. Cada resultado se basa en 1,000 trayectorias de muestra del precio de la acción y tiene un error estándar aproximado de 2%. Aparentemente, es imposible producir un valor para la medida de desempeño de la cobertura por debajo de 0.70, independientemente de qué tan pequeño sea Δt.

15.4 COBERTURA DELTA

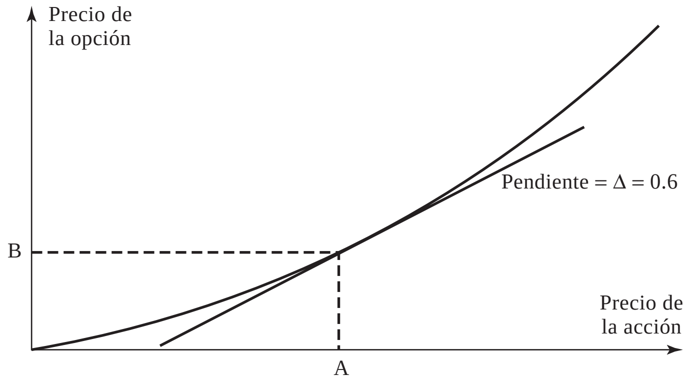
La mayoría de los negociantes usa planes de cobertura más complejos que los mencionados hasta ahora. Estos planes consisten en calcular medidas como delta, gamma y vega. En esta sección analizamos el rol de delta.

La *delta* de una opción, Δ, se presentó en el capítulo 11 y se define como la tasa de cambio del precio de la opción con respecto al precio del activo subyacente. La pendiente de la curva relaciona el precio de la opción con el precio del activo subyacente. Suponga que la delta de una opción de compra sobre una acción es de 0.6. Esto significa que cuando el precio de la acción cambia en un monto pequeño, el precio de la opción cambia alrededor de 60% de ese monto. La figura 15.2 muestra la relación entre el precio de una opción de compra y el precio de la acción subyacente. Cuando el precio de la acción corresponde al punto A, el precio de la opción corresponde al punto B y Δ es la pendiente de la línea indicada. En general, la delta de una opción de compra equivale a $\Delta c/\Delta S$, donde ΔS es un pequeño cambio en el precio de la acción y Δc es el cambio resultante en el precio de la opción de compra.

Suponga que, en la figura 15.2, el precio de la acción es de \$100 y el precio de la opción es de \$10. Considere a un negociante que trabaja para una institución financiera y que vende 20 contra-

[5] La regla de cobertura precisa que se usó fue la siguiente. Si el precio de la acción sube de un nivel inferior a K a un nivel superior a K en un intervalo de tiempo con una duración Δt, la acción se compra al final del intervalo. Si baja de un nivel superior a K a un nivel inferior a K en el mismo intervalo de tiempo, la acción se vende al final del intervalo. De otro modo, no se lleva a cabo ninguna acción.

Figura 15.2 Cálculo de la delta



tos de opciones de compra sobre una acción, es decir, opciones para comprar 2,000 acciones. La posición del negociante podría cubrirse mediante la compra de $0.6 \times 2{,}000 = 1{,}200$ acciones. La ganancia (pérdida) sobre la posición en las opciones se compensaría con la pérdida (ganancia) sobre la posición en la acción. Por ejemplo, si el precio de la acción sube $1 (produciendo una ganancia de $1,200 sobre las acciones compradas), el precio de la opción subirá $0.6 \times \$1 = \$0.60$ (produciendo una pérdida de $1,200 sobre las opciones suscritas); si el precio de la acción baja $1 (produciendo una pérdida de $1,200 sobre las acciones compradas), el precio de la opción bajará $0.60 (produciendo una ganancia de $1,200 sobre las opciones suscritas).

En este ejemplo, la delta de la posición del negociante en las opciones es de $0.6 \times (-2{,}000) = -1{,}200$. En otras palabras, el negociante pierde $1{,}200\ \Delta S$ sobre la posición corta en las opciones cuando el precio de la acción aumenta ΔS. La delta de la acción es 1.0, de tal manera que la posición larga en 1,200 acciones tiene una delta de $+1{,}200$. Por lo tanto, la delta de la posición general del inversionista es de cero. La delta de la posición en la acción compensa la delta de la posición en las opciones. Una posición con una delta de cero se conoce como *delta neutral*.

Es importante observar que, como la delta cambia, la posición del inversionista permanece con una cobertura delta (o delta neutral) sólo durante un periodo relativamente corto. La cobertura debe ajustarse periódicamente, lo que se conoce como *reequilibrio*. En nuestro ejemplo, al final de un día, el precio de la acción podría aumentar a $110. Como se indica en la figura 15.2, un aumento en el precio de la acción ocasiona un incremento de la delta. Suponga que la delta sube de 0.60 a 0.65. Entonces sería necesario comprar $0.05 \times 2{,}000 = 100$ acciones adicionales para mantener la cobertura. Esto se ilustra en el ejemplo 15.1.

El plan de cobertura delta que acabamos de describir es un ejemplo de un *plan de cobertura dinámica*. Este plan contrasta con los *planes de cobertura estática*, en los que la cobertura se establece desde un principio y nunca se ajusta. En ocasiones, los planes de cobertura estática también se denominan *planes de cubrir y olvidarse*. La delta se relaciona estrechamente con el análisis de Black-Scholes. Como se explicó en el capítulo 12, Black y Scholes mostraron que es posible establecer una cartera libre de riesgo que consiste en una posición en una opción sobre una acción y una posición en la acción. Expresada en términos de Δ, la cartera de Black-Scholes es

$$\begin{cases} -1: & \text{opción} \\ +\Delta: & \text{unidades de la acción} \end{cases}$$

Ejemplo 15.1 Uso de cobertura delta

Un negociante que trabaja para una institución financiera vende 20 contratos de opciones de compra (2,000 opciones) sobre cierta acción. El precio de la opción es de \$10, el precio de la acción es de \$100 y la delta de la opción es de 0.6. La delta de la posición en las opciones es de $0.6 \times -2{,}000 = 1{,}200$.

Primera cobertura
El negociante compra 1,200 acciones para crear una posición delta neutral.

Cambio de precio
Durante el día siguiente, el precio de la acción aumenta a \$110 y la delta cambia a 0.65. La delta de la posición en las opciones cambia a $0.65 \times -2{,}000 = 1{,}300$.

Reequilibrio de la cobertura
El negociante compra 100 acciones adicionales para mantener la neutralidad delta.

Si usamos nuestra nueva terminología, podemos decir que Black y Scholes valuaron opciones estableciendo una posición delta neutral y demostrando que el rendimiento sobre la posición debe ser la tasa de interés libre de riesgo.

Delta de opciones europeas sobre acciones

En el caso de una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos, se puede mostrar que

$$\Delta = N(d_1)$$

donde d_1 se define como en la ecuación (12.5). El ejemplo 15.2 ilustra esta fórmula. La fórmula proporciona la delta de una posición larga en una opción de compra. La delta de una posición corta en una opción de compra es $-N(d_1)$. El uso de la cobertura delta para una posición larga en las opciones implica mantener una posición corta en $N(d_1)$ acciones por cada opción comprada. Del mismo modo, el uso de la cobertura delta para una posición corta en las opciones implica mantener una posición larga en $N(d_1)$ acciones por cada opción vendida.

En el caso de una opción de venta europea sobre una acción que no paga dividendos, la delta se obtiene por medio de

$$\Delta = N(d_1) - 1$$

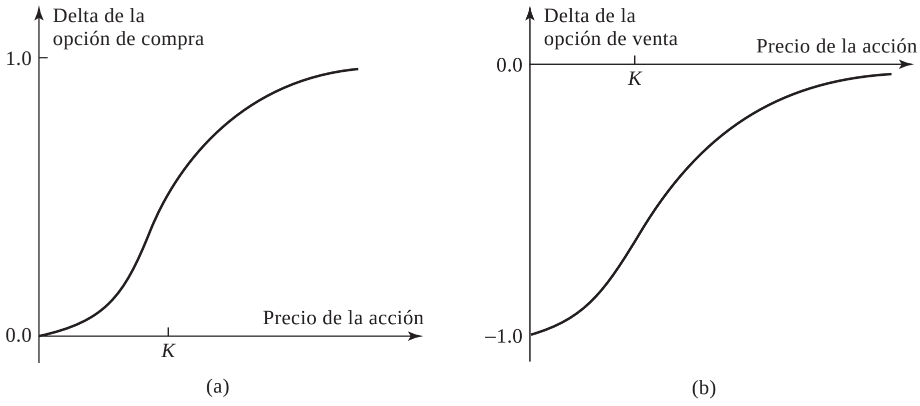
Ejemplo 15.2 Delta de una opción sobre una acción

Considere una opción de compra sobre una acción que no paga dividendos, donde el precio de la acción es de \$49, el precio de ejercicio es de \$50, la tasa de interés libre de riesgo es de 5%, el tiempo al vencimiento es de 20 semanas (= 0.3846 años) y la volatilidad es de 20%. En este caso, tenemos

$$d_1 = \frac{\ln(49/50) + (0.05 + 0.2^2) \times 0.3846}{0.2 \times \sqrt{0.3836}} = 0.0542$$

La delta es $N(d_1)$ o 0.522. Cuando el precio de la acción cambia en ΔS, el precio de la opción cambia en $0.522\Delta S$.

Figura 15.3 Variación de la delta con el precio de la acción para a) una opción de compra y b) una opción de venta sobre una acción que no paga dividendos

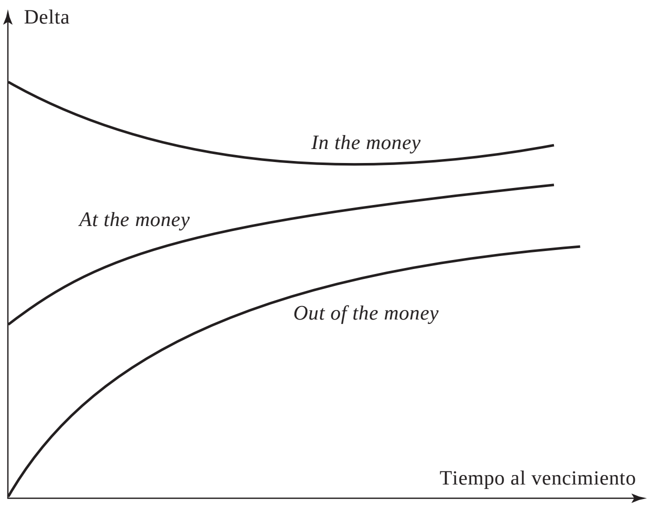


La delta es negativa, lo que significa que una posición larga en una opción de venta debe cubrirse con una posición larga en la acción subyacente, y una posición corta en una opción de venta debe cubrirse con una posición corta en la acción subyacente. La figura 15.3 muestra la variación de la delta de una opción de compra y de una opción de venta con el precio de la acción. La figura 15.4 muestra la variación de la delta con el tiempo al vencimiento de opciones de compra *in the money*, *at the money* y *out of the money*.

Aspectos dinámicos de la cobertura delta

Las tablas 15.2 y 15.3 proporcionan dos ejemplos de la operación de la cobertura delta para el ejemplo de la sección 15.1. Se asume que la cobertura se ajusta o reequilibra semanalmente. El valor

Figura 15.4 Patrones típicos de la variación de la delta con el tiempo al vencimiento de una opción de compra



inicial de la delta de la opción vendida se calcula a partir de los datos de la sección 15.1 en 0.522 (vea el ejemplo 15.2). La delta de la posición corta de la institución financiera en las opciones es de $0.522 \times -100{,}000 = -52{,}200$. Esto significa que, tan pronto como se suscribe la opción, es necesario comprar 52,200 acciones a un costo de $\$49 \times 52{,}200 = \$2{,}557{,}800$. Asumimos que este dinero se adquiere en préstamo a una tasa de interés de 5%. Por consiguiente, se incurre en un costo de interés de aproximadamente $2,500 en la primera semana.

En la tabla 15.2 el precio de la acción baja al final de la primera semana a $48.12. La delta de la opción disminuye a 0.458, de modo que la nueva delta de la posición en las opciones es de $0.458 \times -100{,}000 = -45{,}800$. Esto significa que deben venderse 6,400 acciones compradas en la semana 0 para mantener la cobertura. La estrategia obtiene $308,000 en efectivo y la deuda acumulada al término de la semana 1 se reduce a $2,252,300. Durante la segunda semana, el precio de la acción baja a $47.37, la delta disminuye nuevamente, etc. Hacia el final de la vida de la opción, es evidente que ésta se ejercerá y que su delta se aproxima a 1.0. Por lo tanto, para la semana 20 el coberturista tiene una posición totalmente cubierta. Recibe $5 millones por la acción mantenida, de modo que el costo total de suscribir y cubrir la opción es de $263,300.

La tabla 15.3 presenta una secuencia alternativa de sucesos tales que la opción cierra *out of the money*. A medida que se evidencia que la opción no se ejercerá, la delta se aproxima a cero. Para la semana 20, el coberturista tiene una posición descubierta y ha incurrido en costos que ascienden a $256,600.

Tabla 15.2 Simulación de la cobertura delta. La opción cierra *in the money* y el costo de la cobertura es de $263,300

Semana	*Precio de la acción*	*Delta*	*Acciones compradas*	*Costo de las acciones compradas ($000)*	*Costo acumulativo incluyendo el interés ($000)*	*Costo de interés ($000)*
0	49.00	0.522	52,200	2,557.8	2,557.8	2.5
1	48.12	0.458	(6,400)	(308.0)	2,252.3	2.2
2	47.37	0.400	(5,800)	(274.7	1,979.8	1.9
3	50.25	0.596	19,600	984.9	2,966.6	2.9
4	51.75	0.693	9,700	502.0	3,471.5	3.3
5	53.12	0.774	8,100	430.3	3,905.1	3.8
6	53.00	0.771	(300)	(15.9)	3,893.0	3.7
7	51.87	0.706	(6,500)	(337.2)	3,559.5	3.4
8	51.38	0.674	(3,200)	(164.4)	3,398.5	3.3
9	53.00	0.787	11,300	598.9	4,000.7	3.8
10	49.88	0.550	(23,700)	(1,182.2)	2,822.3	2.7
11	48.50	0.413	(13,700)	(664.4)	2,160.6	2.1
12	49.88	0.542	12,900	643.5	2,806.2	2.7
13	50.37	0.591	4,900	246.8	3,055.7	2.9
14	52.13	0.768	17,700	922.7	3,981.3	3.8
15	51.88	0.759	(900)	(46.7)	3,938.4	3.8
16	52.87	0.865	10,600	560.4	4,502.6	4.3
17	54.87	0.978	11,300	620.0	5,126.9	4.9
18	54.62	0.990	1,200	65.5	5,197.3	5.0
19	55.87	1.000	1,000	55.9	5,258.2	5.1
20	57.25	1.000	0	0.0	5,263.3	

Tabla 15.3 Simulación de la cobertura delta. La opción cierra *out of the money* y el costo de la cobertura es = $256,600

Semana	*Precio de la acción*	*Delta*	*Acciones compradas*	*Costo de las acciones compradas ($000)*	*Costo acumulativo incluyendo el interés ($000)*	*Costo de interés ($000)*
0	49.00	0.522	52,200	2,557.8	2,557.8	2.5
1	49.75	0.568	4,600	228.9	2,789.2	2.7
2	52.00	0.705	13,700	712.4	3,504.3	3.4
3	50.00	0.579	(12,600)	(630.0)	2,877.7	2.8
4	48.38	0.459	(12,000)	(580.6)	2,299.9	2.2
5	48.25	0.443	(1,600)	(77.2)	2,224.9	2.1
6	48.75	0.475	3,200	156.0	2,383.0	2.3
7	49.63	0.540	6,500	322.6	2,707.9	2.6
8	48.25	0.420	(12,000)	(579.0)	2,131.5	2.1
9	48.25	0.410	(1,000)	(48.2)	2,085.4	2.0
10	51.12	0.658	24,800	1,267.8	3,355.2	3.2
11	51.50	0.692	3,400	175.1	3,533.5	3.4
12	49.88	0.542	(15,000)	(748.2)	2,788.7	2.7
13	49.88	0.538	(400)	(20.0)	2,771.4	2.7
14	48.75	0.400	(13,800)	(672.7)	2,101.4	2.0
15	47.50	0.236	(16,400)	(779.0)	1,324.4	1.3
16	48.00	0.261	2,500	120.0	1,445.7	1.4
17	46.25	0.062	(19,900)	(920.4)	526.7	0.5
18	48.13	0.183	12,100	582.4	1,109.6	1.1
19	46.63	0.007	(17,600)	(820.7)	290.0	0.3
20	48.12	0.000	(700)	(33.7)	256.6	

En las tablas 15.2 y 15.3, cuando los costos de la cobertura de la opción se descuentan al inicio del periodo, se aproximan al precio de Black-Scholes de $240,000, aunque no son del todo iguales a éste. Si el plan de cobertura funcionara de manera perfecta, el costo de la cobertura, después de descontarlo, sería exactamente igual al precio de Black-Scholes para cada trayectoria simulada del precio de la acción. La razón de la variación del costo de la cobertura delta es que la cobertura se reequilibra sólo una vez por semana. A medida que el reequilibrio se realiza con más frecuencia, disminuye la variación del costo de la cobertura. Por supuesto, los ejemplos presentados en las tablas 15.2 y 15.3 son poco realistas en cuanto a que asumen que la volatilidad es constante y no hay costos de transacción.

Tabla 15.4 Desempeño de la cobertura delta. La medida de desempeño es la relación entre la desviación estándar del costo de suscribir y cubrir la opción y el precio teórico de la opción

Tiempo entre el reequilibrio de la cobertura (semanas):	5	4	2	1	0.5	0.25
Medida de desempeño:	0.43	0.39	0.26	0.19	0.14	0.09

La tabla 15.4 muestra las estadísticas del desempeño de la cobertura delta con base en 1,000 trayectorias al azar del precio de la acción de nuestro ejemplo. Al igual que en la tabla 15.1, la medida de desempeño es la relación entre la desviación estándar del costo de cubrir la opción y el precio de Black-Scholes de la opción. Es evidente que la cobertura delta es un gran adelanto sobre la estrategia *stop-loss*. A diferencia de esta estrategia, la estrategia de cobertura delta mejora constantemente conforme la cobertura se vigila con más frecuencia.

La cobertura delta tiene como objetivo mantener el valor de la posición de la institución financiera tan constante como sea posible. Inicialmente, el valor de la opción suscrita es de $240,000. En la situación presentada en la tabla 15.2, el valor de la opción se calcula en $414,500 en la semana 9. Por consiguiente, la institución financiera perdió $174,500 sobre su posición corta en las opciones. Su posición de caja, medida por el costo acumulativo, es peor en $1,442,900 en la semana 9 que en la semana 0. El valor de las acciones mantenidas aumentó de $2,557,800 a $4,171,100. El efecto neto de todo esto es que el valor de la posición de la institución financiera cambió sólo en $4,100 durante el periodo de nueve semanas.

Procedencia del costo

El procedimiento de cobertura delta presentado en las tablas 15.2 y 15.3 crea sintéticamente una posición larga en la opción. Esto neutraliza la posición corta que la institución financiera creó al suscribir la opción. Como muestran las tablas, la cobertura delta de una posición corta implica generalmente vender la acción justo después de que su precio haya disminuido y comprarla justo después de que su precio haya aumentado. ¡Esto podría denominarse una estrategia de negociación de comprar alto y vender bajo! El costo de $240,000 proviene de la diferencia promedio entre el precio pagado por la acción y el precio obtenido por ella.

Delta de una cartera

La delta de una cartera de opciones o de otros derivados que depende de un solo activo cuyo precio es S se obtiene por medio de

$$\frac{\Delta\Pi}{\Delta S}$$

donde ΔS es un pequeño cambio en el precio del activo y $\Delta\Pi$ es el cambio resultante en el valor de la cartera.

La delta de la cartera puede calcularse a partir de las deltas de las opciones individuales incluidas en la cartera. Si una cartera consiste en una cantidad w_i de la opción $i(1 \leqslant i \leqslant n)$, la delta de la cartera se obtiene por medio de

$$\Delta = \sum_{i=1}^{n} w_i \Delta_i$$

donde Δi es la delta de la i^{ma} opción. La fórmula se usa para calcular la posición en el activo subyacente o en un contrato de futuros sobre el activo subyacente que se requiere para hacer que la delta de la cartera sea igual a cero. Cuando se ha tomado esta posición, la cartera se denomina *delta neutral*.

Suponga que una institución financiera tiene las tres posiciones siguientes en opciones sobre una acción:

1. Una posición larga en 100,000 opciones de compra con un precio de ejercicio de $55 y una fecha de vencimiento en tres meses. La delta de cada opción es de 0.533.
2. Una posición corta en 200,000 opciones de compra con un precio de ejercicio de $56 y una fecha de vencimiento en cinco meses. La delta de cada opción es de 0.468.

3. Una posición corta en 50,000 opciones de venta con un precio de ejercicio de \$56 y una fecha de vencimiento en dos meses. La delta de cada opción es de -0.508.

La delta de toda la cartera es

$$100{,}000 \times 0.533 - 200{,}000 \times 0.468 - 50{,}000 \times (-0.508) = -14{,}900$$

Esto significa que se puede lograr que la cartera sea delta neutral por medio de la compra de 14,900 acciones.

Costos de transacción

El mantenimiento de una posición delta neutral en una sola opción y el activo subyacente, en la forma que acabamos de describir, tiende a ser excesivamente caro debido a los costos de transacción incurridos en las transacciones. La neutralidad delta es más factible para una cartera grande de opciones. Sólo se requiere una transacción en el activo subyacente para hacer que la delta de toda la cartera sea igual a cero. Los costos de transacción de la cobertura se absorben por los beneficios obtenidos en diversas transacciones.

15.5 THETA

La *theta* de una cartera de opciones, Θ, es la tasa de cambio del valor de la cartera con respecto al paso del tiempo, siempre que todo lo demás permanezca constante. Específicamente,

$$\Theta = \frac{\Delta \Pi}{\Delta t}$$

donde $\Delta\Pi$ es el cambio en el valor de la cartera cuando transcurre una cantidad de tiempo Δt y todo lo demás permanece constante. En ocasiones, theta se denomina *decaimiento del tiempo (time decay)* de la cartera. En el caso de una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos, se puede mostrar con la fórmula de Black-Scholes que

$$\Theta = -\frac{S_0 N'(d_1)\sigma}{2\sqrt{T}} - rKe^{-rT}N(d_2)$$

donde d_1 y d_2 se definen como en la ecuación (12.5) y

$$N'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \tag{15.2}$$

es la función de distribución de probabilidades para una distribución normal estándar.

En el caso de una opción de venta europea sobre la acción,

$$\Theta = -\frac{S_0 N'(d_1)\sigma}{2\sqrt{T}} + rKe^{-rT}N(-d_2)$$

Puesto que $N(-d_2) = 1 - N(d_2)$, la theta de una opción de venta excede a la theta de la opción de compra correspondiente en rKe^{-rT}. El ejemplo 15.3 proporciona una aplicación de estas fórmulas.

En estas fórmulas el tiempo se mide en años. Generalmente, cuando se cotiza la theta, el tiempo se mide en días, de modo que la theta es el cambio en el valor de la cartera cuando transcurre un día y todo lo demás permanece constante. También podemos medir la theta "por día natural" o "por día de negociación". Para obtener la theta por día natural, la fórmula para la theta debe dividirse

Ejemplo 15.3 Theta de una opción sobre acciones

Al igual que en el ejemplo 15.2, considere una opción de compra sobre una acción que no paga dividendos, en la que el precio de la acción es de \$49, el precio de ejercicio es de \$50, la tasa de interés libre de riesgo es de 5%, el tiempo al vencimiento es de 20 semanas (= 0.3846 años) y la volatilidad es de 20%. En este caso, $S_0 = 49$, $K = 50$, $r = 0.05$, $\sigma = 0.2$ y $T = 0.3846$. La theta de la opción es

$$-\frac{S_0 N'(d_1)\sigma}{2\sqrt{T}} - rKe^{-rT}N(d_2) = -4.31$$

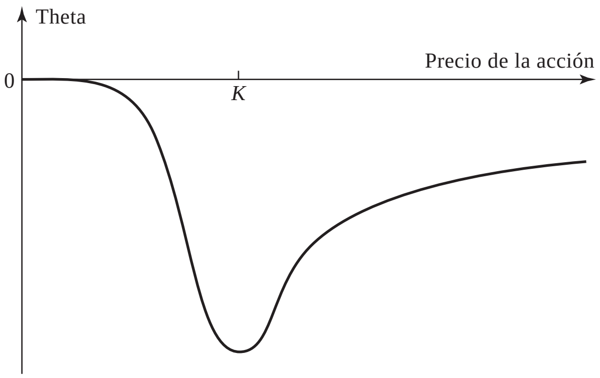
La theta es de $-4.31/365 = -0.0118$ por día natural o $-4.31/252 = -0.171$ por día de negociación.

entre 365; para obtener la theta por día de negociación, debe dividirse entre 252. (El software DerivaGem mide la theta por día natural).

La theta es usualmente negativa para una opción.[6] Esto se debe a que conforme el tiempo al vencimiento disminuye y todo lo demás permanece constante, el valor de la opción tiende a disminuir. La figura 15.5 muestra la variación de Θ con el precio de la acción para una opción de compra sobre una acción. Cuando el precio de la acción es muy bajo, la theta se aproxima a cero. En el caso de una opción de compra *at the money*, la theta es grande y negativa. A medida que aumenta el precio de la acción, la theta tiende a $-rKe^{-rT}$. La figura 15.6 muestra patrones típicos de la variación de Θ con el tiempo al vencimiento para opciones de compra *in the money*, *at the money* y *out of the money*.

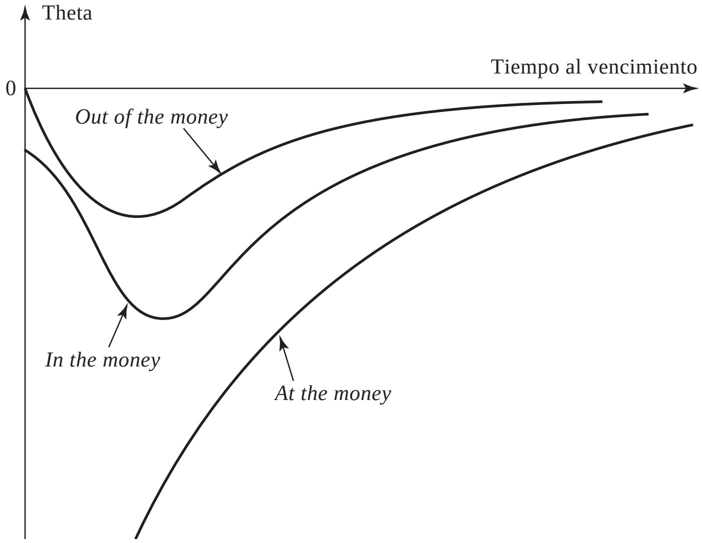
Theta no es el mismo tipo de parámetro de cobertura que delta. Hay incertidumbre sobre el precio futuro de la acción, pero no la hay en cuanto al paso del tiempo. Tiene sentido cubrir contra los cambios en el precio del activo subyacente, pero no lo tiene cubrir contra el efecto del paso del tiempo sobre una cartera de opciones. A pesar de esto, muchos negociantes consideran que theta es una estadística descriptiva útil para una cartera. Como veremos más adelante, esto se debe a que, en una cartera delta neutral, theta es un sustituto de gamma.

Figura 15.5 Variación de la theta de una opción de compra europea con el precio de la acción



[6] Una excepción a esto podría ser una opción de venta europea in-the-money sobre una acción que no paga dividendos, o una opción de compra europea in-the-money sobre una divisa con una tasa de interés muy alta.

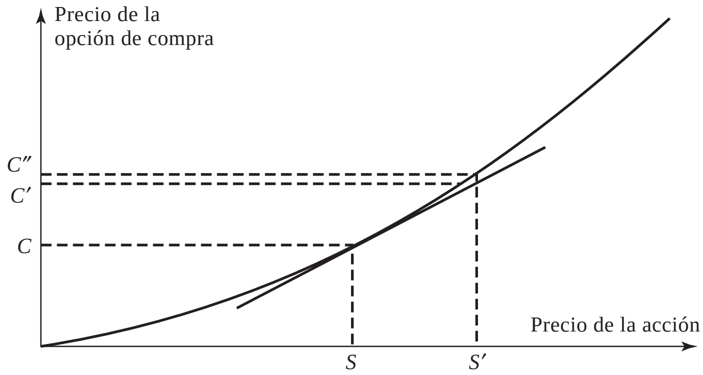
Figura 15.6 Patrones típicos de la variación de la theta de una opción de compra europea con el tiempo el vencimiento



15.6 GAMMA

La *gamma*, Γ, de una cartera de opciones sobre un activo subyacente es la tasa de cambio de la delta de la cartera con respecto al precio del activo subyacente. Si la gamma es pequeña, la delta cambia lentamente y los ajustes para mantener una cartera delta neutral deben realizarse sólo en ocasiones. Sin embargo, si la gamma es grande en términos absolutos, la delta es muy sensible al precio del activo subyacente. Entonces es un gran riesgo mantener sin cambios una cartera delta neutral durante cualquier cantidad de tiempo. La figura 15.7 ilustra este punto. Cuando el precio de la acción cambia de S a S', la cobertura delta asume que el precio de la opción varía de C a C', cuando de

Figura 15.7 Error de cobertura introducido por la no linealidad



Ejemplo 15.4 Impacto de la gamma en el cambio del valor de una cartera delta neutral

Suponga que la gamma de una cartera delta neutral de opciones sobre un activo es de $-10{,}000$. La ecuación (15.3) muestra que si un cambio de $+2$ o -2 en el precio del activo ocurre durante un periodo corto, hay una disminución inesperada en el valor de la cartera de aproximadamente $0.5 \times 10{,}000 \times 2^2 = \$20{,}000$.

hecho varía de C a C″. La diferencia entre C′ y C″ da lugar a un error de cobertura. Este error depende de la curvatura de la relación entre el precio de la opción y el precio de la acción. La gamma mide esta curvatura.[7]

Suponga que ΔS es el cambio en el precio de un activo subyacente en un pequeño intervalo, Δt, y que $\Delta\Pi$ es el cambio correspondiente en el precio de la cartera. En el caso de una cartera delta neutral, es aproximadamente cierto que

$$\Delta\Pi = \Theta\,\Delta t + \tfrac{1}{2}\Gamma\,\Delta S^2 \qquad \textbf{(15.3)}$$

donde Θ es la theta de la cartera. El ejemplo 15.4 proporciona una aplicación de esta fórmula.

La figura 15.8 ilustra la naturaleza de esta relación entre $\Delta\Pi$ y ΔS para una cartera delta neutral. Muestra que cuando gamma es positiva, el valor de la cartera disminuye si S no cambia, pero su valor aumenta si S experimenta un cambio importante, positivo o negativo. Cuando gamma es negativo, lo contrario es verdad: el valor de la cartera aumenta si S no cambia, pero su valor disminuye si S sufre un cambio importante, ya sea positivo o negativo. A medida que aumenta el valor absoluto de gamma, se incrementa la sensibilidad del valor de la cartera a ΔS.

Conversión de una cartera en gamma neutral

Una posición en el activo subyacente mismo o un contrato plazo en el activo subyacente, tienen una gamma igual a cero y no se pueden usar para cambiar la gamma de una cartera. Lo que se requiere es una posición en un instrumento, como una opción que no dependa linealmente del activo subyacente.

Suponga que una cartera delta neutral tiene una gamma igual a Γ y que una opción negociada tiene una gamma igual a Γ_T. Si el número de opciones negociadas agregadas a la cartera es w_T, entonces, la gamma de la cartera es

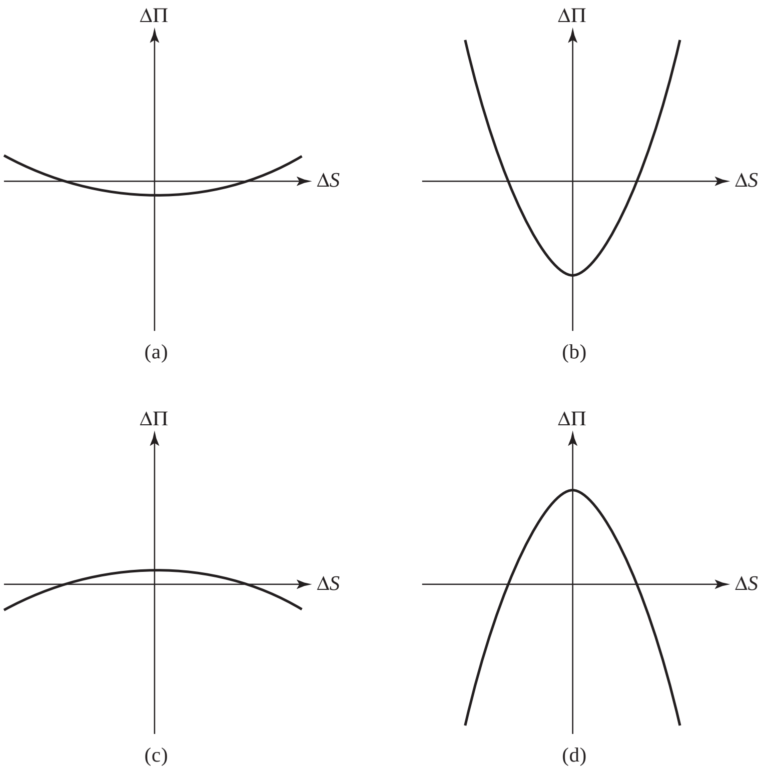
$$w_T\Gamma_T + \Gamma$$

Por lo tanto, la posición en la opción negociada que se requiere para convertir la cartera en gamma neutral es $-\Gamma/\Gamma_T$. La inclusión de la opción negociada es probable que cambie la delta de la cartera, por lo que la posición en el activo subyacente debe cambiarse para mantener la neutralidad delta. Observe que la cartera es gamma neutral sólo durante un periodo corto. A medida que el tiempo pasa, la neutralidad gamma se mantiene únicamente si la posición en la opción negociada se ajusta de modo que siempre sea igual a $-\Gamma/\Gamma_T$.

La conversión de una cartera delta neutral en gamma neutral se considera como una primera corrección por el hecho de que la posición en el activo subyacente no puede cambiarse de manera continua cuando se usa la cobertura delta. La neutralidad delta proporciona protección contra variaciones relativamente pequeñas en el precio de la acción entre reequilibrios. La neutralidad gamma proporciona protección contra variaciones mayores en el precio de la acción entre reequilibrios de la cobertura. Suponga que una cartera es delta neutral y que tiene una gamma de $-3{,}000$.

[7] De hecho, los profesionales se refieren en ocasiones a la gamma de una opción como su *curvatura*.

Figura 15.8 Relaciones alternativas entre $\Delta\Pi$ y ΔS para una cartera delta neutral: a) ligeramente gamma positiva, b) fuertemente gamma positiva, c) ligeramente gamma negativa y d) fuertemente gamma negativa



La delta y la gamma de una opción de compra negociada específica son 0.62 y 1.50, respectivamente. La cartera se vuelve gamma neutral al incluir en ella una posición larga de

$$\frac{3{,}000}{1.5} = 2{,}000$$

en la opción de compra. No obstante, la delta de la cartera cambiará entonces de cero a $2{,}000 \times 0.62 = 1{,}240$. Por consiguiente, se deben vender 1,240 unidades del activo subyacente de la cartera para mantenerla delta neutral. Vea el ejemplo 15.5 para conocer un resumen de esta estrategia de negociación.

Ejemplo 15.5 Conversión de una cartera en gamma y delta neutral

La cartera de un negociante es delta neutral y tiene una gamma de $-3{,}000$. La delta y la gamma de una opción de compra negociada específica son 0.62 y 1.50, respectivamente. El negociante desea convertir la cartera en gamma neutral, así como en delta neutral. Para ello puede:

1. Convertir la cartera en gamma neutral por medio de la compra de 2,000 opciones (20 contratos).
2. Vender 1,240 unidades del activo subyacente para mantener la neutralidad delta.

Ejemplo 15.6 Gamma de una opción sobre acciones

Al igual que en el ejemplo 15.2, considere una opción de compra sobre una acción que no paga dividendos, en la que el precio de la acción es de $49, el precio de ejercicio es de $50, la tasa de interés libre de riesgo es de 5%, el tiempo al vencimiento es de 20 semanas (= 0.3846 años) y la volatilidad es de 20%. En este caso, $S_0 = 49$, $K = 50$, $r = 0.05$, $\sigma = 0.2$ y $T = 0.3846$. La gamma de la opción es

$$\frac{N'(d_1)}{S_0\sigma\sqrt{T}} = 0.066$$

Cuando el precio de la acción cambia en ΔS, la delta de la opción cambia en $0.066\Delta S$.

Cálculo de gamma

En el caso de una opción europea de compra o de venta sobre una acción que no paga dividendos, la gamma se obtiene por medio de

$$\Gamma = \frac{N'(d_1)}{S_0\sigma\sqrt{T}}$$

donde d_1 se define como en la ecuación (12.5) y $N'(x)$ se obtiene por medio de la ecuación (15.2). El ejemplo 15.6 proporciona una aplicación de esta fórmula. La gamma de una posición larga en la opción siempre es positiva y varía con S_0, como se indica en la figura 15.9. La figura 15.10 muestra la variación de gamma con el tiempo al vencimiento para opciones *out of the money*, *at the money* e *in the money*. En el caso de una opción *at the money*, la gamma aumenta a medida que el tiempo al vencimiento disminuye. Las opciones *at the money* de vida corta tienen gammas muy altas, lo que significa que el valor de la posición del tenedor de la opción es muy sensible a los incrementos en el precio de la acción.

15.7 RELACIÓN ENTRE DELTA, THETA Y GAMMA

El análisis de Black-Scholes muestra que las letras griegas para una cartera de opciones de compra, opciones de venta y otros instrumentos financieros que dependen de un activo que no paga dividendos

Figura 15.9 Variación de gamma con el precio de la acción para una opción

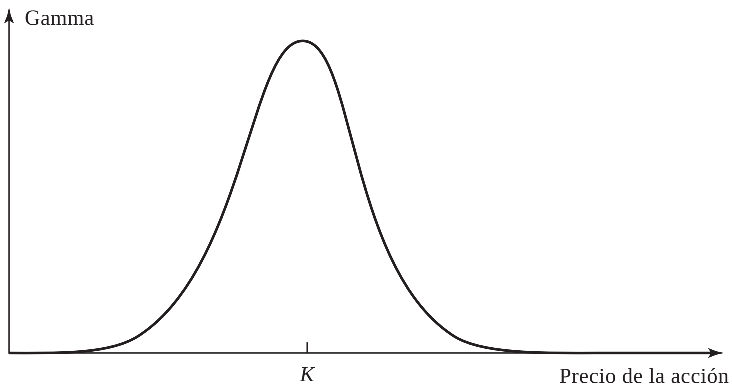
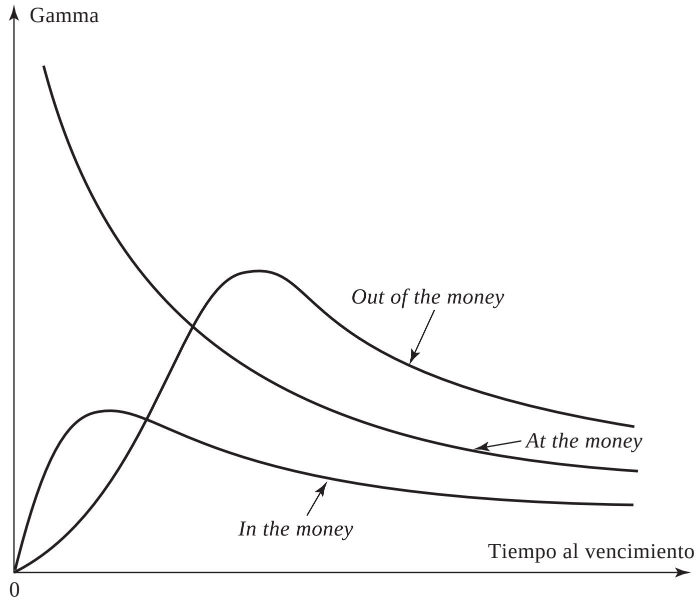


Figura 15.10 Variación de gamma con el tiempo al vencimiento para una opción sobre acciones



deben satisfacer

$$\Theta + rS_0\Delta + \tfrac{1}{2}\sigma^2 S_0^2\Gamma = r\Pi \tag{15.4}$$

donde S_0 es el precio del activo y $\Delta\Pi$ es el valor de la cartera.

En el caso de una cartera delta neutral, $\Delta = 0$, de modo que

$$\Theta + \tfrac{1}{2}\sigma^2 S_0^2\Gamma = r\Pi$$

Esto muestra que cuando Θ es grande y positiva, la gamma de una cartera tiende a ser grande y negativa, y viceversa. Esto concuerda con la figura 15.8 y explica por qué theta es considerada en ocasiones como un sustituto de gamma en una cartera delta neutral.

15.8 VEGA

Hasta ahora hemos asumido en forma implícita que la volatilidad del activo subyacente a un derivado es constante. En la práctica, las volatilidades cambian con el paso del tiempo. Esto significa que el valor de un derivado es susceptible a cambiar debido a los cambios en la volatilidad, así como a los cambios en el precio del activo y el paso del tiempo.

La *vega* de una cartera de derivados, $\mathcal{V}$, es la tasa de cambio del valor de la cartera con respecto a la volatilidad del activo subyacente.[8] Si la vega es alta en términos absolutos, el valor de la cartera es muy sensible a pequeños cambios en la volatilidad. Si la vega es baja en términos absolutos, los cambios en la volatilidad tienen un impacto relativamente bajo en el valor de la cartera.

[8] Vega es el nombre dado a una de las “letras griegas” en la valuación de opciones, pero no es una de las letras del alfabeto griego.

Ejemplo 15.7 Conversión de una cartera en delta, gamma y vega neutral

Considere una cartera que es delta neutral, con una gamma de −5,000 y una vega de −8,000. Una opción negociada tiene una gamma de 0.5, una vega de 2.0 y una delta de 0.6. La cartera puede volverse vega neutral al incluir una posición larga en 4,000 opciones negociadas. Esto aumentaría la delta a 2,400 y requeriría la venta de 2,400 unidades del activo para mantener la neutralidad delta. La gamma de la cartera cambiaría de −5,000 a −3000.

Para convertir la cartera en gamma y vega neutral, supongamos que hay una segunda opción negociada con una gamma de 0.8, una vega de 1.2 y una delta de 0.5. Si w_1 y w_2 son las cantidades de las dos opciones negociadas incluidas en la cartera, requerimos

$$-5{,}000 + 0.5w_1 + 0.8w_2 = 0$$

$$-8{,}000 + 2.0w_1 + 1.2w_2 = 0$$

La solución a estas ecuaciones es $w_1 = 400$, $w_2 = 6{,}000$. Por lo tanto, la cartera puede convertirse en gamma y delta neutral al incluir 400 unidades de la primera opción negociada y 6,000 unidades de la segunda opción negociada. La delta de la cartera después de incluir las posiciones en las dos opciones negociadas es de $400 \times 0.6 + 6{,}000 \times 0.5 = 3{,}240$. Por consiguiente, tendrían que venderse 3,240 unidades del activo para mantener la neutralidad delta.

Una posición en el activo subyacente tiene una vega de cero. Sin embargo, la vega de una cartera se puede cambiar agregando una posición en una opción negociada. Si $\mathcal{V}$ es la vega de la cartera y $\mathcal{V}_T$ es la vega de una opción negociada, una posición de $-\mathcal{V}/\mathcal{V}_T$ en la opción negociada hace que la cartera sea instantáneamente vega neutral. Por desgracia, una cartera que es gamma neutral no será, en general, vega neutral y viceversa. Si un coberturista requiere que una cartera sea tanto gamma como vega neutral, por lo común se necesitaría usar al menos dos derivados negociados que dependan del activo subyacente. Esto se ilustra en el ejemplo 15.7.

En el caso de una opción europea de compra o de venta sobre una acción que no paga dividendos, la vega se obtiene por medio de

$$\mathcal{V} = S_0\sqrt{T}\,N'(d_1)$$

donde d_1 se define como en la ecuación (12.5). La fórmula para $N'(x)$ se obtiene por medio de la ecuación (15.2). El ejemplo 15.8 proporciona una aplicación de esta fórmula. La vega de una posición larga en una opción europea o americana siempre es positiva. La figura 15.11 muestra la manera general en la cual la vega varía con S_0.

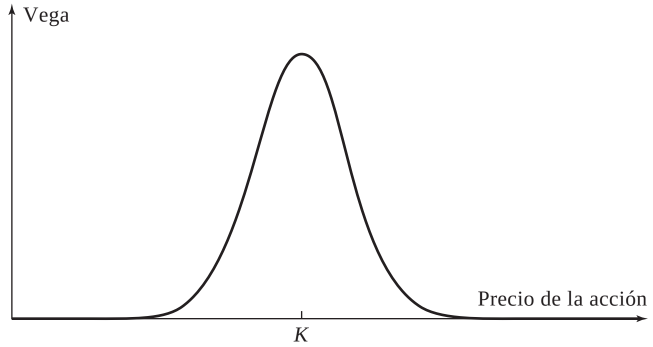
Ejemplo 15.8 Vega de una opción sobre acciones

Al igual que en el ejemplo 15.2, considere una opción de compra sobre una acción que no paga dividendos en la que el precio de la acción es de $49, el precio de ejercicio es de $50, la tasa de interés libre de riesgo es de 5%, el tiempo al vencimiento es de 20 semanas (= 0.3846 años) y la volatilidad es de 20%. En este caso, $S_0 = 49$, $K = 50$, $r = 0.05$, $\sigma = 0.2$ y $T = 0.3846$. La vega de la opción es

$$S_0\sqrt{T}N'(d_1) = 12.1$$

Así, un incremento de 1% (0.01) en la volatilidad, de 20 a 21%, aumenta el valor de la opción aproximadamente en $0.01 \times 12.1 = 0.121$.

Figura 15.11 Variación de vega con el precio de la acción para una opción



Calcular la vega con el modelo de Black-Scholes y sus ampliaciones puede parecer extraño debido a que uno de los supuestos subyacentes a este modelo es que la volatilidad es constante. Sería teóricamente más correcto calcular la vega a partir de un modelo que asumiera que la volatilidad es estocástica. No obstante, resulta que la vega calculada con un modelo de volatilidad estocástica es muy parecida a la vega obtenida con el modelo de Black-Scholes, por lo que la práctica de calcular la vega con un modelo en el que la volatilidad es constante funciona razonablemente bien.[9]

La neutralidad gamma protege contra grandes cambios en el precio del activo subyacente entre reequilibrios de la cobertura. La neutralidad vega protege contra una *s* variable. Como podría esperarse, si lo mejor es usar una opción negociada disponible para realizar la cobertura vega o gamma, depende del tiempo entre reequilibrios de la cobertura y la volatilidad de la volatilidad.[10]

15.9 RHO

La *rho* de una cartera de opciones es la tasa de cambio del valor de la cartera con respecto a la tasa de interés. Mide la sensibilidad del valor de una cartera a las tasas de interés. En el caso de una opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos,

$$\text{rho} = KTe^{-rT}N(d_2)$$

donde d_2 se define como en la ecuación (12.5). En el caso de una opción de venta europea,

$$\text{rho} = -KTe^{-rT}N(-d_2)$$

El ejemplo 15.9 proporciona una aplicación de estas fórmulas.

[9] Vea J.C. Hull y A. White, "The Pricing of Options on Assets with Stochastic Volatilities", *Journal of Finance*, 42 (junio de 1987), pp. 281-300; J.C. Hull y A. White, "An Analysis of the Bias in Option Pricing Caused by a Stochastic Volatility", *Advances in Futures and Options Research*, 3 (1988). pp. 27-61.

[10] Para conocer un análisis de este tema, vea J.C. Hull y A. White, "Hedging the Risks from Writing Foreign Currency Options", *Journal of International Money and Finance*, 6 (junio de 1987), pp. 131-52.

Ejemplo 15.9 Rho de una opción sobre acciones

Al igual que en el ejemplo 15.2, considere una opción de compra sobre una acción que no paga dividendos, en la que el precio de la acción es de \$49, el precio de ejercicio es de \$50, la tasa de interés libre de riesgo es de 5%, el tiempo al vencimiento es de 20 semanas (= 0.3846 años) y la volatilidad es de 20%. En este caso, $S_0 = 49$, $K = 50$, $r = 0.05$, $\sigma = 0.2$ y $T = 0.3846$. La rho de la opción es

$$KTe^{-rT}N(d_2) = 8.91$$

Esto significa que un incremento de 1% (0.01) en la tasa de interés libre de riesgo, de 5 a 6%, aumenta el valor de la opción aproximadamente en $0.01 \times 8.91 = 0.0891$.

15.10 REALIDADES DE LA COBERTURA

En un mundo ideal, los negociantes que trabajan para instituciones financieras podrían reequilibrar sus carteras con mucha frecuencia para mantener una delta de cero, una gamma de cero, una vega de cero, etc. En la práctica esto no es posible. Al administrar una cartera grande que depende de un solo activo subyacente, los negociantes suelen hacer que la delta sea igual o cercana a cero, por lo menos una vez al día al negociar el activo subyacente. Por desgracia, una gamma y una vega de cero son menos fáciles de lograr porque es difícil encontrar opciones u otros derivados no lineales que puedan negociarse en el volumen requerido a precios competitivos (vea el análisis sobre la cobertura dinámica en la Panorámica de negocios 15.1).

Un negociante de opciones obtiene grandes economías de escala. Como se señaló en líneas anteriores, mantener la neutralidad delta para una opción individual, por ejemplo sobre el índice S&P 500, negociando diariamente sería demasiado costoso. No obstante, es realista hacer esto para una cartera de varios cientos de opciones sobre el índice S&P 500. Esto se debe a que el costo de reequilibrar la cartera a diario (ya sea negociando las acciones subyacentes al índice o negociando futuros sobre el índice) se cubre con el beneficio obtenido en diversas transacciones.

15.11 ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Además de vigilar los riesgos, como delta, gamma y vega, los negociantes de opciones también realizan un análisis de escenarios. Este análisis consiste en calcular la ganancia o la pérdida sobre su cartera durante un periodo específico bajo diversos escenarios. El periodo elegido dependerá de la liquidez de los instrumentos. Los escenarios pueden ser elegidos por la administración o generados por un modelo.

Considere un banco con una cartera de opciones sobre una divisa. Hay dos variables principales de las que depende el valor de la cartera. Estas variables son el tipo de cambio y la volatilidad del tipo de cambio. Suponga que el tipo de cambio es actualmente de 1.0000 y que su volatilidad es de 10% anual. El banco podría calcular una tabla, como la 15.5, para mostrar la utilidad o la pérdida experimentada durante un periodo de dos semanas bajo diferentes escenarios. Esta tabla considera siete tipos de cambio distintos y tres volatilidades diferentes. Puesto que una variación de una desviación estándar en el tipo de cambio durante un periodo de dos semanas es alrededor de 0.02, las variaciones consideradas en el tipo de cambio son aproximadamente de una, dos y tres desviaciones estándar.

Panorámica de negocios 15.1 Cobertura dinámica en la práctica

En un acuerdo típico realizado en una institución financiera, la responsabilidad de una cartera de derivados que depende de un activo subyacente específico se asigna a un negociante o grupo de negociantes que trabajan juntos. Por ejemplo, a un negociante de Goldman Sachs podrían asignarle la responsabilidad de todos los derivados que dependen del valor del dólar australiano. Un sistema de cómputo calcula el valor de la cartera y las letras griegas de éstas. Se definen los límites para cada letra griega y se requiere un permiso especial si un negociante desea exceder un límite al final de un día de negociación.

Con frecuencia, el límite delta se expresa como la posición máxima equivalente en el activo subyacente. Por ejemplo, el límite delta de Goldman Sachs sobre Microsoft podría ser de $10 millones. Si el precio de la acción de Microsoft es de $50, esto significa que el valor absoluto de delta, como lo hemos calculado, no puede ser mayor de $200,000. El límite de vega se suele expresar como una exposición máxima en dólares por 1% de cambio en la volatilidad.

Como algo normal, los negociantes de opciones se vuelven delta neutrales, o cercanos a la neutralidad delta, al final de cada día. La gama y la vega se vigilan, pero por lo general no se controlan diariamente. Las instituciones financieras descubren con frecuencia que los negocios con sus clientes implican la suscripción de opciones y, en consecuencia, acumulan gamma y vega negativas. Por lo tanto, siempre buscan oportunidades para controlar sus riesgos gamma y vega por medio de la compra de opciones a precios competitivos.

Hay un aspecto de una cartera de opciones que atenúa en algo los problemas de controlar la gamma y la vega. Con frecuencia, las opciones están *close to the money* cuando se venden por primera vez, de manera que tienen gammas y vegas relativamente altas. Pero, después de algún tiempo, el precio del activo subyacente ha cambiado lo suficiente para que las opciones se vuelvan *deep out of the money* o *deep in the money*. Entonces, sus gamas y vegas son muy pequeñas y de poca trascendencia. Un escenario que es una pesadilla para un negociante de opciones es cuando las opciones suscritas permanecen *very close to the money* a medida que se aproxima la fecha de vencimiento.

En la tabla 15.5, la pérdida mayor se presenta en la esquina inferior derecha de la tabla. Esta pérdida corresponde a un incremento de la volatilidad de 12% y a un aumento del tipo de cambio a 1.06. Generalmente, la pérdida mayor en una tabla como ésta ocurre en una de las esquinas, pero no siempre es así. Por ejemplo, considere la situación en la que la cartera de un banco consiste en una posición corta en un *butterfly spread* (vea la sección 10.2). La pérdida mayor se experimentará si el tipo de cambio permanece donde está.

Tabla 15.5 Utilidad o pérdida obtenida en dos semanas en diferentes escenarios (millones de dólares)

Volatilidad	*Tipo de cambio*						
	0.94	*0.96*	*0.98*	*1.00*	*1.02*	*1.04*	*1.06*
8%	+102	+55	+25	+6	−10	−34	−80
10%	+80	+40	+17	+2	−14	−38	−85
12%	+60	+25	+9	−2	−18	−42	−90

15.12 AMPLIACIÓN DE FÓRMULAS

Las fórmulas producidas hasta ahora para delta, theta, gamma, vega y rho han sido para una opción sobre una acción que no paga dividendos. La tabla 15.6 muestra cómo cambian cuando la acción paga un rendimiento de dividendos continuo a la tasa q. Las expresiones para d_1 y d_2 están en las ecuaciones (13.4) y (13.5). Si establecemos q igual al rendimiento de dividendos sobre un índice, obtenemos las letras griegas para opciones europeas sobre índices. Si establecemos q igual a la tasa de interés libre de riesgo extranjera, establecemos las letras griegas para opciones europeas sobre una divisa. Si establecemos $q = r$, obtenemos las letras griegas para opciones europeas sobre un contrato de futuros. Una excepción es el cálculo de rho para opciones europeas sobre un contrato de futuros. La rho para una opción de compra sobre futuros es $-cT$ y la rho para una opción de venta europea sobre futuros es $-pT$.

En el caso de las opciones sobre divisas, hay dos rho correspondientes a las dos tasas de interés. La rho que corresponde a la tasa de interés doméstica se obtiene por medio de la fórmula presentada en la tabla 15.6 [con d_2 como en la ecuación (13.9)]. La rho para la tasa de interés extranjera para una opción de compra europea sobre una divisa es

$$\text{rho} = -Te^{-r_f T} S_0 N(d_1)$$

Para una opción de venta europea es

$$\text{rho} = Te^{-r_f T} S_0 N(-d_1)$$

con d_1 como en la ecuación (13.9).

Delta de contratos a plazo

El concepto de delta puede aplicarse a instrumentos financieros distintos a las opciones. Considere un contrato a plazo sobre una acción que no paga dividendos. La ecuación (5.5) muestra que el valor de un contrato a plazo es $S_0 - Ke^{-rT}$, donde K es el precio de entrega y T es el tiempo al vencimiento del contrato a plazo. Cuando el precio de la acción cambia en ΔS, y todo lo demás per-

Tabla 15.6 Letras griegas para opciones sobre un activo que proporciona un rendimiento a la tasa q

Letra griega	*Opción de compra*	*Opción de venta*
Delta	$e^{-qT}N(d_1)$	$e^{-qT}[N(d_1) - 1]$
Gamma	$\dfrac{N'(d_1)e^{-qT}}{S_0\sigma\sqrt{T}}$	$\dfrac{N'(d_1)e^{-qT}}{S_0\sigma\sqrt{T}}$
Theta	$-S_0N'(d_1)\sigma e^{-qT}\big/(2\sqrt{T}) + qS_0N(d_1)e^{-qT} - rKe^{-rT}N(d_2)$	$-S_0N'(d_1)\sigma e^{-qT}\big/(2\sqrt{T}) - qS_0N(-d_1)e^{-qT} + rKe^{-rT}N(-d_2)$
Vega	$S_0\sqrt{T}N'(d_1)e^{-qT}$	$S_0\sqrt{T}N'(d_1)e^{-qT}$
Rho	$KTe^{-rT}N(d_2)$	$KTe^{-rT}N(-d_2)$

manece constante, el valor de un contrato a plazo sobre la acción también cambia en ΔS. Por consiguiente, la delta de una posición larga en un contrato a plazo sobre una unidad de la acción siempre es de 1.0. Esto significa que una posición larga en un contrato a plazo sobre una acción puede cubrirse por medio de la venta en corto de una acción; una posición corta en un contrato a plazo sobre una acción puede cubrirse por medio de la compra de una acción.[11]

En el caso de un activo que proporciona un rendimiento de dividendos a la tasa q, la ecuación (5.7) muestra que la delta del contrato a plazo es e^{-qT}. Para la delta de un contrato a plazo sobre un índice bursátil, en esta expresión q se establece igual al rendimiento de dividendos sobre el índice. Para la delta de un contrato a plazo, se establece igual a la tasa de interés libre de riesgo extranjera, r_f.

Delta de un contrato de futuros

Con base en la ecuación (5.1), el precio de futuros de un contrato sobre una acción que no paga dividendos es $S_0 e^{rT}$, donde T es el tiempo al vencimiento del contrato de futuros. Esto muestra que cuando el precio de la acción cambia en ΔS, y todo lo demás permanece constante, el precio de futuros cambia en $\Delta S e^{rT}$. Como los contratos de futuros se ajustan al mercado diariamente, el tenedor de una posición larga en un contrato de futuros obtiene una ganancia casi inmediata de este monto. Por lo tanto, la delta de un contrato de futuros es e^{rT}. Para una posición en un contrato de futuros sobre un activo que proporciona un rendimiento de dividendos a la tasa q, la ecuación (5.3) muestra de igual modo que la delta es $e^{(r-q)T}$. Es interesante observar que el impacto del ajuste al mercado hace que las deltas de contratos de futuros y a plazo sean ligeramente diferentes. Esto es cierto incluso cuando las tasas de interés son constantes y el precio a plazo es igual al precio de futuros. (Esto se relaciona con el tema de la Panorámica de negocios 5.2).

En ocasiones, un contrato de futuros se usa para lograr una posición delta neutral. Si definimos:

T: vencimiento del contrato de futuros
H_A: posición requerida en el activo para la cobertura delta
H_F: posición alternativa requerida en los contratos de futuros para la cobertura delta

Si el activo subyacente es una acción que no paga dividendos, el análisis que acabamos de presentar muestra que

$$H_F = e^{-rT} H_A \tag{15.5}$$

Cuando el activo subyacente paga un rendimiento de dividendos q,

$$H_F = e^{-(r-q)T} H_A \tag{15.6}$$

Ejemplo 15.10 Uso de futuros para cubrir una cartera de divisas

Suponga que una cartera de opciones sobre divisas mantenida por un banco estadounidense puede volverse delta neutral con una posición corta de £458,000. Las tasas de interés libres de riesgo son de 8% en Estados Unidos de América y de 7% en el Reino Unido. Con base en la ecuación (15.7), la cobertura utilizando futuros sobre divisas a nueve meses requiere una posición corta en futuros

$$e^{-(0.04-0.07)\times 9/12} 458{,}000$$

o £468,442. Puesto que cada contrato de futuros se establece para la compra o la venta de £62,500, deben venderse en corto siete contratos. (Siete es el número entero más cercano a 468,442/62,500).

[11] Éstos son planes de cubrir y olvidarse. Puesto que la delta es siempre de 1.0, no es necesario hacer cambio alguno a la posición en la acción durante la vida del contrato.

Para un índice bursátil, establecemos q igual al rendimiento de dividendos sobre el índice; para una divisa, lo establecemos igual a la tasa de interés libre de riesgo extranjera, r_f, de modo que

$$H_F = e^{-(r-r_f)T} H_A \tag{15.7}$$

El ejemplo 15.10 ilustra el uso de esta fórmula.

15.13 CREACIÓN SINTÉTICA DE OPCIONES COMO SEGURO DE CARTERA

Con frecuencia, a un administrador de cartera le interesa adquirir una opción de venta sobre su cartera, ya que esto le protege contra caídas del mercado y al mismo tiempo conserva la posibilidad de obtener una ganancia si el mercado tiene un buen desempeño. Una estrategia (analizada en el capítulo 13) consiste en comprar opciones de venta sobre un índice de mercado, como el índice S&P 500. Una alternativa es crear las opciones sintéticamente.

La creación sintética de una opción implica mantener una posición en el activo subyacente (o futuros sobre el activo subyacente) de modo que la delta de la posición sea igual a la delta de la opción requerida. La posición necesaria para crear una opción sintéticamente es la contraria a la que se requiere para cubrirla. Esto se debe a que el procedimiento para cubrir una opción implica la creación sintética de una opción igual y opuesta.

Hay dos razones por las que puede ser más conveniente para el administrador de cartera crear sintéticamente la opción de venta requerida que comprarla en el mercado. La primera es que los mercados de opciones no siempre tiene la liquidez para absorber las transacciones que requieren los administradores de fondos grandes. La segunda es que con frecuencia los administradores de fondos requieren diferentes precios y fechas de ejercicio que las que están disponibles en los mercados de opciones cotizadas en bolsa.

La opción sintética puede crearse por la negociación de la cartera o por la negociación de contratos de futuros sobre índices. Primero examinamos la creación de una opción de venta por medio de la negociación de la cartera. Con base en la tabla 15.6, la delta de una opción de venta europea sobre la cartera es

$$\Delta = e^{-qT}[N(d_1) - 1] \tag{15.8}$$

donde, con nuestra notación usual,

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - q + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

con S_0 el valor de la cartera, K el precio de ejercicio, r la tasa de interés libre de riesgo, q el rendimiento de dividendos sobre la cartera, σ la volatilidad de la cartera y T la vida de la opción.

Para crear sintéticamente la opción de venta, el administrador de fondos debe garantizar que en un momento dado se haya vendido una proporción

$$e^{-qT}[1 - N(d_1)]$$

de las acciones incluidas en la cartera original y que los ingresos se hayan invertido en activos libres de riesgo. A medida que disminuye el valor de la cartera original, la delta de la opción de venta, proporcionada por la ecuación (15.8), se vuelve más negativa, por lo que debe incrementarse la proporción de la cartera original vendida. Conforme aumenta el valor de la cartera original, la delta de la opción de venta se vuelve menos negativa, por lo que debe reducirse la proporción de la cartera original vendida (es decir, parte de la cartera original debe readquirirse). Esto se ilustra en el ejemplo 15.11.

Ejemplo 15.11 Estrategia de negociación de seguro de cartera

Una cartera vale $90 millones. Para protegerla contra las caídas del mercado, los administradores de la cartera requieren una opción de venta europea a seis meses sobre la cartera con un precio de ejercicio de $87. La tasa de interés libre de riesgo es de 9% anual, el rendimiento de dividendos es de 3% anual y la volatilidad de la cartera es de 25% anual. El índice S&P 500 está en 900. Como se considera que la cartera refleja muy de cerca el índice S&P 500, una alternativa es comprar 1,000 contratos de opción de venta sobre este índice, con un precio de ejercicio de 870. Otra alternativa es crear sintéticamente la opción requerida. En este caso, $S_0 = 90$ millones, $K = 87$ millones, $r = 0.09$, $q = 0.03$, $\sigma = 0.25$ y $T = 0.5$, de modo que

$$d_1 = \frac{\ln(90/87) + (0.09 - 0.03 + 0.25^2/2)0.5}{0.25\sqrt{0.5}} = 0.4499$$

por lo que la delta de la opción requerida es inicialmente de

$$e^{-qT}[N(d_1) - 1] = -0.3215$$

Esto muestra que 32.15% de la cartera debe venderse inicialmente para igualar la delta de la opción requerida. El monto de la cartera vendida debe vigilarse con frecuencia. Por ejemplo, si el valor de la cartera disminuye a $88 millones después de un día, la delta de la opción requerida cambia a −0.3679, por lo que debe venderse un porcentaje adicional de 4.64% de la cartera original. Si el valor de la cartera aumenta a $92 millones, la delta de la opción requerida cambia a −0.2787, por lo que es necesario readquirir 4.28% de la cartera original.

El uso de esta estrategia para crear un seguro de cartera significa que en un momento dado los fondos se dividen entre la cartera de acciones sobre la que se requiere el seguro y los activos libres de riesgo. A medida que aumenta el valor de la cartera de acciones, se venden activos libres de riesgo, por lo que aumenta la posición en la cartera de acciones. A medida que disminuye el valor de la cartera de acciones, se compran activos libres de riesgo, por lo que disminuye la posición en la cartera de acciones. El costo del seguro surge del hecho de que el administrador de cartera siempre vende después de una caída del mercado y compra después de un repunte del mercado.

Uso de futuros sobre índices

El uso de futuros sobre índices para crear opciones sintéticamente es preferible al uso de acciones subyacentes debido a que los costos de transacción relacionados con las negociaciones de futuros sobre índices son generalmente más bajos que los relacionados con las negociaciones correspondientes de las acciones subyacentes. Con base en las ecuaciones (15.6) y (15.8), el monto en dólares de los contratos de futuros vendidos en corto como una proporción del valor de la cartera debe ser de

$$e^{-qT}e^{-(r-q)T^*}[1 - N(d_1)] = e^{q(T^*-T)}e^{-rT^*}[1 - N(d_1)]$$

donde T^* es el tiempo al vencimiento del contrato de futuros. Si la cartera vale A_1 veces el índice y cada contrato de futuros sobre el índice se establece sobre A_2 veces el índice, el número de contratos de futuros vendidos en corto en un momento dado debe ser

$$e^{q(T^*-T)}e^{-rT^*}[1 - N(d_1)]\frac{A_1}{A_2}$$

Ejemplo 15.12 Seguro de cartera con el uso de futuros

Suponga que en el ejemplo 15.11 se usan contratos de futuros sobre el índice S&P 500, que vencen en nueve meses, para crear la opción sintéticamente. En un principio, en este caso, $T = 0.5$, $T^* = 0.75$, $A_1 = 100{,}000$, $A_2 = 250$ y $d_1 = 0.4499$, de modo que el número de contratos de futuros vendidos en corto debe ser

$$e^{q(T^*-T)}e^{-rT^*}[1 - N(d_1)]\frac{A_1}{A_2} = 122.95$$

o 123 si redondeamos al número entero más cercano. A medida que el tiempo pasa y el índice cambia, es necesario ajustar la posición en los contratos de futuros.

El ejemplo 15.12 ilustra el uso de esta fórmula.

Hasta ahora hemos asumido que la cartera refleja el índice. Como se analizó en la sección 13.1, el plan de cobertura puede ajustarse para manejar otras situaciones. El precio de ejercicio de las opciones usadas debe ser el nivel esperado del índice de mercado cuando el valor de la cartera alcanza su valor asegurado. El número de opciones usadas sobre el índice debe ser β veces el número de opciones que se requerirían si la cartera tuviera una beta de 1.0. Se asume que la volatilidad de la cartera sea su beta multiplicada por la volatilidad de un índice adecuado bien diversificado.

15.14 VOLATILIDAD DEL MERCADO DE VALORES

En el capítulo 12 analizamos la cuestión de si la volatilidad es ocasionada únicamente por la llegada de nueva información o si la negociación misma genera volatilidad. Las estrategias de seguro de cartera, como las que acabamos de describir, tienen el potencial de aumentar la volatilidad. Cuando el mercado cae, estas estrategias ocasionan que los administradores de cartera vendan acciones o contratos de futuros sobre índices. Cualquier acción puede acentuar la caída (vea la Panorámica de negocios 15.2). La venta de la acción tiende a disminuir aún más el índice de mercado de una manera directa. La venta de contratos de futuros sobre índices tiende a disminuir los precios de futuros. Esto genera una presión de venta sobre las acciones a través del mecanismo de arbitraje de índices (vea el capítulo 5), de tal modo que el índice de mercado también tiende a disminuir en este caso. Del mismo modo, cuando el mercado repunta, las estrategias de seguro de cartera ocasionan que los administradores de cartera compren acciones o contratos de futuros. Esto puede acentuar el repunte.

Además de las estrategias formales de negociación de seguro de cartera, podemos especular que muchos inversionistas, consciente o inconscientemente, siguen reglas de seguro de cartera por su propia cuenta. Por ejemplo, un inversionista puede sentirse inclinado a ingresar al mercado cuando éste repunta, pero vender cuando esté cayendo para limitar el riesgo de disminución de valor.

La cuestión de si las estrategias de negociación de seguro de cartera, formales o informales, afectan la volatilidad, depende de la facilidad con que el mercado pueda absorber las transacciones generadas por el seguro de cartera. Si las transacciones del seguro de cartera son una fracción muy pequeña de todas las transacciones, es probable que no haya ningún efecto. Al aumentar la popularidad del seguro de cartera, es posible que éste tenga un efecto desestabilizador en el mercado.

Panorámica de negocios 15.2 ¿Fue el seguro de cartera el culpable del desplome de 1987?

El lunes 19 de octubre de 1987, el Promedio Industrial Dow Jones cayó más de 20%. Muchas personas consideran que el seguro de cartera jugó un papel importante en este desplome.

En octubre de 1987, entre $60 y $90,000 millones de activos patrimoniales se sometieron a las reglas de negociación de seguro de cartera, según las cuales se crearon sintéticamente opciones de venta, como se analizó en la sección 15.12. Durante el periodo del miércoles 14 de octubre al viernes 16 de octubre de 1987, el mercado cayó alrededor de 10%, ocurriendo gran parte de este declive el viernes por la tarde. Las reglas de negociación deben haber generado por lo menos $12,000 millones en ventas de acciones o futuros sobre índices como consecuencia de esta caída. De hecho, los aseguradores de cartera tuvieron tiempo de vender únicamente $4,000 millones de dólares y llegaron a la siguiente semana con enormes montos de venta ya dictados por sus sistemas de modelos. Se estima que el lunes 19 de octubre los programas de venta de tres aseguradoras de cartera concentraron casi 10% de las ventas de la Bolsa de Valores de Nueva York y que las ventas de seguro de cartera ascendieron a 21.3% de todas las ventas en los mercados de futuros sobre índices. Es probable que la caída de precios de las acciones haya sido exacerbada por inversionistas distintos a los aseguradores de cartera que vendían fuertemente porque anticiparon las acciones de estos aseguradores.

Como el mercado cayó tan rápido y los sistemas de las bolsas de valores estaban sobrecargados, muchos aseguradores de cartera no pudieron ejecutar las transacciones generadas por sus modelos ni lograron obtener la protección requerida. No hace falta decir que la popularidad de los planes de seguro de cartera ha disminuido significativamente desde 1987. Una de las lecciones de esta historia es que es peligroso seguir una estrategia de negociación específica (incluso una estrategia de cobertura) cuando muchos otros participantes de mercado están haciendo lo mismo.

RESUMEN

Las instituciones financieras ofrecen diversos productos de opciones a sus clientes. Con frecuencia, las opciones no corresponden a los productos estandarizados que se negocian en las bolsas, y entonces las instituciones financieras se enfrentan al problema de cubrir su exposición. Las posiciones descubiertas y cubiertas los someten a un nivel de riesgo inaceptable. Un curso de acción propuesto en ocasiones es una estrategia *stop-loss*. Esta estrategia consiste en mantener una posición descubierta cuando la opción está *out of the money* y convertirla en una posición cubierta tan pronto como la opción esté *in the money*. Aunque es atractiva a simple vista, la estrategia no proporciona una buena cobertura.

La delta, Δ, de una opción es la tasa de cambio de su precio con respecto al precio del activo subyacente. La cobertura delta consiste en crear una posición con una delta de cero (denominada en ocasiones posición delta neutral). Como la delta del activo subyacente es de 1.0, una forma de cubrir es tomar una posición de $-\Delta$ en el activo subyacente por cada opción larga que se cubre. La delta de una opción cambia con el paso del tiempo. Esto significa que la posición en el activo subyacente debe ajustarse con frecuencia.

Una vez que una posición en una opción se ha convertido en delta neutral, con frecuencia, el siguiente paso es ver su gamma. La gamma de una opción es la tasa de cambio de su delta con respecto al precio del activo subyacente. Es una medida de la curvatura de la relación entre el precio de la opción y el precio del activo. El impacto de esta curvatura en el desempeño de la cobertura delta se reduce al convertir la posición en una opción en gamma neutral. Si Γ es la gamma de la posición que se cubre, por lo general esta reducción se logra tomando una posición en una opción negociada con una gamma de $-\Gamma$.

Las coberturas delta y gamma se basan en el supuesto de que la volatilidad del activo subyacente es constante. En la práctica, las volatilidades cambian con el paso del tiempo. La vega de una opción o de una cartera de opciones mide la tasa de cambio de su valor con respecto a la volatilidad. Un negociante que desee cubrir una posición en una opción contra los cambios de volatilidad puede convertir la posición en vega neutral. Del mismo modo que con el procedimiento para crear una neutralidad gamma, la neutralidad vega consiste en tomar una posición de compensación en una opción negociada. Si el negociante desea lograr una neutralidad tanto gamma como vega, se suelen requerir dos opciones negociadas.

Otras dos medidas del riesgo de una posición en una opción son theta y rho. Theta mide la tasa de cambio del valor de la posición con respecto al paso del tiempo, siempre que todo lo demás permanezca constante. Rho mide la tasa de cambio del valor de la posición con respecto a la tasa de interés, siempre que todo lo demás permanezca constante.

En la práctica, los negociantes de opciones suelen reequilibrar sus carteras por lo menos una vez al día para mantener la neutralidad delta. Por lo general no es factible mantener una neutralidad gamma y vega de manera regular. Comúnmente, un negociante vigila estas medidas. Si aumentan demasiado, se toman medidas correctivas o se restringen las negociaciones.

En ocasiones, los administradores de cartera se interesan en la creación sintética de opciones de venta con el fin de asegurar una cartera de acciones. Esto lo pueden hacer negociando la cartera o negociando futuros sobre índices sobre la cartera. La negociación de la cartera consiste en dividirla entre acciones y valores libres de riesgo. A medida que el mercado cae, más se invierte en títulos libres de riesgo; a medida que el mercado repunta, más se invierte en acciones. La negociación de futuros sobre índices implica mantener la cartera de acciones intacta y vender futuros sobre índices. Conforme el mercado cae, se venden más futuros sobre índices; conforme repunta, se venden menos. Este tipo de seguro de cartera funciona bien en condiciones normales. El lunes 19 de octubre de 1987, cuando el Promedio Industrial Dow Jones se desplomó abruptamente, funcionó muy mal. Los aseguradores de cartera no pudieron vender sus acciones o futuros sobre índices lo suficientemente rápido para proteger sus posiciones.

LECTURA COMPLEMENTARIA

Taleb, N.N. *Dynamic Hedging: Managing Vanilla and Exotic Options*. New York, Wiley, 1996.

Examen (respuestas al final del libro)

15.1. Explique cómo se puede implementar una regla de negociación de cobertura *stop-loss* para el suscriptor de una opción de compra *out of the money*. ¿Por qué esta estrategia proporciona una cobertura relativamente pobre?

15.2. ¿Qué significa que la delta de una opción de compra sea de 0.7? ¿Cómo puede convertirse una posición corta en 1,000 opciones de compra en delta neutral cuando la delta de cada opción es de 0.7?

15.3. Calcule la delta de una opción de compra europea a seis meses *at the money* sobre una acción que no paga dividendos cuando la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual y la volatilidad del precio de la acción es de 25% anual.

15.4. ¿Puede cambiarse la vega de una cartera de derivados tomando una posición en el activo subyacente? Explique su respuesta.

15.5. ¿Qué significa la gamma de una posición en una opción? ¿Cuáles son los riesgos en una situación en la que la gamma de una posición es grande y negativa y la delta es de cero?

15.6. "El procedimiento para crear sintéticamente una posición en una opción es lo contrario al procedimiento para cubrir la posición en la opción". Explique esta declaración.

15.7. Explique por qué el seguro de cartera pudo haber tenido parte en el desplome del mercado de valores el 19 de octubre de 1987.

Preguntas y problemas

15.8. ¿Qué significa que la theta de una posición en una opción es de -0.1 cuando el tiempo se mide en años? Si un negociante cree que no cambiarán ni el precio de una acción ni su volatilidad implícita, ¿qué tipo de posición en una opción es adecuado?

15.9. El precio de Black-Scholes de una opción de compra *out of the money* con un precio de ejercicio de \$40 es de \$4. El negociante que suscribió la opción planea usar una estrategia *stop-loss*. El plan del negociante consiste en comprar a \$40.10 y vender a \$39.90. Calcule el número esperado de veces que la acción se comprará o venderá.

15.10. Imagine que el precio de una acción es actualmente de \$20 que una opción de compra con un precio de ejercicio de \$25 dólares se crea sintéticamente usando una posición continuamente variable en la acción. Considere los dos escenarios siguientes:

a. El precio de la acción aumenta constantemente de \$20 a \$35 durante la vida de la opción.

b. El precio de la acción oscila excesivamente, terminando en \$35.

¿Cuál de los escenarios haría más costosa la opción creada sintéticamente? Explique su respuesta.

15.11. ¿Cuál es la delta de una posición corta en 1,000 opciones de compra europeas sobre futuros de plata? Las opciones vencen en ocho meses y el contrato de futuros subyacente a la opción vence en nueve meses. El precio actual del contrato de futuros a nueve meses es de \$8 por onza, el precio de ejercicio de las opciones es de \$8, la tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual y la volatilidad de la plata es de 18% anual.

15.12. En el problema 15.11, ¿qué posición inicial en los futuros de plata a nueve meses se requiere para una cobertura delta? Si se usa la plata misma, ¿cuál es la posición inicial? Si se usan futuros de plata a un año, ¿cuál es la posición inicial? Asuma que no hay costos de almacenamiento para la plata.

15.13. Una empresa usa la cobertura delta para cubrir una cartera de posiciones largas en opciones de venta y de compra sobre una divisa. ¿Cuál de las siguientes opciones daría el resultado más favorable?

a. Una tasa spot prácticamente constante

b. Grandes variaciones de la tasa spot

Explique su respuesta.

15.14. Repita el problema 15.13 para una institución financiera con una cartera de posiciones cortas en opciones de venta y de compra sobre una divisa.

15.15. Una institución financiera acaba de vender 1,000 opciones de compra europeas a siete meses sobre el yen japonés. Suponga que el tipo de cambio spot es de $0.80 por yen, el precio de ejercicio es de $0.81 por yen, la tasa de interés libre de riesgo en Estados Unidos de América es de 8% anual, la tasa de interés libre de riesgo en Japón es de 5% anual y la volatilidad del yen es de 15% anual. Calcule la delta, gamma, vega, theta y rho de la posición de la institución financiera. Interprete cada cifra.

15.16. ¿En qué circunstancias es posible convertir una opción europea sobre un índice bursátil tanto en gamma neutral como en vega neutral agregando una posición en otra opción europea?

15.17. Un administrador de fondos tiene una cartera bien diversificada que refleja el desempeño del índice S&P 500 y vale $360. El valor del índice S&P 500 es de 1,200 y al administrador de cartera le gustaría comprar un seguro contra una reducción mayor de 5% en el valor de la cartera durante los seis meses siguientes. La tasa de interés libre de riesgo es de 6% anual. El rendimiento de dividendos sobre la cartera y el índice S&P 500 es de 3% y la volatilidad del índice es de 30% anual.

a. Si el administrador de fondos compra opciones de venta europeas negociadas, ¿cuánto costaría el seguro?

b. Explique con detalle estrategias alternativas disponibles para el administrador de fondos que incluyan opciones de compra europeas negociadas y demuestre que dan lugar al mismo resultado.

c. Si el administrador de fondos decide proporcionar seguro manteniendo parte de la cartera en títulos libres de riesgo, ¿cuál debe ser la posición inicial?

d. Si el administrador de fondos decide proporcionar seguro usando futuros sobre índices a nueve meses, ¿cuál debe ser la posición inicial?

15.18. Repita el problema 15.17 bajo el supuesto de que la cartera tiene una beta de 1.5. Asuma que el rendimiento de dividendos sobre la cartera es de 4% anual.

15.19. Demuestre sustituyendo los diversos términos de la ecuación (15.4) que la ecuación es cierta para:

a. Una sola opción de compra europea sobre una acción que no paga dividendos.

b. Una sola opción de venta europea sobre una acción que no paga dividendos.

c. Cualquier cartera de opciones europeas de venta y de compra sobre una acción que no paga dividendos.

15.20. Suponga que $70,000 millones de activos patrimoniales se someten a planes de seguro de cartera. Asuma que los planes están diseñados para proporcionar seguro contra una disminución mayor de 5% en el valor de los activos dentro de un año. Realice los cálculos que considere necesarios y use el software DerivaGem para calcular el valor de la acción o de los contratos de futuros que los administradores de los planes de seguro de cartera tratarán de vender si el mercado cae 23% en un solo día.

15.21. ¿Tiene un contrato a plazo sobre un índice bursátil la misma delta que el contrato de futuros correspondiente? Explique su respuesta.

15.22. La posición de un banco en opciones sobre el tipo de cambio del eurodólar tiene una delta de 30,000 y una gama de −80,000. Explique cómo se interpretan estas cifras. El tipo de cambio (dólares por euro) es de 0.90. ¿Qué posición tomaría usted para convertir la posición en delta neutral? Después de un corto periodo, el tipo de cambio varía a 0.93. Calcule la nueva delta. ¿Qué transacción adicional se requiere para mantener la posición delta neutral? Si asumimos que el banco sí estableció una posición delta neutral inicialmente, ¿ganó o perdió dinero como consecuencia de la variación del tipo de cambio?

Preguntas de tarea

15.23. Considere una opción de compra europea a un año sobre una acción cuando el precio de ésta es de $30, el precio de ejercicio es de $30, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% y la volatilidad es de 25% anual. Use el software DerivaGem para calcular el precio, la delta, gamma, vega, theta y rho de la opción. Verifique que la delta sea correcta cambiando el precio de la acción a $30.1 y calculando de nuevo el precio de la opción. Compruebe que la gamma sea correcta calculando de nuevo la delta para la situación en la que el precio de la acción sea de $30.1. Realice cálculos similares para verificar que vega, theta y rho sean correctas. Use el software DerivaGem para registrar el precio, la delta, gamma, vega, theta y rho de la opción frente al precio de la acción.

15.24. Una institución financiera tiene la siguiente cartera de opciones over-the-counter sobre libras esterlinas:

Tipo	*Posición*	*Delta de la opción*	*Gamma de la opción*	*Vega de la opción*
Opción de compra	−1,000	0.50	2.2	1.8
Opción de compra	−500	0.80	0.6	0.2
Opción de venta	−2,000	−0.40	1.3	0.7
Opción de compra	−500	0.70	1.8	1.4

Está disponible una opción negociada con una delta de 0.6, una gamma de 1.5 y una vega de 0.8.

a. ¿Qué posición en la opción negociada y en las libras esterlinas convertiría la cartera tanto en gamma neutral como en delta neutral?

b. ¿Qué posición en la opción negociada y en las libras esterlinas convertiría la cartera tanto en vega neutral como en delta neutral?

15.25. Considere nuevamente la situación del problema 15.24. Suponga que está disponible una segunda opción negociada con una delta de 0.1, una gamma de 0.5 y una vega de 0.6. ¿Cómo podría convertirse la cartera en delta, gamma y vega neutral?

15.26. Un instrumento de depósito ofrecido por un banco garantiza que los inversionistas recibirán durante un periodo de seis meses el rendimiento que sea mayor entre a) cero y b) 40% del rendimiento proporcionado por un índice de mercado. Un inversionista planea invertir $100,000 en el instrumento. Describa el beneficio como una opción sobre el índice. Si asumimos que la tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual, el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 3% anual y la volatilidad del índice es de 25% anual, ¿es el producto un buen negocio para el inversionista?

15.27. Use el software DerivaGem para verificar que la ecuación (15.4) se resuelva para la opción considerada en la sección 15.1. [*Nota*: el software DerivaGem produce un valor de theta "por día natural". En la ecuación (15.4), la theta es "por año"].

15.28. Use las funciones de DerivaGem Application Builder para reproducir la tabla 15.2. (Observe que en esta tabla la posición en la acción se redondea a las 100 acciones más cercanas). Calcule la gamma y la theta de la posición cada semana. Calcule el cambio en el valor de la cartera cada semana y verifique si la ecuación (15.3) se resuelve de manera aproximada. [*Nota*: el software DerivaGem produce un valor de theta "por día natural". En la ecuación (15.3), la theta es "por año"].

16 CAPÍTULO

Árboles binomiales en la práctica

Como vimos en los capítulos 12, 13 y 14, el modelo de Black-Scholes y sus ampliaciones se usan para valuar opciones de compra y de venta europeas sobre acciones, índices bursátiles, divisas y contratos de futuros. Para las opciones americanas nos basamos en los árboles binomiales. En este capítulo abordamos, en forma más exhaustiva que en el capítulo 11, el uso de los árboles binomiales en la práctica. En particular, explicamos cómo se usa la metodología de árboles binomiales para valuar opciones americanas sobre una gama de diversos activos subyacentes, como son las acciones que pagan dividendos, y de qué manera se utiliza para calcular las letras griegas que presentamos en el capítulo 15. Como se explicó en la sección 11.8, el software DerivaGem que acompaña a este libro se usa para realizar los cálculos descritos en el capítulo y ver los árboles elaborados.

16.1 MODELO BINOMIAL PARA UNA ACCIÓN QUE NO PAGA DIVIDENDOS

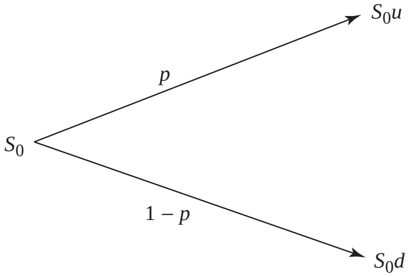
Cox, Ross y Rubinstein propusieron por primera vez la metodología de árboles binomiales para valuar opciones de estilo americano.[1] Considere la evaluación de una opción sobre una acción que no paga dividendos. Comenzamos dividiendo la vida de la opción en muchos pequeños intervalos con una duración Δt. Asumimos que, en cada intervalo, el precio de la acción varía de su valor inicial S_0 a uno de dos nuevos valores, S_0u y S_0d. La figura 16.1 ilustra este modelo. En general, $u > 1$ y $d < 1$. Por lo tanto, la variación de S_0 a S_0u es un movimiento "hacia arriba" y la variación de S_0 a S_0d es un movimiento "hacia abajo". La probabilidad de un movimiento hacia arriba se designará con p. La probabilidad de un movimiento hacia abajo es $1 - p$.

Valuación neutral al riesgo

El principio de la valuación neutral al riesgo, analizado en los capítulos 11 y 12, establece que cualquier título dependiente del precio de una acción puede valuarse bajo el supuesto de que el mundo

[1] Vea J.C. Cox, S.A. Ross y M. Rubinstein, "Option Pricing: A Simplified Approach", *Journal of Financial Economics*, 7 (octubre de 1979), pp. 229-64.

Figura 16.1 Variaciones en el precio de la acción en el tiempo Δt con el modelo binomial



es neutral al riesgo. Esto significa que, al valuar una opción (o cualquier otro derivado), podemos asumir lo siguiente:

1. El rendimiento esperado de todos los títulos negociados es la tasa de interés libre de riesgo.
2. Los flujos de efectivo futuros se valúan descontando sus valores esperados a la tasa de interés libre de riesgo.

Usaremos este resultado al usar un árbol binomial.

Determinación de *p*, *u* y *d*

Diseñamos el árbol para representar el comportamiento del precio de una acción en un mundo neutral al riesgo. En este mundo, los parámetros p, u y d deben proporcionar los valores correctos para la media y la varianza del rendimiento del precio de la acción durante un intervalo Δt. El rendimiento esperado de una acción es la tasa de interés libre de riesgo, r. Por consiguiente, el valor esperado del precio de la acción al final de un intervalo Δt es $Se^{r\Delta t}$, donde S es el precio de la acción al inicio del intervalo. Por lo tanto, para igualar el rendimiento promedio del precio de la acción con el árbol, necesitamos

$$Se^{r\Delta t} = pSu + (1 - p)Sd \qquad \textbf{(16.1)}$$

o

$$e^{r\Delta t} = pu + (1 - p)d \qquad \textbf{(16.2)}$$

Como se explicó en la sección 12.1, la varianza del rendimiento del precio de la acción R en un pequeño intervalo Δt es $\sigma^2\Delta t$, donde σ es la volatilidad. Ésta es también la varianza de $1 + R$, ya que agrega una constante a una variable y no cambia su varianza. La varianza de una variable Q se define como $E(Q^2) - E(Q^2)$, donde E designa el valor esperado. Hay una probabilidad p de que $1 + R$ sea u y una probabilidad $1 - p$ de que $1 + R$ sea d. Se deduce que

$$\sigma^2\Delta t = pu^2 + (1 - p)d^2 - [pu + (1 - p)d]^2 \qquad \textbf{(16.3)}$$

Las ecuaciones (16.2) y (16.3) imponen dos condiciones sobre p, u y d. Una tercera condición usada por Cox, Ross y Rubinstein es

$$u = \frac{1}{d}$$

Cuando Δt es pequeño, las ecuaciones (16.2), (16.3) y esta ecuación se resuelven por medio de

$$p = \frac{a - d}{u - d} \tag{16.4}$$

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \tag{16.5}$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \tag{16.6}$$

donde

$$a = e^{r\Delta t} \tag{16.7}$$

La variable a se denomina en ocasiones *factor de crecimiento*. Observe que las ecuaciones (16.4) a (16.7) son iguales a las ecuaciones (11.11) a (11.14) del capítulo 11.

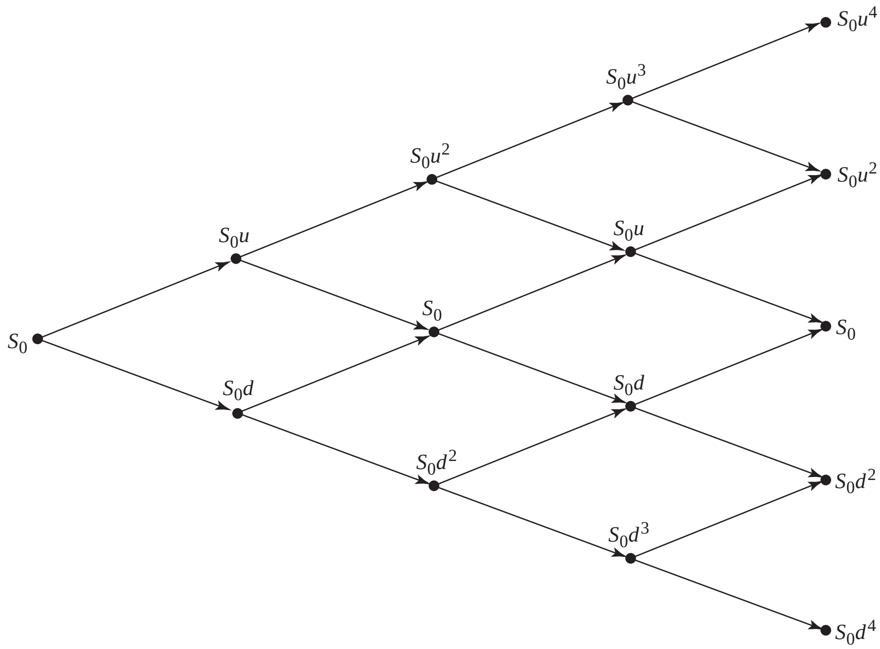
El árbol de precios de una acción

La figura 16.2 ilustra el árbol completo de precios de una acción que se considera al usar el modelo binomial. En el tiempo cero, se conoce el precio de la acción, S_0. En el tiempo Δt hay dos posibles precios de la acción, S_0u y S_0d; en el tiempo $2\Delta t$, hay tres posibles precios de la acción, S_0u^2, S_0 y S_0d^2, etc. En general, en el tiempo $i\Delta t$, consideramos $i + 1$ precios de la acción. Éstos son

$$S_0u^jd^{i-j} \quad (j = 0, 1, \ldots, i)$$

Observe que la relación $u = 1/d$ se usa para calcular el precio de la acción en cada nodo del árbol de la figura 16.2. Por ejemplo, $S_0u^2d = S_0u$. Además, observe que el árbol se recombina en el sen-

Figura 16.2 Árbol usado para valuar una opción sobre una acción



tido de que un movimiento hacia arriba seguido por un movimiento hacia abajo da lugar al mismo precio de la acción que un movimiento hacia abajo seguido por un movimiento hacia arriba.

Retroceso a lo largo del árbol

Las opciones se evalúan comenzando al final del árbol (tiempo T) y retrocediendo a lo largo de él, un procedimiento que se conoce como *inducción hacia atrás (backwards induction)*. El valor de la opción se conoce en el tiempo T. Por ejemplo, una opción de venta vale máx$(K - S_T, 0)$ y una opción de compra vale máx$(S_T - K, 0)$, donde S_T es el precio de la acción en el tiempo T y K es el precio de ejercicio. Como se asume un mundo neutral al riesgo, el valor en cada nodo en el tiempo $T - \Delta t$ se calcula como el valor esperado en el tiempo T descontado a la tasa r durante un periodo Δt. Del mismo modo, el valor en cada nodo en el tiempo $T - 2\Delta t$ se calcula como el valor esperado en el tiempo $T - \Delta t$ descontado a la tasa r durante un periodo Δt, etc. Si la opción es americana, es necesario verificar en cada nodo si el ejercicio anticipado es preferible a mantener la opción durante otro periodo Δt adicional. Finalmente, al retroceder a lo largo de todos los nodos, obtenemos el valor de la opción en el tiempo cero.

Ejemplo

Un ejemplo aclarará el procedimiento. Considere una opción de venta americana a cinco meses sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de \$50, el precio de ejercicio es de \$50, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual y la volatilidad es de 40% anual. Con nuestra notación usual, esto significa que $S_0 = 50$, $K = 50$, $r = 0.10$, $\sigma = 0.40$ y $T = 0.4167$. Suponga que dividimos la vida de la opción en cinco intervalos, cada uno con una duración de un mes, con el propósito de construir un árbol binomial. Entonces, $\Delta t = 1/12$ y, usando las ecuaciones (16.4) a (16.7),

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1.1224, \qquad d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = 0.8909, \qquad a = e^{r\Delta t} = 1.0084$$

$$p = \frac{a-d}{u-d} = 0.5073, \qquad 1 - p = 0.4927$$

La figura 16.3 muestra el árbol binomial producido con el software DerivaGem. En cada nodo hay dos cifras. La superior muestra el precio de la acción en el nodo; la inferior muestra el valor de la opción en el nodo. La probabilidad de un movimiento hacia arriba es siempre de 0.5073; la probabilidad de un movimiento hacia abajo es siempre de 0.4927.

El precio de la acción en el j^{mo} nodo ($j = 0, 1,..., i$) en el tiempo $i\Delta t$ ($i = 0, 1,..., 5$) se calcula como $S_0 u^j d^{i-j}$. Por ejemplo, el precio de la acción en el nodo A ($i = 4$, $j = 1$) (es decir, el segundo nodo de abajo hacia arriba al final del cuarto intervalo) es de $50 \times 1.1224 \times 0.8909^3 = \$39.69$.

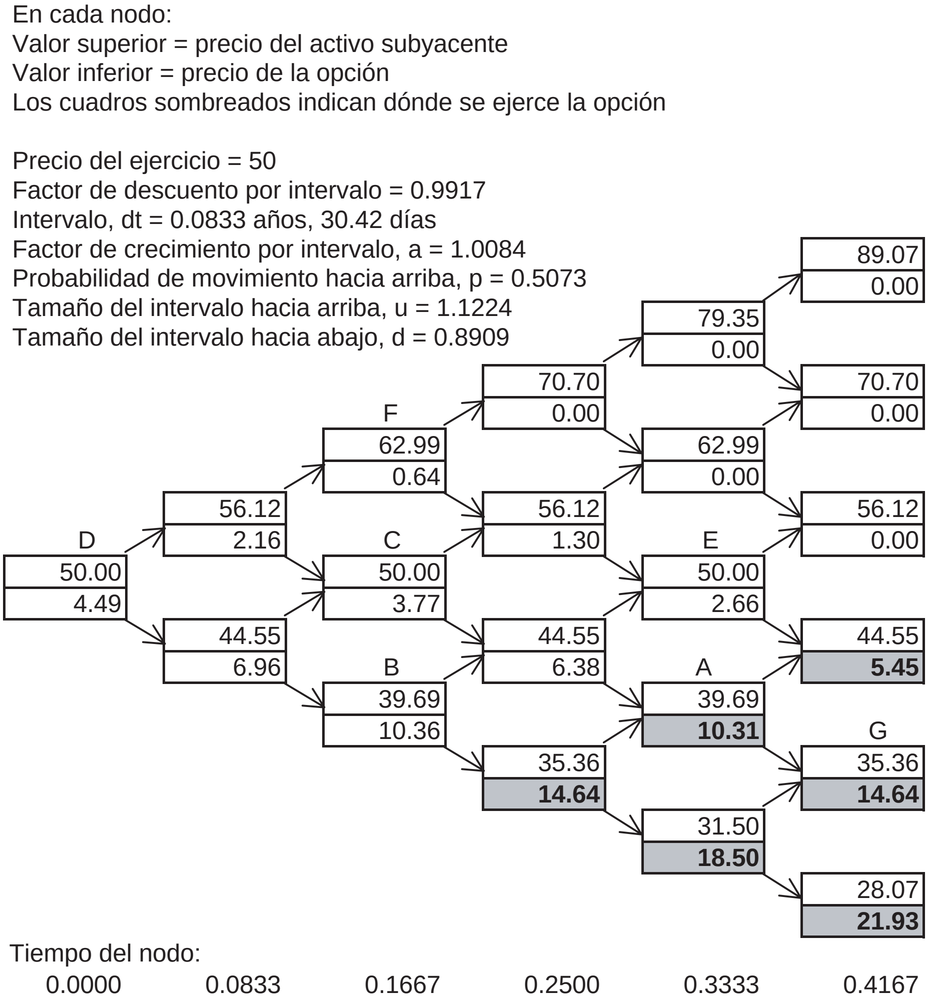
Los precios de la opción al final de los nodos se calculan como máx$(K - S_T, 0)$. Por ejemplo, el precio de la opción en el nodo G es de $50.00 - 35.36 = 14.64$. Los precios de la opción en los penúltimos nodos se calculan a partir de los precios de la opción en los nodos finales. En primer lugar, asumimos que no se ejerce la opción en los nodos. Esto significa que el precio de la opción se calcula como el valor presente del precio que se espera de la opción un intervalo después. Por ejemplo, en el nodo E, el precio de la opción se calcula como

$$(0.5073 \times 0 + 0.4927 \times 5.45)e^{-0.10\times 1/12} = 2.66$$

en tanto que, en el nodo A, se calcula como

$$(0.5073 \times 5.45 + 0.4927 \times 14.64)e^{-0.10\times 1/12} = 9.90$$

Figura 16.3 Árbol nominal obtenido con el software DerivaGem para una opción de venta americana sobre una acción que no paga dividendos



Entonces, verificamos si el ejercicio anticipado es preferible a esperar. En el nodo E, el ejercicio anticipado daría a la opción un valor de cero porque tanto el precio de la acción como el precio de ejercicio son de \$50. Evidentemente, es mejor esperar. Por consiguiente, el valor correcto para la opción en el nodo E es de \$2.66. En el nodo A, es una historia distinta. Si la opción se ejerce, tiene un valor de \$50.00 − \$39.69 o \$10.31. Esta cifra es mayor de \$9.90. Por lo tanto, si se llega al nodo A, la opción debe ejercerse y el valor correcto para la opción en el nodo A es de \$10.31.

Los precios de la opción en nodos anteriores se calculan de la misma manera. Observe que no siempre lo mejor es ejercer una opción anticipadamente cuando está *in the money*. Considere el nodo B. Si la opción se ejerce, tiene un valor de \$50.00 − \$39.69, o \$10.31. Sin embargo, si no se ejerce, tiene un valor de

$$(0.5073 \times 6.38 + 0.4927 \times 14.64)e^{-0.10\times 1/12} = 10.36$$

Por lo tanto, la opción no debe ejercerse en este nodo y el valor correcto de la opción en el nodo es de \$10.36.

Si retrocedemos a lo largo del árbol, descubrimos que el valor de la opción en el nodo inicial es de \$4.49. Ésta es nuestra estimación numérica para el valor actual de la opción. En la práctica se usaría un valor menor para Δt y muchos nodos más. El software DerivaGem muestra que con 30, 50 y 100 intervalos obtenemos valores para la opción de 4.263, 4.272 y 4.278, respectivamente.

Expresión del modelo algebraicamente

Suponga que la vida de una opción de venta americana sobre una acción que no paga dividendos se divide en N subintervalos con una duración Δt. Nos referiremos al j^{mo} nodo en el tiempo $i\Delta t$ como el nodo (i, j), donde $0 \leqslant i \leqslant N$ y $0 \leqslant j \leqslant i$. Defina $f_{i,j}$ como el valor de la opción en el nodo (i, j). El precio de la acción en el nodo (i, j) es $S_0 u^j d^{i-j}$. Como el valor de una opción de venta americana en su fecha de vencimiento es máx$(K - S_T, 0)$, sabemos que

$$f_{N,j} = \text{máx}(K - S_0 u^j d^{N-j},\ 0) \quad (j = 0, 1, \ldots, N)$$

Hay una probabilidad, p, de pasar del nodo (i, j) en el tiempo $i\Delta t$ al nodo $(i + 1, j + 1)$ en el tiempo $(i + 1)\,\Delta t$ y una probabilidad $1 - p$ de pasar del nodo (i, j) en el tiempo $i\Delta t$ al nodo $(i + 1, j)$ en el tiempo $(i + 1)\,\Delta t$. Si asumimos que no hay un ejercicio anticipado, la valuación neutral al riesgo nos da

$$f_{i,j} = e^{-r\Delta t}[p f_{i+1,j+1} + (1 - p) f_{i+1,j}]$$

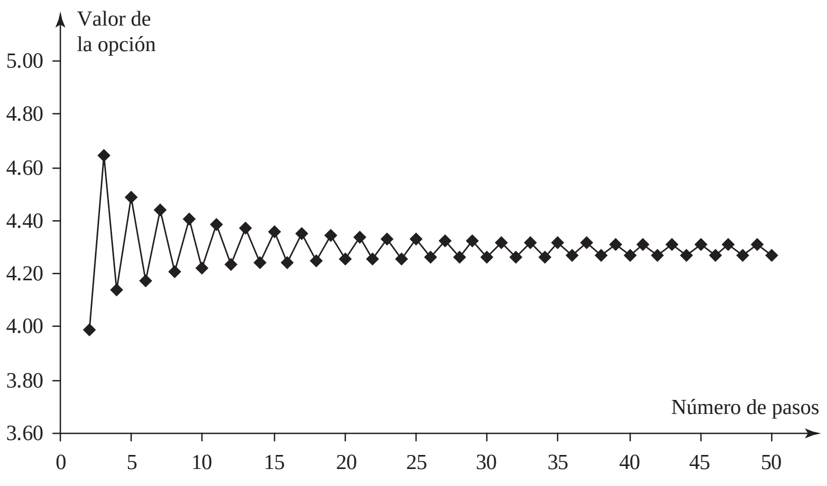
para $0 \leqslant i \leqslant N - 1$ y $0 \leqslant j \leqslant i$. Cuando se toma en cuenta el ejercicio anticipado, este valor para $f_{i,j}$ debe compararse con el valor intrínseco de la opción, por lo que obtenemos

$$f_{i,j} = \text{máx}\,\{K - S_0 u^j d^{i-j},\ e^{-r\Delta t}[p f_{i+1,j+1} + (1 - p) f_{i+1,j}]\}$$

Observe que, como los cálculos comienzan en el tiempo T y se retrocede, el valor en el tiempo $i\Delta t$ capta no sólo el efecto de las posibilidades de ejercicio anticipado en el tiempo $i\Delta t$, sino también el efecto del ejercicio anticipado en tiempos subsiguientes.

En el límite, a medida que Δt se aproxima a cero, se obtiene un valor exacto para la opción de venta americana. En la práctica, $N = 30$ proporciona usualmente resultados razonables. La figura 16.4

Figura 16.4 Convergencia del precio de la opción calculado con un árbol binomial



muestra la convergencia del precio de la opción del ejemplo que hemos analizado. Esta cifra se calculó usando las funciones del DerivaGem Application Builder proporcionadas con el software DerivaGem (vea la Aplicación de muestra A).

Cálculo de delta y otras letras griegas

Recordemos que la delta, Δ, de una opción es la tasa de cambio de su precio con respecto al precio de la acción subyacente. Se calcula de la siguiente manera

$$\frac{\Delta f}{\Delta S}$$

donde ΔS es un pequeño cambio en el precio de la acción y Δf es el pequeño cambio correspondiente en el precio de la opción. En el tiempo Δt, tenemos un cálculo de f_{11} para el precio de la opción cuando el precio de la acción es S_0u y un cálculo de f_{10} para el precio de la opción cuando el precio de la acción es S_0d. En otras palabras, cuando $\Delta S = S_0u - S_0d$, tenemos $\Delta f = f_{11} - f_{10}$. Por consiguiente, un cálculo de Δ en el tiempo Δt es

$$\Delta = \frac{f_{11} - f_{10}}{S_0u - S_0d} \tag{16.8}$$

Para determinar la gamma, Γ, observamos que hay dos cálculos de Δ en el tiempo $2\Delta t$. Cuando el precio de la acción es $(S_0u^2 + S_0)/2$ (a la mitad del camino entre el segundo y el tercer nodo en el tiempo $2\Delta t$), delta es $(f_{22} - f_{21})/(S_0u^2 - S_0)$; cuando el precio de la acción es $(S_0 + S_0d^2)/2$ (a la mitad del camino entre el primer y segundo nodo en el tiempo $2\Delta t$), delta es $(f_{21} - f_{20})/(S_0 - S_0d^2)$. La diferencia entre los dos precios de la acción es h, donde

$$h = 0.5(S_0u^2 - S_0d^2)$$

La gamma es el cambio de la delta dividido entre h, o

$$\Gamma = \frac{[(f_{22} - f_{21})/(S_0u^2 - S_0)] - [(f_{21} - f_{20})/(S_0 - S_0d^2)]}{h} \tag{16.9}$$

Estos procedimientos proporcionan cálculos de delta en el tiempo Δt y de gamma en el tiempo $2\Delta t$. En la práctica, también se usan como cálculos de delta y de gamma en el tiempo cero.[2]

Un parámetro de cobertura adicional que se obtiene directamente del árbol es theta, Θ. Este parámetro es la tasa de cambio del precio de la opción con el tiempo cuando todo lo demás permanece constante. Por lo tanto, un cálculo de theta es

$$\Theta = \frac{f_{21} - f_{00}}{2\Delta t} \tag{16.10}$$

La vega se calcula realizando un pequeño cambio, $\Delta\sigma$, en la volatilidad y construyendo un nuevo árbol para obtener un nuevo valor de la opción (Δt se debe mantener igual). El cálculo de vega es

$$\mathcal{V} = \frac{f^* - f}{\Delta\sigma}$$

donde f y f^* son los cálculos del precio de la opción a partir del árbol original y del nuevo, respectivamente. La rho se calcula de la misma manera.

[2] Si se requiere mayor exactitud para delta y gamma, podemos comenzar el árbol binomial en el tiempo $-2\Delta t$ y asumir que el precio de la acción es S_0 en este tiempo. Esto ocasiona que el precio de la opción se calcule a partir de tres diferentes precios de la acción en el tiempo cero.

Como ejemplo, considere el árbol de la figura 16.3. En este caso, $f_{1,0} = 6.96$ y $f_{1,1} = 2.16$. La ecuación (16.8) proporciona un cálculo de delta de

$$\frac{2.16 - 6.96}{56.12 - 44.55} = -0.41$$

Con base en la ecuación (16.9), un cálculo de la gamma de la opción se obtiene a partir de los valores en los nodos B, C y F de la manera siguiente

$$\frac{[(0.64 - 3.77)/(62.99 - 50.00)] - [(3.77 - 10.36)/(50.00 - 39.69)]}{11.65} = 0.03$$

Con base en la ecuación (16.10), un cálculo de la theta de la opción se obtiene a partir de los valores en los nodos D y C de la manera siguiente

$$\frac{3.77 - 4.49}{0.1667} = -4.3 \text{ por año}$$

o -0.012 por día natural. Por supuesto, éstos son solamente cálculos aproximados, que mejoran gradualmente a medida que aumenta el número de intervalos incluidos en el árbol. Si se usan 50 intervalos, el software DerivaGem proporciona estimaciones de -0.414, 0.033 y -0.0117 para delta, gamma y theta, respectivamente.

16.2 USO DEL ÁRBOL BINOMIAL PARA OPCIONES SOBRE ÍNDICES, DIVISAS Y CONTRATOS DE FUTUROS

Como se muestra en las secciones 11.9 y 13.3, el método de árboles binomiales para valuar opciones sobre acciones que no pagan dividendos puede adaptarse con facilidad para valuar opciones de compra y de venta americanas sobre una acción que paga un rendimiento de dividendos continuo a la tasa q.

Puesto que los dividendos proporcionan un rendimiento de q, el precio de la acción debe proporcionar en promedio un rendimiento de $r - q$ en un mundo neutral al riesgo. Por consiguiente, la ecuación (16.1) se convierte en

$$Se^{(r-q)\Delta t} = pSu + (1 - p)Sd$$

de manera que

$$e^{(r-q)\Delta t} = pu + (1 - p)d$$

Los parámetros p, u y d deben resolver esta ecuación y la ecuación (16.3). Las ecuaciones (16.4), (16.5) y (16.6) son aún correctas, pero con

$$a = e^{(r-q)\Delta t} \tag{16.11}$$

Por lo tanto, el procedimiento numérico de los árboles binomiales se usa exactamente como antes con este nuevo valor de a.

En los capítulos 13 y 14 mostramos que, con el fin de evaluar opciones, los índices bursátiles, las divisas y los contratos de futuros se consideran acciones que pagan rendimientos de dividendos continuos. En el caso de un índice bursátil, el rendimiento de dividendos relevante es el rendimiento de dividendos sobre la cartera de acciones subyacente al índice; en el caso de una divisa, es la tasa de interés libre de riesgo extranjera; en el caso de un contrato de futuros, es la tasa de interés libre de riesgo doméstica. Esto se ilustra en los ejemplos 16.1 y 16.2.

Ejemplo 16.1 Árbol para una opción de futuros sobre índices

Considere una opción de compra americana a cuatro meses de futuros sobre índices. El precio de futuros actual es de \$300, el precio de ejercicio es de \$300, la tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual y la volatilidad del índice es de 30% anual. Dividimos la vida de la opción en cuatro intervalos de un mes con el propósito de construir el árbol. En este caso, $F_0 = 300$, $K = 300$, $r = 0.08$, $\sigma = 0.3$, $T = 4/12$ y $\Delta t = 1/12$. Como un contrato de futuros es semejante a una acción que paga dividendos a una tasa continua, r, q debe establecerse igual a r en la ecuación (16.11). Esto nos da $a = 1$. Los otros parámetros necesarios para construir el árbol son

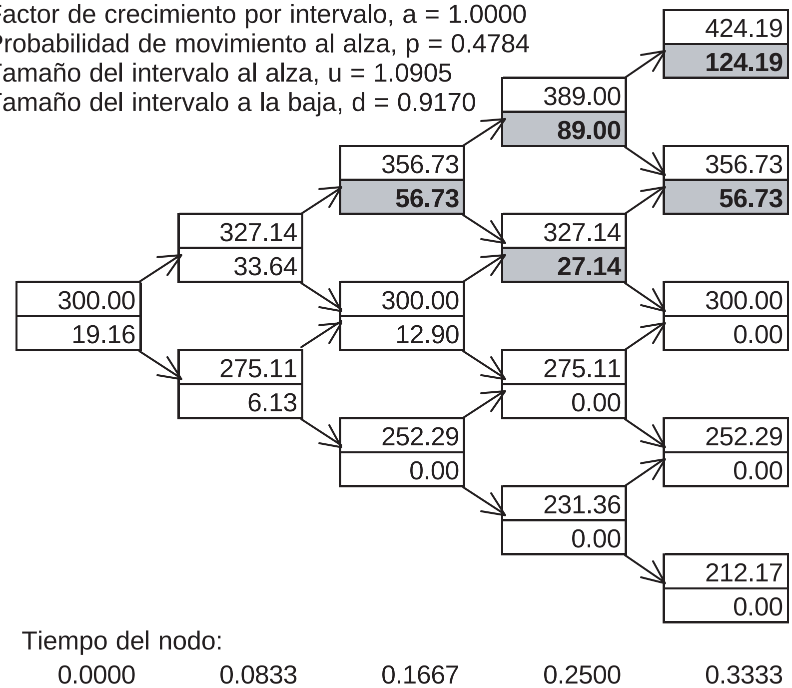
$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1.0905, \quad d = \frac{1}{u} = 0.9170, \quad p = \frac{a-d}{u-d} = 0.4784, \quad 1 - p = 0.5216$$

El árbol se muestra en la figura siguiente (la cifra superior es el precio de futuros; la cifra inferior es el precio de la opción). El valor estimado de la opción es de 19.16. Se obtiene mayor exactitud con más intervalos. Con 50 intervalos, el software DerivaGem proporciona un valor de 20.18; con 100 intervalos proporciona un valor de 20.22.

Resultado del software DerivaGem:

En cada nodo:
Valor superior = precio del activo subyacente
Valor inferior = precio de la opción
Los cuadros sombreados indican dónde se ejerce la opción

Precio del ejercicio = 300
Factor de descuento por intervalo = 0.9934
Intervalo, dt = 0.0833 años, 30.42 días
Factor de crecimiento por intervalo, a = 1.0000
Probabilidad de movimiento al alza, p = 0.4784
Tamaño del intervalo al alza, u = 1.0905
Tamaño del intervalo a la baja, d = 0.9170



Ejemplo 16.2 Árbol para una opción sobre divisas

Considere una opción de venta americana a un año sobre la libra británica. El tipo de cambio actual es de 1.6100, el precio de ejercicio es de 1.6000, la tasa de interés libre de riesgo estadounidense es de 8% anual, la tasa de interés libre de riesgo británica es de 9% anual y la volatilidad del tipo de cambio en libras esterlinas es de 12% anual. En este caso, $S_0 = 1.61$, $K = 1.60$, $r = 0.08$, $r_f = 0.09$, $\sigma = 0.12$ y $T = 1.0$. Dividimos la vida de la opción en cuatro trimestres con el propósito de construir el árbol, de modo que $\Delta t = 0.25$. En este caso, $q = r_f$, por lo que la ecuación (16.11) nos da

$$a = e^{(0.08-0.09)\times 0.25} = 0.9975$$

Los otros parámetros necesarios para construir el árbol son:

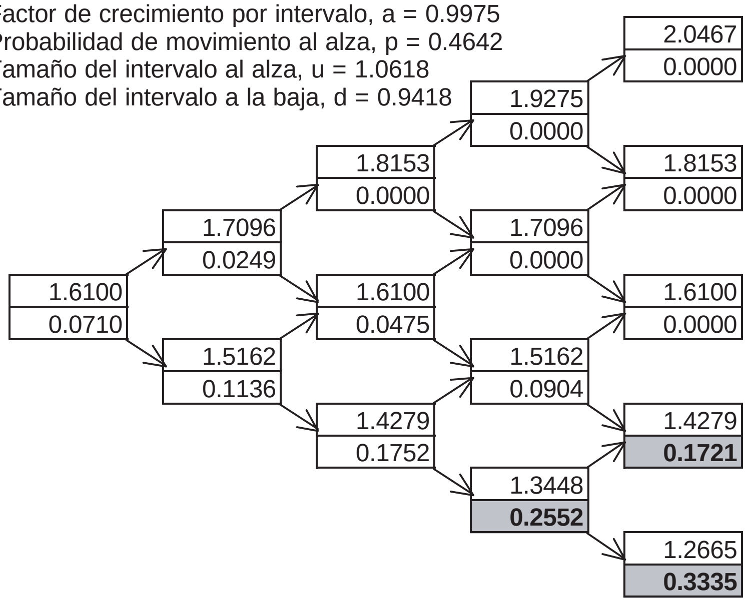
$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1.0618, \quad d = \frac{1}{u} = 0.9418, \quad p = \frac{a-d}{u-d} = 0.4642, \quad 1-p = 0.5358$$

El árbol se muestra en la figura siguiente (la cifra superior es el tipo de cambio; la cifra inferior es el precio de la opción). El valor estimado de la opción es de \$0.0710. Con 50 intervalos, el software DerivaGem proporciona el valor de la opción en 0.0738; con 100 intervalos también proporciona el valor de 0.0738.

Resultado del software DerivaGem:

En cada nodo:
Valor superior = precio del activo subyacente
Valor inferior = precio de la opción
Los cuadros sombreados indican dónde se ejerce la opción

Precio del ejercicio = 1.6
Factor de descuento por intervalo = 0.9802
Intervalo, dt = 0.2500 años, 91.25 días
Factor de crecimiento por intervalo, a = 0.9975
Probabilidad de movimiento al alza, p = 0.4642
Tamaño del intervalo al alza, u = 1.0618
Tamaño del intervalo a la baja, d = 0.9418



Tiempo del nodo:
0.0000 0.2500 0.5000 0.7500 1.0000

16.3 MODELO BINOMIAL PARA UNA ACCIÓN QUE PAGA DIVIDENDOS

Ahora analizaremos un tema más complicado que es el uso del modelo binomial para una acción que paga dividendos discretos. Al igual que en el capítulo 12, la palabra *dividendo* se usará en nuestro análisis para referirnos a la reducción en el precio de la acción en la fecha ex-dividendo, como consecuencia del dividendo.

Rendimiento de dividendos conocido

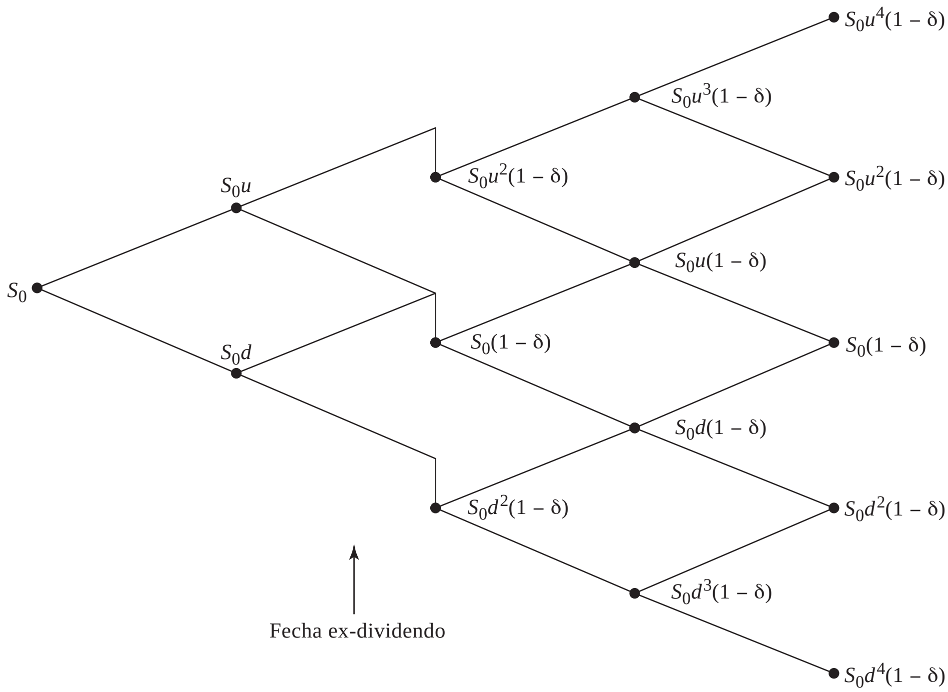
Si asumimos que se pagará un solo dividendo en cierta fecha y que éste será una proporción, *d*, del precio de la acción en esa fecha, el árbol adquiere la forma que muestra la figura 16.5 y puede analizarse en una forma similar a la que acabamos de describir. Si el tiempo $i\Delta t$ es anterior a la fecha ex-dividendo, los nodos del árbol corresponden a los precios de la acción

$$S_0 u^j d^{i-j} \quad (j = 0, 1, \dots, i)$$

donde u y d se definen como en las ecuaciones (16.5) y (16.6). Si el tiempo $i\Delta t$ es posterior a la fecha ex-dividendo, los nodos corresponden a los precios de la acción

$$S_0(1-\delta)u^j d^{i-j} \quad (j = 0, 1, \dots, i)$$

Figura 16.5 Árbol cuando la acción paga un rendimiento de dividendos conocido en una fecha específica



Varios dividendos conocidos durante la vida de una opción se manejan de manera similar. Si δ_i es el rendimiento de dividendos total relacionado con todas las fechas ex-dividendo entre el tiempo cero y el tiempo $i\Delta t$, los nodos en el tiempo $i\Delta t$ corresponden a los precios de la acción

$$S_0(1-\delta_i)u^j d^{i-j}$$

Dividendo en dólares conocido

En algunas situaciones, es más realista asumir que el monto en dólares del dividendo, más que el rendimiento de dividendos, se conoce por adelantado. Si se asume que la volatilidad de la acción, σ, es constante, el árbol adquiere la forma mostrada en la figura 16.6. No se recombina, lo que significa que el número de nodos que es necesario evaluar, en particular si hay varios dividendos, puede volverse muy grande. Imagine que sólo hay un dividendo, que la fecha ex-dividendo, τ, está entre $k\Delta t$ y $(k+1)\Delta t$ y que el monto en dólares del dividendo es D. Cuando $i \leqslant k$, los nodos del árbol en el tiempo $i\Delta t$ corresponden a los precios de la acción

$$S_0 u^j d^{i-j} \quad (j = 0, 1, 2, \ldots, i)$$

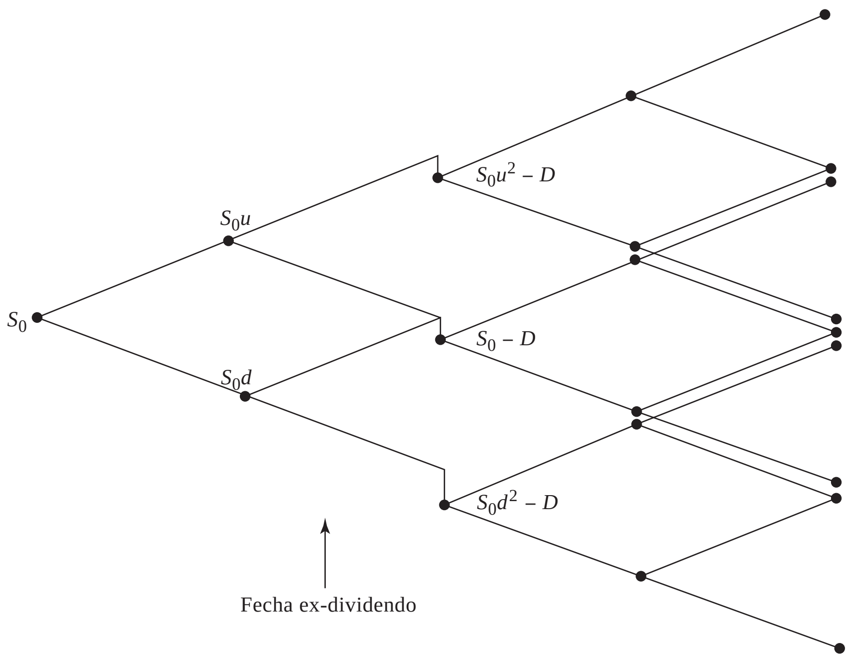
como antes. Cuando $i = k+1$, los nodos del árbol corresponden a los precios de la acción

$$S_0 u^j d^{i-j} - D \quad (j = 0, 1, 2, \ldots, i)$$

Cuando $i = k+2$, los nodos del árbol corresponden a los precios de la acción

$$(S_0 u^j d^{i-1-j} - D)u \;\text{ y }\; (S_0 u^j d^{i-1-j} - D)d$$

Figura 16.6 Árbol cuando se asume que el monto en dólares del dividendo es conocido y que la volatilidad es constante



para $j = 0, 1, 2, \ldots, i - 1$, de tal manera que hay $2i$ nodos en vez de $i + 1$ nodos. En el tiempo $(k + m)\,\Delta t$, hay $m(k + 2)$ nodos en vez de $k + m + 1$ nodos.

El problema se simplifica al asumir, como en el análisis de las opciones europeas del capítulo 12, que el precio de la acción tiene dos componentes: una parte que es incierta y una parte que es el valor presente de todos los dividendos futuros durante la vida de la opción. Como antes, suponga que sólo hay una fecha ex-dividendo, τ, durante la vida de la opción y que $k\Delta t \leqslant t \leqslant (k + 1)\,\Delta t$. El valor del componente incierto, S^*, en el tiempo $i\Delta t$ se obtiene por medio de

$$S^* = S \text{ cuando } i\Delta t > t$$

y

$$S^* = S - De^{-r(\tau - i\Delta t)} \text{ cuando } i\Delta t \leqslant t$$

donde D es el dividendo. Defina σ^* como la volatilidad de S^* y asuma que σ^* es constante.[3] Los parámetros p, u y d se calculan con las ecuaciones (16.4), (16.5), (16.6) y (16.7), reemplazando σ por σ^*, por lo que el árbol puede construirse en la forma usual para representar S^*. Si sumamos el valor presente de los dividendos futuros (si los hay) al precio de la acción en cada nodo, el árbol puede convertirse en otro árbol para representar S. Suponga que S_0^* es el valor de S^* en el tiempo cero. En el tiempo $i\Delta t$, los nodos de este árbol corresponden a los precios de la acción

$$S_0^* u^j d^{i-j} + De^{-r(\tau - i\,\Delta t)} \quad (j = 0, 1, \ldots, i)$$

cuando $i\Delta t < \tau$ y

$$S_0^* u^j d^{i-j} \quad (j = 0, 1, \ldots, i)$$

cuando $i\Delta t > \tau$. Este método, que tiene la ventaja de concordar con el método para las opciones europeas de la sección 12.9, tiene éxito en lograr una situación donde el árbol se recombina de tal modo que hay $i + 1$ nodos en el tiempo $i\Delta t$. Podemos generalizar de manera directa para manejar una situación en la que hay varios dividendos. El ejemplo 16.3 ilustra este método.

16.4 AMPLIACIONES DEL MÉTODO BÁSICO DE ÁRBOLES BINOMIALES

Ahora explicamos dos formas en las que se puede ampliar el método de árboles binomiales.

Tasas de interés dependientes del tiempo

Hasta ahora hemos asumido que las tasas de interés son constantes. Cuando la estructura temporal tiene una marcada pendiente ascendente o descendente y se valúan opciones americanas, éste puede no ser un supuesto satisfactorio. Es más adecuado asumir que la tasa de interés para un periodo con una duración Δt en el futuro es igual a la tasa de interés a plazo vigente para ese periodo. Podemos adaptar este supuesto estableciendo

$$a = e^{f(t)\Delta t} \qquad \textbf{(16.12)}$$

[3] En teoría, σ^* es ligeramente mayor que σ, la volatilidad de S. En la práctica, generalmente no se hace ninguna distinción entre ambas.

Ejemplo 16.3 Árbol para una opción sobre una acción que paga dividendos

Considere una opción de venta americana a cinco meses sobre una acción que se espera que pague un solo dividendo de \$2.06 durante la vida de la opción. El precio inicial de la acción es de \$52, el precio de ejercicio es de \$50, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual, la volatilidad es de 40% anual y la fecha ex-dividendo es en 3.5 meses.

Primero, construimos un árbol para representar S^*, el precio de la acción menos el valor presente de los dividendos futuros durante la vida de la opción. Inicialmente, el valor presente del dividendo es

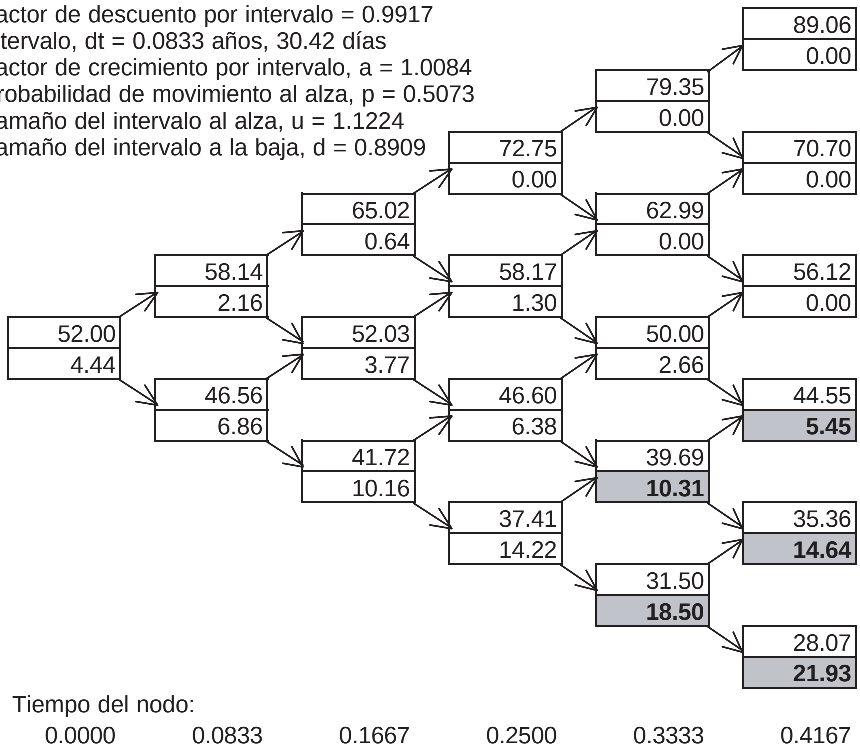
$$2.06e^{-0.1\times 3.5/12} = 2.00$$

Por consiguiente, el valor inicial de S^* es de 50. Si asumimos que la volatilidad de 40% anual se refiere a S^*, la figura 16.3 proporciona un árbol binomial para S^*. (S^* tiene el mismo valor inicial y la misma volatilidad que el precio de la acción en la que se basa la figura 16.3). Si sumamos el valor presente del dividendo en cada nodo obtenemos la cifra inferior, que es un árbol binomial para S. Al igual que en la figura 16.3, las probabilidades en cada nodo son de 0.5073 para un movimiento hacia arriba y de 0.4927 para un movimiento hacia abajo. Si retrocedemos a lo largo del árbol en la forma usual, obtenemos el precio de la opción de \$4.44.

Resultado del software DerivaGem:

En cada nodo:
Valor superior = precio del activo subyacente
Valor inferior = precio de la opción
Los cuadros sombreados indican dónde se ejerce la opción

Precio del ejercicio = 50
Factor de descuento por intervalo = 0.9917
Intervalo, dt = 0.0833 años, 30.42 días
Factor de crecimiento por intervalo, a = 1.0084
Probabilidad de movimiento al alza, p = 0.5073
Tamaño del intervalo al alza, u = 1.1224
Tamaño del intervalo a la baja, d = 0.8909



para los nodos en el tiempo t donde $f(t)$ es la tasa a plazo entre los tiempos t y $t + \Delta t$. Esto no cambia la geometría del árbol porque u y d no dependen de a. Las probabilidades de que las ramas se desprendan de los nodos en el tiempo t son como las de antes:[4]

$$p = \frac{a-d}{u-d} \quad \text{y} \quad 1 - p = \frac{u-a}{u-d}$$

El resto de la forma en que usamos el árbol es igual que antes, excepto que al descontar del tiempo $t + \Delta t$ al tiempo t usamos $f(t)$. Una modificación similar del árbol básico se usa para valuar opciones sobre índices, opciones sobre tipos de cambio y opciones sobre futuros. En estas aplicaciones, el rendimiento de dividendos sobre un índice o un tipo de cambio extranjero puede convertirse en un factor dependiente del tiempo siguiendo un método parecido al que acabamos de describir.

Técnica de la variable de control

Una técnica conocida como *técnica de la variable de control* se usa para evaluar una opción americana.[5] Esta técnica consiste en usar el mismo árbol para calcular tanto el valor de la opción americana, f_A, como el valor de la opción europea correspondiente, f_E. Además, calculamos el precio de Black-Scholes de la opción europea, f_{BS}. Se asume que el error obtenido con el árbol en la valuación de la opción europea es igual al obtenido con el árbol en la valuación de la opción americana. Esto proporciona el cálculo del precio de la opción americana como

$$f_A + f_{BS} - f_E$$

Para ilustrar este método, la figura 16.7 valúa la opción de la figura 16.3 bajo el supuesto de que es europea. El precio obtenido es de \$4.32. Con base en la fórmula Black-Scholes, el verdadero precio europeo de la opción es de \$4.08. El cálculo del precio americano de la opción de la figura 16.3 es de \$4.49. Por lo tanto, el cálculo del precio americano con la variable de control es

$$4.49 + 4.08 - 4.32 = 4.25$$

Una buena estimación del precio americano, calculado utilizando 100 pasos, es 4.278. Por consiguiente, el método de la variable de control si produce una mejoría considerable sobre el cálculo con el árbol básico, que es de 4.49 en este caso. De hecho, usa el árbol para calcular la diferencia entre el precio europeo y el americano en vez del precio americano en sí.

16.5 PROCEDIMIENTO ALTERNATIVO PARA CONSTRUIR ÁRBOLES

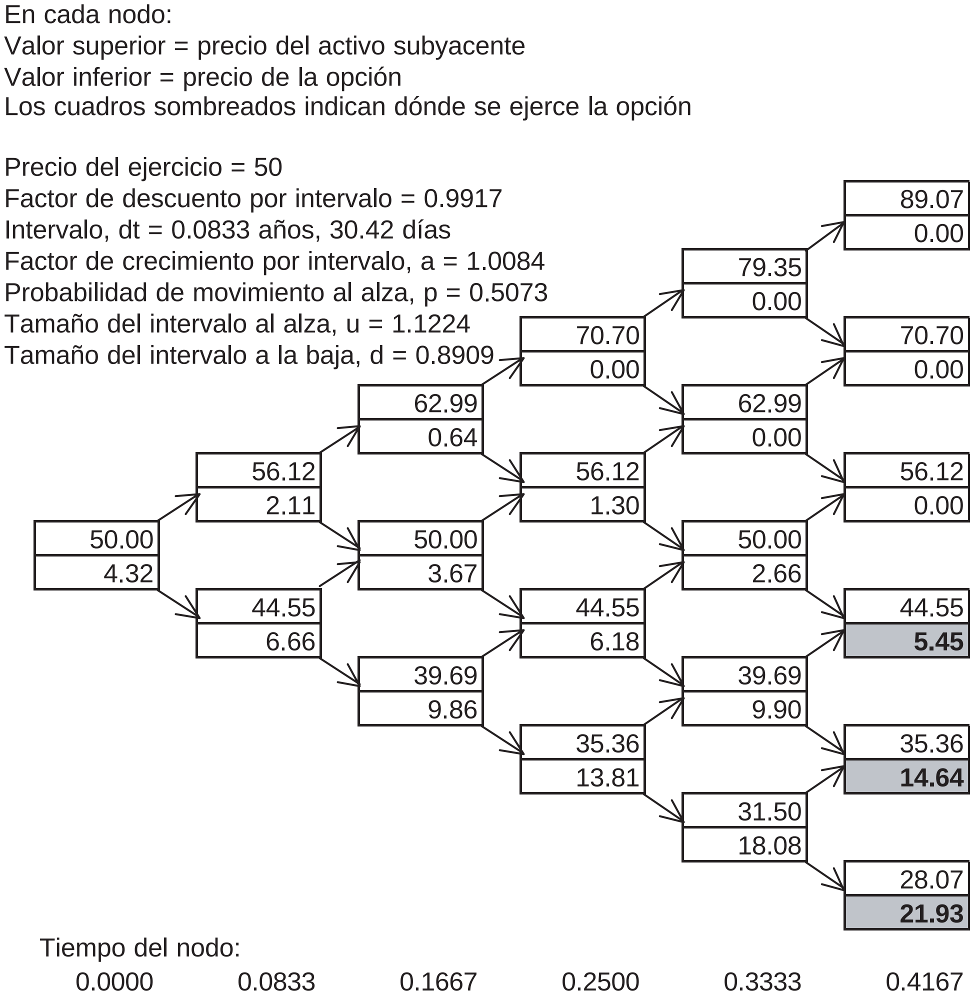
El método de Cox, Ross y Rubinstein no es el único modo de construir un árbol binomial. En lugar de imponer el supuesto $u = 1/d$ en las ecuaciones (16.2) y (16.3), podemos establecer $p = 0.5$. Entonces, una solución a las ecuaciones para pequeños intervalos Dt es

$$u = e^{(r-\sigma^2/2)\Delta t + \sigma\sqrt{\Delta t}}, \quad d = e^{(r-\sigma^2/2)\Delta t - \sigma\sqrt{\Delta t}}$$

[4] Para un número suficientemente grande de intervalos, estas probabilidades siempre son positivas.

[5] Vea J.C. Hull y A. White, "The Use of the Control Variate Technique in Option Pricing", *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 23 (septiembre de 1988), pp. 237-51.

Figura 16.7 Árbol producido con el software DerivaGem para la versión europea de la opción de la figura 16.3. En cada nodo, la cifra superior es el precio de la acción y la cifra inferior es el precio de la opción



Cuando la acción proporciona un rendimiento de dividendos continuo a la tasa q, la variable r se convierte en $r - q$ en estas fórmulas. Esto permite que se construyan árboles con $p = 0.5$ para opciones sobre índices, tipos de cambio y futuros. El ejemplo 16.4 ilustra este procedimiento.

Este procedimiento alternativo para la construcción de árboles tiene la ventaja sobre el método de Cox, Ross y Rubinstein, de que las probabilidades siempre son de 0.5, independientemente del valor de σ o del número de intervalos.[6] Su desventaja es que el cálculo de delta, gamma y theta con base en el árbol no es tan exacto porque los valores del activo subyacente en los tiempos Δt y $2\Delta t$ ya no se centran en S_0.

[6] La rara situación en que los intervalos son tan grandes que $\sigma < |(r - q)\sqrt{\Delta t}|$, el árbol de Cox, Ross y Rubinstein da probabilidades negativas. El procedimiento alternativo descrito aquí no tiene esa desventaja.

Ejemplo 16.4 Construcción de un árbol alternativo

Una opción de compra americana a nueve meses sobre el dólar canadiense tiene un precio de ejercicio de 0.7950. El tipo de cambio actual es de 0.7900, la tasa de interés libre de riesgo estadounidense es de 6% anual, la tasa de interés libre de riesgo canadiense es de 10% anual y la volatilidad del tipo de cambio es de 4% anual. En este caso, $S_0 = 0.79$, $K = 0.795$, $r = 0.06$, $r_f = 0.10$, $\sigma = 0.04$ y $T = 0.75$. Dividimos la vida de la opción en trimestres con el propósito de construir el árbol, de modo que $\Delta t = 0.25$. Establecemos las probabilidades en cada rama en 0.5 y

$$u = e^{(0.06-0.10-0.0016/2)0.25+0.04\sqrt{0.25}} = 1.0098$$

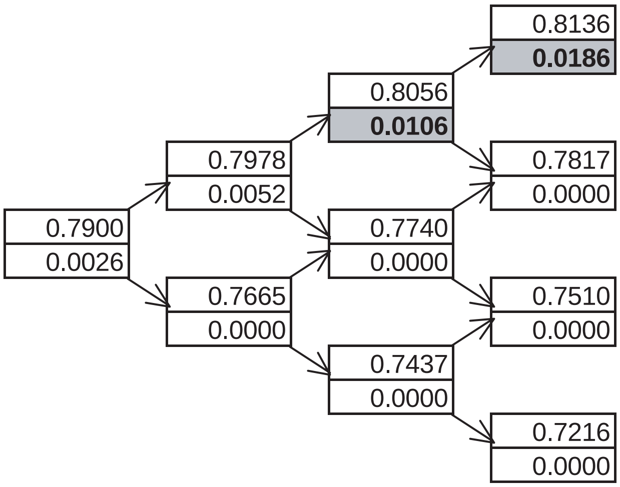
$$d = e^{(0.06-0.10-0.0016/2)0.25-0.04\sqrt{0.25}} = 0.9703$$

El árbol para el tipo de cambio se muestra en la figura siguiente. Este árbol proporciona el valor de la opción como 0.0026.

En cada nodo:
Valor superior = precio del activo subyacente
Valor inferior = precio de la opción
Los cuadros sombreados indican dónde se ejerce la opción

Precio del ejercicio = 0.795
Factor de descuento por intervalo = 0.9851
Intervalo, dt = 0.2500 años, 91.25 días

Probabilidad de movimiento hacia arriba, p = 0.5000



Tiempo del nodo:
0.0000 0.2500 0.5000 0.7500

16.6 SIMULACIÓN MONTE CARLO

Los árboles binomiales pueden usarse junto con la simulación Monte Carlo para valuar derivados. Después de construir el árbol, hacemos un muestreo al azar de las trayectorias. En vez de retroceder del final al principio del árbol, avanzamos a través de él. El procedimiento básico es el siguiente. En el primer nodo seleccionamos un número al azar entre 0 y 1. Si el número está entre 0 y p, tomamos la rama superior; si está entre p y 1, tomamos la rama inferior. Repetimos este procedimiento en el nodo alcanzado y en todos los nodos posteriores alcanzados hasta llegar al final del árbol. Entonces calculamos el beneficio obtenido de la opción para la trayectoria específica seleccionada. Esto completa el primer ensayo. Realizamos muchos más ensayos repitiendo todo el procedimiento. Nuestra estimación del valor de la opción es el promedio aritmético de los beneficios obtenidos de todos los ensayos, descontado a la tasa de interés libre de riesgo. El ejemplo 16.5 ilustra esto.

Ejemplo 16.5 Uso de la simulación Monte Carlo con un árbol

Suponga que el árbol de la figura 16.3 se usa para valuar una opción que proporciona un beneficio de máx(S_{prom} − 50, 0), donde S_{prom} es el precio promedio de la acción durante los cinco meses (incluyendo en el promedio el primero y el último precio de la acción). Esto se conoce como opción asiática. Cuando se usan diez ensayos de simulación, un resultado posible es el que se muestra en la tabla siguiente (U = movimiento hacia arriba; D = movimiento hacia abajo):

Ensayo	*Trayectoria*	*Precio promedio de la acción*	*Beneficio de la opción*
1	UUUUD	64.98	14.98
2	UUUDD	59.82	9.82
3	DDDUU	42.31	0.00
4	UUUUU	68.04	18.04
5	UUDDU	55.22	5.22
6	UDUUD	55.22	5.22
7	DDUDD	42.31	0.00
8	UUDDU	55.22	5.22
9	UUUDU	62.25	12.25
10	DDUUD	45.56	0.00
Promedio			7.08

El beneficio de la opción es el monto en que el precio promedio de la acción excede a \$50. El valor de la opción se calcula como el beneficio promedio descontado a la tasa de interés libre de riesgo. En este caso, el beneficio promedio es de \$7.08 y la tasa de interés libre de riesgo es de 10%, por lo que el valor calculado es de $7.08e^{-0.1\times 5/12} = 6.79$. (Esto ilustra el método. En la práctica, tendríamos que usar más intervalos en el árbol y muchos más ensayos de simulación para obtener una respuesta exacta).

La simulación Monte Carlo, como la acabamos de describir, no puede usarse fácilmente para opciones americanas porque no hay forma de saber si el ejercicio anticipado es lo óptimo cuando se alcanza cierto nodo. Se utiliza para valuar opciones europeas de modo que se proporcione una verificación de las fórmulas de valuación de estas opciones, y además se usa para valuar algunas de las opciones exóticas que analizaremos en el capítulo 20 (por ejemplo, opciones asiáticas y opciones retroactivas).

RESUMEN

Este capítulo ha descrito cómo se valúan las opciones con el uso de árboles binomiales. Este método consiste en dividir la vida de la opción en muchos pequeños intervalos con una duración Δt y asumir que el precio de un activo al inicio de un intervalo da lugar únicamente a uno de dos precios alternativos del activo al final del intervalo. Uno de estos precios alternativos del activo es un movimiento hacia arriba; el otro es un movimiento hacia abajo.

El tamaño de los movimientos hacia arriba y hacia abajo, así como sus probabilidades relacionadas, se eligen de tal manera que el cambio en el precio del activo tenga la media y la desviación estándar correctas para un mundo neutral al riesgo. Los precios de la opción se calculan comenzando al final del árbol y retrocediendo a lo largo de éste. Al final del árbol, el precio de una opción es su valor intrínseco. En nodos anteriores del árbol, el valor de una opción, si es americana, debe calcularse como el monto mayor entre

1. El valor que tiene si se ejerce inmediatamente
2. El valor que tiene si se mantiene durante un periodo adicional con una duración Δt

Si se ejerce en un nodo, el valor de la opción es su valor intrínseco. Si se mantiene durante un periodo adicional con una duración Δt, el valor de la opción es su valor esperado al final del periodo Δt, descontado a la tasa de interés libre de riesgo.

Delta, gamma y theta se calculan directamente a partir de los valores de la opción en los diversos nodos del árbol. Vega se calcula realizando un pequeño cambio a la volatilidad y calculando de nuevo el valor de la opción utilizando un árbol similar. Rho se estima del mismo modo, haciendo un pequeño cambio a la tasa de interés y calculando de nuevo el árbol.

El método de árboles binomiales puede manejar opciones sobre acciones que pagan rendimientos de dividendos continuos. Como los índices bursátiles, las divisas y la mayoría de los contratos de futuros se consideran semejantes a las acciones que pagan rendimientos de dividendos continuos, los árboles binomiales también manejan opciones sobre estos activos.

Cuando el método de árboles binomiales se usa para valuar opciones sobre una acción que paga un dividendo en dólares conocido, es conveniente utilizar el árbol para representar el precio de la acción, menos el valor presente de todos los dividendos futuros obtenidos durante la vida de la opción. Esto evita que el número de nodos del árbol se vuelva difícil de manejar y concuerda con la manera de valuar las opciones europeas sobre acciones que pagan dividendos.

La eficiencia de cálculo del modelo binomial puede mejorarse utilizando la técnica de la variable de control. Esta técnica consiste en valuar tanto la opción americana que nos interesa como la opción europea correspondiente usando el mismo árbol. El error en el precio de la opción europea se usa como una estimación del error en el precio de la opción americana.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Boyle, P.P. "Options: A Monte Carlo Approach", *Journal of Financial Economics*, 4 (1977), pp. 323-28.

Boyle, P.P., M. Broadie y P. Glasserman. "Monte Carlo Methods for Security Pricing", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 21 (1997), pp. 1267-1322.

Cox, J.C., S.A. Ross y M. Rubinstein. "Option Pricing: A Simplified Approach", *Journal of Financial Economics*, 7 (octubre de 1979), pp. 229-64.

Figlewski, S. y B. Gao. "The Adaptive Mesh Model: A New Approach to Efficient Option Pricing", *Journal of Financial Economics*, 53 (1999), pp. 313-51.

Hull, J.C. y A. White. "The Use of the Control Variate Technique in Option Pricing", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 23 (septiembre de 1988), pp. 237-51.

Longstaff, F.A. y E.S. Schwartz. "Valuing American Options by Simulation: A Least Squares Approach", *Review of Financial Studies*, 14, 1 (2001), pp. 113-47.

Rendleman, R. y B. Bartter. "Two State Option Pricing", *Journal of Finance*, 34 (1979), pp. 1092-1110.

Examen (respuestas al final del libro)

16.1. ¿Cuál de las siguientes puede calcularse para una opción americana por medio de la construcción de un solo árbol binomial: delta, gamma, vega, theta, rho?

16.2. La probabilidad de un movimiento hacia arriba en un árbol binomial es $(a - d)/(u - d)$. Explique cómo se calcula el factor de crecimiento a para: a) una acción que no paga dividendos, b) un índice bursátil, c) una divisa y d) un contrato de futuros.

16.3. Calcule el precio de una opción de venta americana a tres meses sobre una acción no paga dividendos cuando el precio de la acción es de \$60, el precio de ejercicio es de \$60, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual y la volatilidad es de 45% anual. Use un árbol binomial con un intervalo de un mes.

16.4. Explique cómo se implementa la técnica de la variable de control.

16.5. Calcule el precio de una opción de compra americana a nueve meses sobre futuros de maíz cuando el precio de futuros vigente es de \$1.98, el precio de ejercicio es de \$2, la tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual y la volatilidad es de 30% anual. Use un árbol binomial con un intervalo de tres meses.

16.6. "En el caso de una acción que paga dividendos, el árbol para el precio de la acción no se recombina, pero el árbol para el precio de la acción menos el valor presente de los dividendos futuros sí se recombina". Explique esta afirmación.

16.7. Explique el problema usando la simulación Monte Carlo para valuar una opción americana.

Preguntas y problemas

16.8. Considere una opción que proporciona un beneficio igual al monto en el que el precio final de la acción excede al precio promedio de la acción logrado durante la vida de la opción. ¿Es posible valuar esta opción con un árbol binomial usando la inducción hacia atrás?

16.9. Una opción de venta americana a nueve meses sobre una acción que no paga dividendos tiene un precio de ejercicio de \$49. El precio de la acción es de \$50, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual y la volatilidad es de 30% anual. Use un árbol binomial de tres pasos para calcular el precio de la opción.

16.10. Use un árbol de tres intervalos para valuar una opción de compra americana a nueve meses sobre futuros de trigo. El precio de futuros vigente es de \$4, el precio de ejercicio es de

$4.20, la tasa de interés libre de riesgo es de 6% y la volatilidad es de 35% anual. Calcule la delta de la opción con su árbol.

16.11. Una opción de compra americana a tres meses sobre una acción tiene un precio de ejercicio de $20. El precio de la acción es de $20, la tasa de interés libre de riesgo es de 3% anual y la volatilidad es de 25% anual. Se espera un dividendo de $2 en 1.5 meses. Use un árbol binomial de tres pasos para calcular el precio de la opción.

16.12. Una opción de venta americana a un año sobre una acción que no paga dividendos tiene un precio de ejercicio de $18. El precio vigente de la acción es de $20, la tasa de interés libre de riesgo es de 15% anual y la volatilidad de la acción es de 40% anual. Use el software DerivaGem con cuatro intervalos de tres meses para calcular el valor de la opción. Despliegue el árbol y compruebe que los precios de la opción en los nodos último y penúltimo sean correctos. Use el software DerivaGem para valuar la versión europea de la opción. Utilice la técnica de la variable de control para mejorar el cálculo del precio de la opción americana.

16.13. Una opción de venta americana a dos meses sobre un índice bursátil tiene un precio de ejercicio de $480. El nivel actual del índice es de $484, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual, el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 3% anual y la volatilidad del índice es de 25% anual. Divida la vida de la opción en cuatro periodos quincenales y use el método de árboles binomiales para calcular el valor de la opción.

16.14. ¿Cómo usaría la técnica de la variable de control para mejorar el cálculo de la delta de una opción americana cuando se utiliza el modelo de árboles binomiales?

16.15. ¿Cómo usaría el método de árboles binomiales para valuar una opción americana sobre un índice bursátil cuando el rendimiento de dividendos sobre el índice es un factor que depende del tiempo?

Preguntas de tarea

16.16. Una opción de venta americana para vender un franco suizo por dólares tiene un precio de ejercicio de $0.80 y un tiempo al vencimiento de un año. La volatilidad del franco suizo es de 10%, la tasa de interés en dólares es de 6%, la tasa de interés en francos suizos es de 3% y el tipo de cambio vigente es de 0.81. Use un árbol con tres intervalos para valuar la opción. Calcule la delta de la opción con su árbol.

16.17. Una opción de compra americana a un año sobre futuros de plata tiene un precio de ejercicio de $9.00. El precio de futuros vigente es de $8.50, la tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual y la volatilidad del precio de futuros es de 25% anual. Use el software DerivaGem con cuatro intervalos de tres meses para calcular el valor de la opción. Despliegue el árbol y compruebe que los precios de la opción en los nodos último y penúltimo sean correctos. Use el software DerivaGem para valuar la versión europea de la opción. Utilice la técnica de la variable de control para mejorar el cálculo del precio de la opción americana.

16.18. Se espera que una opción de compra americana a seis meses sobre una acción pague dividendos de $1 por acción al final del segundo y quinto meses. El precio vigente de la acción es de $30, el precio de ejercicio es de $34, la tasa de interés libre de riesgo es de 10% anual y la volatilidad de la parte del precio de la acción que no se usará para pagar los dividendos es de 30% anual. Use el software DerivaGem, con la vida de la opción dividida en 100 intervalos, para calcular el valor de la opción. Compare su respuesta con la que proporciona la aproximación de Black (vea la sección 12.10).

16.19. Las funciones del DerivaGem Application Builder le permiten investigar cómo convergen hacia el valor correcto los precios de las opciones calculados con un árbol binomial a medida que aumenta el número de intervalos (vea la figura 16.4 y la Aplicación de muestra A del software DerivaGem). Considere una opción de venta sobre un índice bursátil en la que el nivel del índice es de 900, el precio de ejercicio es de 900, la tasa de interés libre de riesgo es de 5%, el rendimiento de dividendos es de 2% y el tiempo al vencimiento es de 2 años:

a. Produzca resultados similares a la Aplicación de muestra A sobre convergencia para una situación en la que la opción es europea y la volatilidad del índice es de 20%.
b. Produzca resultados similares a la Aplicación de muestra A sobre convergencia para una situación en la que la opción es americana y la volatilidad del índice es de 20%.
c. Elabore una gráfica que muestre la valuación de la opción americana cuando la volatilidad es de 20% en función del número de intervalos cuando se usa la técnica de la variable de control.
d. Suponga que el precio de mercado de la opción americana es de 85.0. Elabore una gráfica que muestre la volatilidad implícita calculada en función del número de intervalos.

17 CAPÍTULO

Sonrisas de volatilidad

¿Qué tanto concuerdan los precios del mercado de las opciones con los precios pronosticados por el modelo Black-Scholes? ¿Los negociantes siguen este modelo al determinar el precio de una opción? ¿Las distribuciones de probabilidades de los precios de los activos, son en realidad distribuciones logarítmicas normales? ¿Qué investigación se ha llevado a cabo para probar la validez de las fórmulas de Black-Scholes? En este capítulo damos respuesta a estas preguntas. Explicamos que los negociantes sí usan el modelo Black-Scholes, aunque no del mismo modo en que sus autores lo propusieron originalmente. Esto se debe a que permiten que la volatilidad que se usa para valuar una opción dependa de su precio de ejercicio y tiempo al vencimiento.

La gráfica de la volatilidad implícita de una opción en función de su precio de ejercicio se conoce como *sonrisa de volatilidad*. En este capítulo describimos las sonrisas de volatilidad que los negociantes usan en los mercados accionarios y de divisas. Explicamos la relación entre una sonrisa de volatilidad y la distribución de probabilidades que se asume para el precio futuro del activo. Además, analizamos cómo los negociantes de opciones varían la volatilidad con el vencimiento de la opción y cómo usan las superficies de volatilidad como herramientas de valuación.

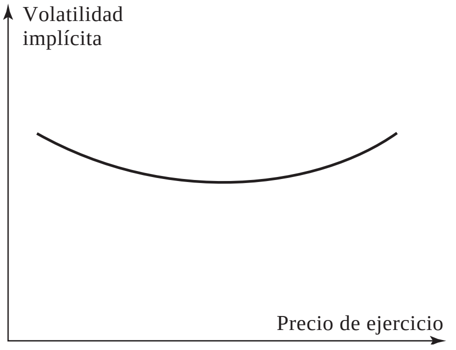
El Apéndice de este capítulo utiliza la paridad entre opciones de venta y de compra (paridad *put-call*) para mostrar que la volatilidad implícita de una opción de compra europea debe ser igual que la de una opción de venta europea cuando ambas tienen el mismo precio de ejercicio y tiempo de vencimiento. Esto es conveniente y significa que la sonrisa de volatilidad de las opciones de compra europeas debe ser igual que la de las opciones de venta europeas. La volatilidad implícita de una opción americana es, en la mayoría de los casos, muy similar a la de una opción europea con el mismo precio de ejercicio y tiempo al vencimiento. En consecuencia, podemos decir que las sonrisas de volatilidad que presentaremos se aplican, por lo menos de manera aproximada, a todas las opciones europeas y americanas con un tiempo al vencimiento específico.

17.1 OPCIONES SOBRE DIVISAS

La sonrisa de volatilidad de las opciones sobre divisas tiene la forma general que se muestra en la figura 17.1. La volatilidad implícita es relativamente baja para las opciones *at the money*, pero aumenta en forma gradual a medida que una opción se mueve *into the money* u *out of the money*.

La sonrisa de volatilidad de la figura 17.1 corresponde a la distribución de probabilidades, representada con la línea continua de la figura 17.2 y que denominaremos *distribución implícita*. Una

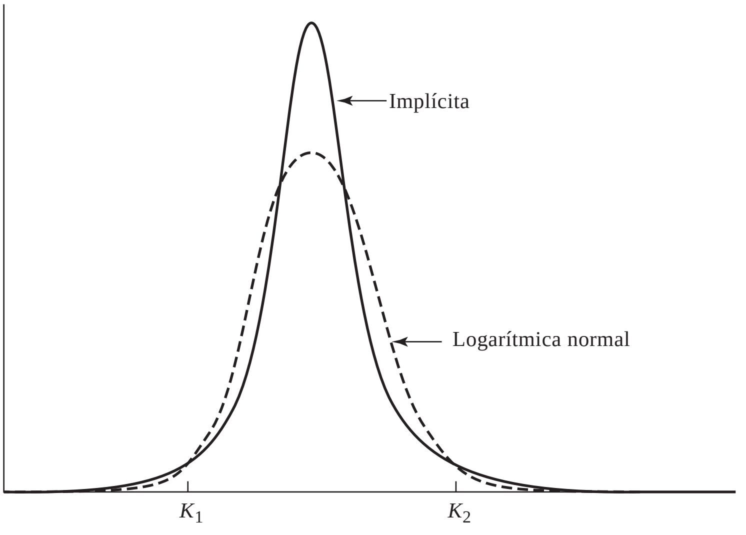
Figura 17.1 Sonrisa de volatilidad de opciones sobre divisas



distribución logarítmica normal, con la misma media y desviación estándar que la distribución implícita, se representa con la línea punteada de la figura 17.2. Podemos ver que la distribución implícita tiene colas más pesadas que la distribución logarítmica normal.[1]

Para ver que las figuras 17.1 y 17.2 concuerden entre sí, considere primero una opción de compra *deep out of the money* con un precio de ejercicio alto de K_2. Esta opción proporciona un beneficio únicamente si el tipo de cambio está por arriba de K_2. La figura 17.2 muestra que la probabilidad de esto es mayor para la distribución de probabilidades implícita que para la distribución logarítmica normal. Por lo tanto, esperamos que la distribución implícita proporcione un

Figura 17.2 Distribución implícita y distribución logarítmica normal para opciones sobre divisas



[1] Esto se conoce como kurtosis. Observe que, además de tener una cola más pesada, la distribución implícita es más "puntiaguda". Las variaciones tanto pequeñas como grandes en el tipo de cambio son más probables que con la distribución logarítmica normal. Las variaciones intermedias son menos probables.

precio relativamente alto para la opción, pues así da lugar a una volatilidad implícita relativamente alta, y esto es lo mismo que observamos con la opción de la figura 17.1. Por consiguiente, las dos figuras concuerdan entre sí en cuanto a precios de ejercicio altos. A continuación, considere una opción de venta *deep out of the money* con un precio de ejercicio bajo de K_1. Esta opción proporciona un beneficio sólo si el tipo de cambio está por debajo de K_1. La figura 17.2 muestra que la probabilidad de esto es también mayor para la distribución de probabilidades implícita que para la distribución logarítmica normal. Por lo tanto, esperamos que la distribución implícita también proporcione un precio y una volatilidad implícita relativamente altos para esta opción. De nuevo, esto es lo que observamos en la figura 17.1.

Resultados empíricos

Acabamos de mostrar que la sonrisa de volatilidad que usan los negociantes para las opciones sobre divisas implica que consideran que la distribución logarítmica normal subestima la probabilidad de variaciones extremas en los tipos de cambio. Para probar si están en lo correcto, la tabla 17.1 examina las variaciones diarias de 12 tipos de cambio diferentes durante un periodo de 10 años.[2] El primer paso para elaborar la tabla es calcular la desviación estándar de la variación porcentual diaria de cada tipo de cambio. El siguiente paso consiste en observar la frecuencia con que la variación porcentual real excede a una desviación estándar, dos desviaciones estándar, etc. El último paso es calcular la frecuencia con que esto habría ocurrido si las variaciones porcentuales hubieran tenido una distribución normal. (El modelo logarítmico normal implica que las variaciones porcentuales tienen una distribución normal casi exacta durante un periodo de un día).

Las variaciones diarias exceden a tres desviaciones estándar en 1.34% de los días. El modelo logarítmico normal le dice que esto debe ocurrir únicamente en 0.27% de los días. Las variaciones diarias exceden a cuatro, cinco y seis desviaciones estándar en 0.29%, 0.08% y 0.03% de los días, respectivamente. El modelo logarítmico normal predice que debiéramos observar que esto rara vez ocurra. Por consiguiente, la tabla proporciona evidencia que apoya la existencia de colas pesadas (figura 17.2) y la sonrisa de volatilidad que usan los negociantes (figura 17.1). La Panorámica de negocios 17.1 muestra cómo podría haber ganado más dinero que el resto del mercado si hubiera realizado el análisis de la tabla 17.1.

Tabla 17.1 Porcentaje de días en que las variaciones diarias del tipo de cambio son mayores a una, dos, ..., seis desviaciones estándar (D.E. = desviación estándar de la variación diaria)

	Mundo real	*Modelo logarítmico normal*
> 1 D.E.	25.04	31.73
> 2 D.E.	5.27	4.55
> 3 D.E.	1.34	0.27
> 4 D.E.	0.29	0.01
> 5 D.E.	0.08	0.00
> 6 D.E.	0.03	0.00

[2] Esta tabla se tomó de J.C. Hull y A. White, “Value at Risk When Daily Changes in Market Variables Are Not Normally Distributed”, *Journal of Derivatives*, 5, no. 3 (primavera de 1998), pp. 9-19.

Panorámica de negocios 17.1 Cómo ganar dinero con opciones sobre divisas

Suponga que casi todos los participantes del mercado piensan que los tipos de cambio tienen una distribución logarítmica normal. Se sentirían a gusto usando la misma volatilidad para valuar todas las opciones sobre un tipo de cambio específico. Usted acaba de realizar el análisis de la tabla 17.1 y sabe que el supuesto logarítmico normal no es bueno para los tipos de cambio. ¿Qué debe hacer?

La respuesta es que usted debe comprar opciones de compra y de venta *deep out of the money* sobre diversas monedas, y esperar. Estas opciones serán relativamente baratas y más de ellas cerrarán *in the money* de lo que predice el modelo logarítmico normal. El valor presente de sus beneficios será en promedio mucho mayor que el costo de las opciones.

A mediados de la década de 1980 pocos negociantes sabían de las colas pesadas de las distribuciones de probabilidades de los tipos de cambio. El resto consideraba que el supuesto logarítmico normal de Black-Scholes era razonable. Los pocos negociantes que estaban bien informados siguieron la estrategia que hemos descrito y ganaron mucho dinero. A finales de la misma década todos se dieron cuenta de que las opciones sobre divisas deben valuarse con una sonrisa de volatilidad, por lo que la oportunidad de negociación desapareció.

Razones de la sonrisa en las opciones sobre divisas

¿Por qué los tipos de cambio no tienen una distribución logarítmica normal? Dos de las condiciones para que el precio de un activo tenga una distribución logarítmica normal son que:

1. La volatilidad del activo sea constante.
2. El precio del activo cambie suavemente, sin variaciones súbitas.

En la práctica, los tipos de cambio no cumplen con ninguna de estas condiciones. La volatilidad de un tipo de cambio está lejos de ser constante y los tipos de cambio presentan frecuentemente variaciones súbitas.[3] Resulta que el efecto tanto de la volatilidad inconstante como de las variaciones súbitas es que los resultados extremos son más probables.

El impacto de las variaciones súbitas y de la volatilidad inconstante depende del vencimiento de la opción. Al aumentar el vencimiento de la opción, el impacto porcentual de una volatilidad inconstante en los precios se vuelve más pronunciado, pero el impacto porcentual en la volatilidad implícita se hace menos pronunciado. El impacto porcentual de las variaciones súbitas tanto en los precios como en la volatilidad implícita se vuelve menos pronunciado a medida que aumenta el vencimiento de la opción.[4] El resultado de todo esto es que la sonrisa de volatilidad se hace menos pronunciada al aumentar el vencimiento de la opción.

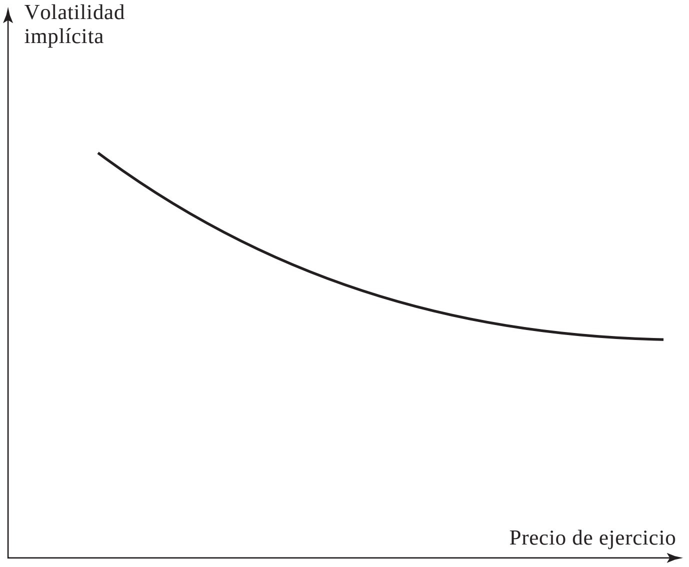
17.2 OPCIONES SOBRE ACCIONES

Rubinstein (1985), Rubinstein (1994) y Jackwerth y Rubinstein (1996) han estudiado la sonrisa de volatilidad de opciones sobre acciones. Antes de 1987 no había una sonrisa de volatilidad marcada. Desde 1987, la sonrisa de volatilidad que usan los negociantes para valuar opciones sobre acciones

[3] Con frecuencia, las variaciones súbitas son una respuesta a las acciones de los bancos centrales.

[4] Cuando analizamos opciones de plazo suficientemente largo, las variaciones súbitas tienden a "promediarse", de tal manera que la distribución del tipo de cambio cuando hay variaciones súbitas es casi indistinguible de la que se obtiene cuando el tipo de cambio varía suavemente.

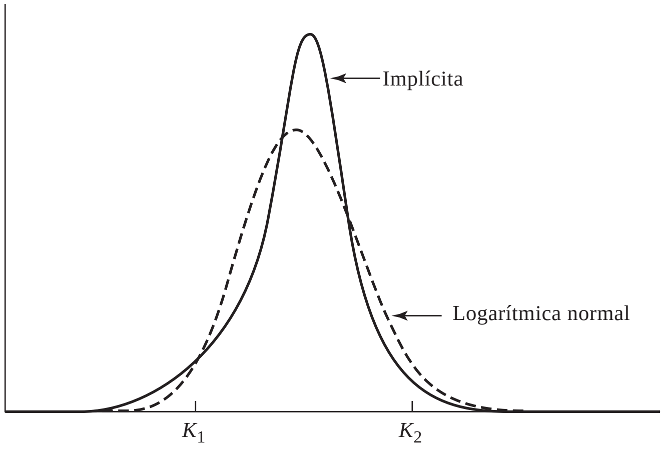
Figura 17.3 Sonrisa de volatilidad de acciones



(tanto acciones individuales como índices bursátiles) ha tenido la forma general que se muestra en la figura 17.3. Ésta se denomina en ocasiones *asimetría de volatilidad*. La volatilidad disminuye conforme aumenta el precio de ejercicio. La volatilidad usada para valuar una opción con un precio de ejercicio bajo (es decir, una opción de venta *deep out of the money* o una opción de compra *deep in the money*) es significativamente mayor que la usada para valuar una opción con un precio de ejercicio alto (es decir, una opción de venta *deep in the money* o una opción de compra *deep out of the money*).

La sonrisa de volatilidad de opciones sobre acciones corresponde a la distribución implícita representada con la línea continua en la figura 17.4. Una distribución logarítmica normal con la mis-

Figura 17.4 Distribución implícita y distribución logarítmica normal de opciones sobre acciones



Panorámica de negocios 17.2 Fobia al desplome bursátil

Es interesante observar que el patrón para las acciones presentado en la figura 17.3 ha existido sólo desde el desplome del mercado de valores en octubre de 1987. Antes de esa fecha, las volatilidades implícitas dependían mucho menos del precio de ejercicio. Esto hizo que Mark Rubinstein sugiriera que una razón de la sonrisa de volatilidad de las acciones podía ser la "fobia al desplome bursátil". Los negociantes están preocupados por la posibilidad de otro desplome similar al de octubre de 1987, por lo que valúan las opciones ajustándose a dicho patrón.

Hay cierto apoyo empírico para esta explicación. Las disminuciones del índice S&P 500 tienden a estar acompañadas por un aumento de la asimetría. Cuando el índice S&P 500 aumenta, la asimetría se vuelve menos pronunciada.

ma media y desviación estándar que la distribución implícita se representa con la línea punteada. Vemos que la distribución implícita tiene una cola izquierda más pesada y una cola derecha menos pesada que la distribución logarítmica normal.

Para ver que las figuras 17.3 y 17.4 sean congruentes entre sí, procedemos igual que con las figuras 17.1 y 17.2, y consideramos opciones que estén *deep out of the money*. Con base en la figura 17.4, una opción de compra *deep out of the money* con un precio de ejercicio de K_2 tiene un precio más bajo cuando se usa la distribución implícita que cuando se utiliza la distribución logarítmica normal. Esto se debe a que la opción proporciona un beneficio únicamente si el precio de la acción excede a K_2 y la probabilidad de esto es menor para la distribución de probabilidades implícita que para la distribución logarítmica normal. Por lo tanto, esperamos que la distribución implícita proporcione un precio relativamente bajo para la opción. Un precio relativamente bajo da lugar a una volatilidad implícita relativamente baja, y esto es exactamente lo que observamos con la opción de la figura 17.3. A continuación, considere una opción de venta *deep out of the money* con un precio de ejercicio de K_1. Esta opción proporciona un beneficio únicamente si el precio de la acción está por debajo de K_1. La figura 17.4 muestra que la probabilidad de esto es mayor para la distribución de probabilidades implícita que para la distribución logarítmica normal. Por consiguiente, esperamos que la distribución implícita proporcione un precio relativamente alto y una volatilidad implícita relativamente alta para esta opción. De nuevo, esto es lo mismo que observamos en la figura 17.3.

Razón de la sonrisa en las opciones sobre acciones

Una posible explicación de la sonrisa en las opciones sobre acciones se relaciona con el apalancamiento. A medida que el valor de la acción de una empresa disminuye, su apalancamiento aumenta. Esto significa que la acción se vuelve más riesgosa y su volatilidad se incrementa. Conforme aumenta el valor de la acción de una empresa, su apalancamiento disminuye. Entonces, la acción se vuelve menos riesgosa y su volatilidad disminuye. Este argumento muestra que podemos esperar que la volatilidad de la acción esté en función decreciente de su precio, lo cual concuerda con las figuras 17.3 y 17.4. Otra explicación es la "fobia al desplome bursátil" (vea Panorámica de negocios 17.2).

17.3 ESTRUCTURA TEMPORAL DE LA VOLATILIDAD Y SUPERFICIES DE VOLATILIDAD

Además de una sonrisa de volatilidad, los negociantes usan una estructura temporal de la volatilidad al valuar opciones. Esto significa que la volatilidad que se usa para valuar una opción *at the*

Tabla 17.2 Superficie de volatilidad

Vencimiento de la opción	*Precio de ejercicio*				
	0.90	*0.95*	*1.00*	*1.05*	*1.10*
1 mes	14.2	13.0	12.0	13.1	14.5
3 meses	14.0	13.0	12.0	13.1	14.2
6 meses	14.1	13.3	12.5	13.4	14.3
1 año	14.7	14.0	13.5	14.0	14.8
2 años	15.0	14.4	14.0	14.5	15.1
5 años	14.8	14.6	14.4	14.7	15.0

money depende del vencimiento de la opción. La volatilidad tiende a ser una función creciente del vencimiento cuando las volatilidades a corto plazo son históricamente bajas. Esto se debe a que hay una expectativa de que las volatilidades aumenten. Del mismo modo, la volatilidad tiende a ser una función decreciente del vencimiento cuando las volatilidades a corto plazo son históricamente altas. Esto se debe a que hay una expectativa de que las volatilidades disminuyan.

Las superficies de volatilidad combinan las sonrisas de volatilidad con la estructura temporal de la volatilidad con el fin de tabular las volatilidades adecuadas para valuar una opción con cualquier precio de ejercicio y vencimiento. La tabla 17.2 muestra un ejemplo de una superficie de volatilidad que podría usarse para opciones sobre divisas. En esta tabla, la sonrisa de volatilidad se vuelve menos pronunciada a medida que aumenta el vencimiento de la opción. Esto es lo que se observa con relación a las opciones sobre la mayoría de los activos.

Un aspecto de una superficie de volatilidad es el precio de ejercicio; el otro es el tiempo al vencimiento. El cuerpo principal de la superficie de volatilidad muestra volatilidades implícitas calculadas con el modelo Black-Scholes. En cualquier momento, algunas de las entradas de datos de la superficie de volatilidad corresponden a opciones que tienen datos de mercado confiables. Las volatilidades implícitas de estas opciones se calculan directamente a partir de sus precios de mercado y se registran en la tabla. El resto de la superficie de volatilidad se determina con el uso de la interpolación lineal.

Cuando se requiere valuar una nueva opción, los ingenieros de finanzas buscan la volatilidad adecuada en la tabla. Por ejemplo, al valuar una opción a nueve meses con un precio de ejercicio de 1.05, un ingeniero de finanzas interpolaría entre 13.4 y 14.0 para obtener una volatilidad de 13.7%. Ésta es la volatilidad que se usaría en la fórmula de Black-Scholes o en un árbol binomial. Al valuar una opción a 1.5 años con un precio de ejercicio de 0.925, se usaría una interpolación bidimensional para obtener una volatilidad implícita de 14.525%.

Definamos T como el tiempo al vencimiento y F_0 como el precio a plazo del activo. Algunos ingenieros de finanzas deciden definir la sonrisa de volatilidad como la relación entre la volatilidad implícita y

$$\frac{1}{\sqrt{T}}\ln\frac{K}{F_0}$$

más que como la relación entre la volatilidad implícita y K. En este caso, la sonrisa es usualmente mucho menos dependiente del tiempo al vencimiento.[5]

[5] Para un análisis de este método, vea S. Natenberg, *Option Pricing and Volatility: Advanced Trading Strategies and Techniques*, 2ª. ed. McGraw-Hill, 1994; R. Tompkins, *Options Analysis: A State of the Art Guide to Options Pricing*, Burr Ridge, IL: Irwin, 1994.

El rol del modelo

¿Qué tan importante es el modelo de valuación si los negociantes están dispuestos a usar una volatilidad diferente para cada transacción? Es posible argumentar que el modelo Black-Scholes no es más que una herramienta de interpolación compleja que los negociantes utilizan para garantizar que una opción se valúe consistentemente con los precios de mercado de otras opciones que se negocian de manera activa. Si los negociantes dejaran de usar el modelo Black-Scholes y lo cambiaran por otro modelo convincente, la superficie de volatilidad y la forma de la sonrisa cambiarían. Pero, quizá, los precios en dólares cotizados en el mercado no cambiarían de modo perceptible.

17.4 ANTICIPACIÓN DE UN INCREMENTO SÚBITO IMPORTANTE

Ahora consideremos un ejemplo de cómo podría surgir una sonrisa de volatilidad inusual en los mercados de acciones. Suponga que el precio de una acción es actualmente de \$50 y que se espera que una noticia importante que se anunciará en algunos días aumente o disminuya el precio de la acción en \$8. (Este anuncio podría relacionarse con el resultado de un intento de adquisición o con el veredicto de un importante proceso judicial).

La distribución de probabilidades del precio de la acción, digamos, en un mes, podría consistir en una combinación de dos distribuciones logarítmicas normales, correspondiendo la primera a noticias favorables y la segunda a noticias desfavorables. La figura 17.5 ilustra esta situación. La línea continua muestra la distribución logarítmica normal combinada para el precio de la acción en un mes; la línea punteada representa una distribución logarítmica normal con la misma media y desviación estándar que la distribución anterior.

La verdadera distribución de probabilidades es bimodal (ciertamente no logarítmica normal). Una forma sencilla de investigar el efecto general de una distribución bimodal del precio de la acción es considerar el caso extremo en el que la distribución sea binomial. Esto es lo que haremos ahora. Suponga que el precio de la acción es actualmente de \$50 y que se sabe que dentro de un mes será de \$42 o de \$58. Además, suponga que la tasa de interés libre de riesgo es de 12% anual.

Figura 17.5 Efecto de un incremento súbito importante. La línea continua es la verdadera distribución; la línea punteada es la distribución logarítmica normal

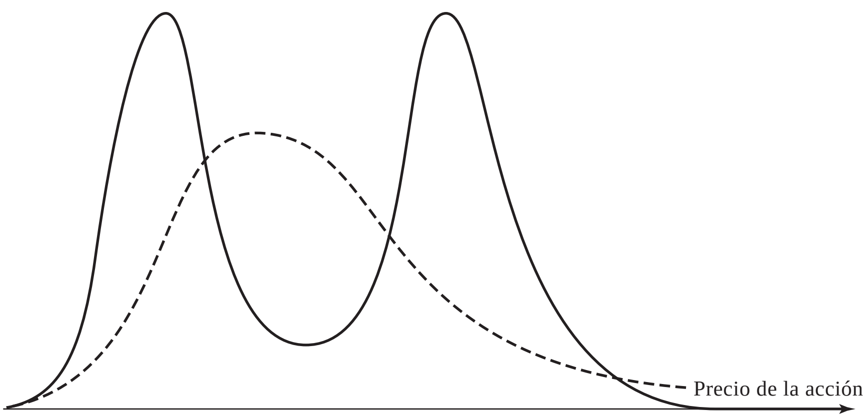
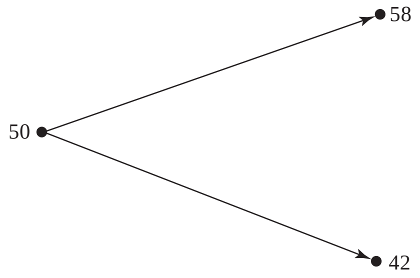


Figura 17.6 Variación en el precio de la acción en un mes



La figura 17.6 ilustra esta situación. Las opciones se valúan usando el modelo binomial presentado en los capítulos 11 y 16. En este caso, u = 1.16, d = 0.84, a = 1.0101 y p = 0.5314. La tabla 17.3 presenta los resultados de la valuación de una diversa gama de opciones. La primera columna muestra precios de ejercicio alternativos; la segunda corresponde a los precios de opciones de compra europeas a un mes; la tercera presenta los precios de opciones de venta europeas a un mes, y la cuarta muestra las volatilidades implícitas. (El Apéndice de este capítulo señala que la volatilidad implícita de una opción de venta europea es igual a la de una opción de compra europea cuando tienen el mismo precio de ejercicio y vencimiento). La figura 17.7 ilustra la sonrisa de volatilidad de la tabla 17.3. En realidad es un "ceño fruncido" (lo opuesto a la que se observa para las divisas) con volatilidades decrecientes conforme nos movemos *out of the money* o *into the money*. La volatilidad implícita de una opción con un precio de ejercicio de $50 sobrevaluará una opción con un precio de ejercicio de $44 o $56.

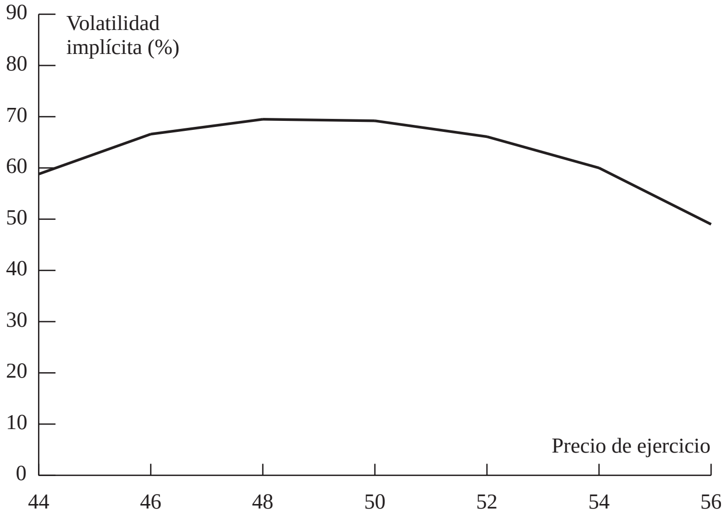
RESUMEN

El modelo Black-Scholes y sus ampliaciones asumen que la distribución de probabilidades del activo subyacente en una fecha futura específica es logarítmica normal. Este supuesto no es el que ha-

Tabla 17.3 Volatilidades implícitas en una situación en que la distribución verdadera es binomial

Precio de ejercicio ($)	*Precio de la opción de compra* ($)	*Precio de la opción de venta* ($)	*Volatilidad implícita* (%)
42	8.42	0.00	0.0
44	7.37	0.93	58.8
46	6.31	1.86	66.6
48	5.26	2.78	69.5
50	4.21	3.71	69.2
52	3.16	4.64	66.1
54	2.10	5.57	60.0
56	1.05	6.50	49.0
58	0.00	7.42	0.0

Figura 17.7 Sonrisa de volatilidad de la situación presentada en la tabla 17.3



cen los negociantes, ya que ellos asumen que la distribución de probabilidades del precio de una acción tiene una cola izquierda más pesada y una cola derecha menos pesada que la distribución logarítmica normal. Además, suponen que la distribución de probabilidades de un tipo de cambio tiene una cola derecha y una cola izquierda más pesadas que la distribución logarítmica normal.

Los negociantes usan las sonrisas de volatilidad para dar ocasión a distribuciones que no sean logarítmicas normales. La sonrisa de volatilidad define la relación entre la volatilidad implícita de una opción y su precio de ejercicio. En el caso de las opciones sobre acciones, la sonrisa de volatilidad tiende a ser descendente. Esto significa que las opciones de venta *out of the money* y las opciones de compra *in the money* tienen volatilidades implícitas altas, en tanto que las opciones de compra *out of the money* y las opciones de venta *in the money* tienen volatilidades implícitas bajas. En el caso de las opciones sobre divisas, la sonrisa de volatilidad tiene forma de U. Las opciones tanto *out of the money* como *in the money* tienen volatilidades implícitas más altas que las opciones *at the money*.

Con frecuencia, los negociantes usan una estructura temporal de la volatilidad. En este caso, la volatilidad implícita de una opción depende de su vida. Cuando se combinan las sonrisas y las estructuras temporales de la volatilidad, producen una superficie de volatilidad. Ésta define la volatilidad implícita en función tanto del precio de ejercicio como del tiempo al vencimiento.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Bakshi, G., C. Cao y Z. Chen. “Empirical Performance of Alternative Option Pricing Models”, *Journal of Finance*, 52, no. 5 (diciembre de 1997), pp. 2004-49.

Bates, D.S. “Post-’87 Crash Fears in the S&P Futures Market”, *Journal of Econometrics*, 94 (enero/febrero de 2000), pp. 181-238.

Derman, E. “Regimes of Volatility”, *Risk*, abril de 1999, pp. 55-59.

Ederington, L. y W. Guan. “Why Are Those Options Smiling”, *Journal of Derivatives*, 10, 2 (2002), pp. 9-34.

Jackwerth, J.C. y M. Rubinstein. "Recovering Probability Distributions from Option Prices", *Journal of Finance*, 51 (diciembre de 1996), pp. 1611-31.

Lauterbach, B. y P. Schultz. "Pricing Warrants: An Empirical Study of the Black-Scholes Model and Its Alternatives", *Journal of Finance,* 4, no. 4 (Septiembre de 1990), pp. 1181-1210.

Melick, W.R. y C.P. Thomas. "Recovering an Asset's Implied Probability Density Function from Option Prices: An Application to Crude Oil during the Gulf Crisis", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 32, no. 1 (marzo de 1997), pp. 91-115.

Rubinstein, M. "Nonparametric Tests of Alternative Option Pricing Models Using All Reported Trades and Quotes on the 30 Most Active CBOE Option Classes from August 23, 1976, through August 31, 1978", *Journal of Finance*, 40 (junio de 1985), pp. 455-80.

Rubinstein, M. "Implied Binomial Trees", *Journal of Finance*, 49, no. 3 (julio de 1994), pp. 771-818.

Xu, X. y S.J. Taylor. "The Term Structure of Volatility Implied by Foreign Exchange Options", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 29 (1994), pp. 57-74.

Examen (respuestas al final del libro)

17.1. ¿Qué sonrisa de volatilidad se observa cuando:

a. ambas colas de la distribución del precio de la acción son menos pesadas que las de la distribución logarítmica normal?

b. la cola derecha es más pesada y la cola izquierda es menos pesada que las de una distribución logarítmica normal?

17.2. ¿Cuál es la sonrisa de volatilidad de las acciones?

17.3. ¿Qué sonrisa de volatilidad ocasionan las variaciones súbitas en el precio del activo subyacente? ¿Es más pronunciado el patrón para una opción a dos años que para una opción a tres meses?

17.4. Una opción de compra y una de venta europeas tienen el mismo precio de ejercicio y tiempo al vencimiento. La volatilidad implícita de la opción de compra es de 30% y la de la opción de venta es de 25%. ¿Qué transacciones realizaría usted?

17.5. Explique detalladamente por qué una distribución con una cola izquierda más pesada y una cola derecha menos pesada que la distribución logarítmica normal da lugar a una sonrisa de volatilidad descendente.

17.6. El precio de mercado de una opción de compra europea es de \$3.00 y su precio, obtenido mediante el modelo Black-Scholes con una volatilidad de 30%, es de \$3.50. El precio obtenido con este modelo para una opción de venta europea con el mismo precio de ejercicio y tiempo al vencimiento, es de \$1.00. ¿Cuál debe ser el precio de mercado de la opción de venta? Explique las razones de su respuesta.

17.7. Explique lo que significa fobia al desplome bursátil.

Preguntas y problemas

17.8. Actualmente, el precio de una acción es de \$20. Hoy se espera el anuncio de una noticia que aumentará o disminuirá el precio en \$5. ¿Cuáles son los problemas de usar el modelo Black-Scholes para valuar opciones a un mes sobre la acción?

17.9. ¿Cuál es la sonrisa de volatilidad para opciones a seis meses cuando la volatilidad es incierta y se correlaciona positivamente con el precio de la acción?

17.10. ¿Qué problemas se encontrarían al probar empíricamente un modelo de valuación de opciones sobre acciones?

17.11. Imagine que la política de un banco central es permitir que un tipo de cambio fluctúe entre 0.97 y 1.03. ¿Qué patrón de volatilidades implícitas para opciones sobre el tipo de cambio esperaría ver?

17.12. En ocasiones, los negociantes de opciones se refieren a las opciones *deep out of the money* como opciones sobre volatilidad. ¿Por qué cree que las llamen así?

17.13. Una opción de compra europea sobre cierta acción tiene un precio de ejercicio de $30, un tiempo al vencimiento de un año y una volatilidad implícita de 30%. Una opción de venta europea sobre la misma acción tiene un precio de ejercicio de $30, un tiempo al vencimiento de un año y una volatilidad implícita de 33%. ¿Cuál es la oportunidad de arbitraje disponible para un negociante? ¿Funciona el arbitraje únicamente cuando se sostiene el supuesto logarítmico normal subyacente al modelo Black-Scholes? Explique las razones de su respuesta de manera detallada.

17.14. Suponga que el fallo de un importante proceso judicial que afecta a una empresa debe anunciarse mañana. Actualmente, el precio de la acción de la empresa es de $60. Si el fallo es favorable para la empresa, se espera que el precio de la acción suba a $75. Si es desfavorable, se espera que baje a $50. ¿Cuál es la probabilidad neutral al riesgo de un fallo favorable? Asuma que la volatilidad de la acción de la empresa será de 25% durante seis meses después del fallo si éste es favorable y de 40% si es desfavorable. Use el software DerivaGem para calcular la relación entre la volatilidad implícita y el precio de ejercicio de opciones europeas a seis meses sobre la acción de la empresa el día de hoy. La empresa no paga dividendos. Suponga que la tasa de interés libre de riesgo a seis meses es de 6%. Considere opciones de compra con precios de ejercicio de 30, 40, 50, 60, 70 y $80.

17.15. Un tipo de cambio es actualmente de 0.8000. La volatilidad del tipo de cambio se cotiza en 12% y las tasas de interés son iguales en ambos países. Use el supuesto logarítmico normal y calcule la probabilidad de que el tipo de cambio sea en tres meses: a) menor de 0.7000, b) entre 0.7000 y 0.7500, c) entre 0.7500 y 0.8000, d) entre 0.8000 y 0.8500, e) entre 0.8500 y 0.9000 y f) mayor de 0.9000. Con base en la sonrisa de volatilidad de tipos de cambio observada usualmente en el mercado, ¿cuál de estas estimaciones esperaría que fuera demasiado baja y cuál demasiado alta?

17.16. El precio de una acción es de $40. Una opción de compra europea a seis meses sobre la acción, con un precio de ejercicio de $30, tiene una volatilidad implícita de 35%. Una opción de compra europea a seis meses sobre la acción, con un precio de ejercicio de 50 dólares, tiene una volatilidad implícita de 28%. La tasa de interés libre de riesgo a seis meses es de 5% y no se esperan dividendos. Explique por qué las dos volatilidades implícitas son diferentes. Use el software DerivaGem para calcular los precios de las dos opciones. Use la paridad entre opciones de venta y de compra (*put-call*) para calcular los precios de opciones de venta europeas a seis meses con precios de ejercicio de 30 y $50. Use el software DerivaGem para calcular las volatilidades implícitas de estas dos opciones de venta.

17.17. "Los negociantes usan el modelo Black-Scholes como una herramienta de interpolación". Analice este punto de vista.

17.18. Use la tabla 17.2 y calcule la volatilidad implícita que usaría un negociante para una opción a 8 meses con un precio de ejercicio de 1.04.

Preguntas de tarea

17.19. La acción de una empresa se vende en $4. La empresa no tiene deudas pendientes. Los analistas consideran que el valor de liquidación de la empresa es por lo menos de $300,000 y hay 100,000 acciones en circulación. ¿Qué sonrisa de volatilidad esperaría ver?

17.20. Actualmente, una empresa espera el fallo de un importante proceso judicial que se conocerá dentro de un mes. En este momento, el precio de la acción es de $20. Si el fallo es favorable, se espera que el precio de la acción sea de $24 al término de un mes. Si el fallo es desfavorable, se espera que sea de $18 en el mismo tiempo. La tasa de interés libre de riesgo a un mes es de 8% anual.

a. ¿Cuál es la probabilidad neutral al riesgo de un fallo favorable?

b. ¿Cuáles son los valores de opciones de compra a un mes con precios de ejercicio de 19, 20, 21, 22, y $23?

c. Use el software DerivaGem para calcular una sonrisa de volatilidad para opciones de compra a un mes.

d. Compruebe que se obtenga la misma sonrisa de volatilidad para opciones de venta a un mes.

17.21. Actualmente, un precio de futuros es de $40. La tasa de interés libre de riesgo es de 5%. Se esperan noticias para mañana que harán que la volatilidad durante los tres meses siguientes sea de 10% o de 30%. Hay una probabilidad de 60% de que ocurra el primer resultado y de 40% de que se dé el segundo. Use el software DerivaGem para calcular una sonrisa de volatilidad para opciones a tres meses.

17.22. El sitio Web del autor proporciona datos sobre varias divisas:

`http://www.rotman.utoronto.ca/˜hull/data`

Elija una divisa y use los datos para elaborar una tabla similar a la tabla 17.1.

17.23 El sitio Web del autor proporciona datos sobre varios índices bursátiles:

`http://www.rotman.utoronto.ca/˜hull/data`

Elija un índice y pruebe si un movimiento hacia abajo de tres desviaciones estándar ocurre con más frecuencia que un movimiento hacia arriba de tres desviaciones estándar.

17.24. Considere una opción de compra y una opción de venta europeas con el mismo precio de ejercicio y tiempo al vencimiento. Demuestre que su valor cambia en el mismo monto cuando la volatilidad aumenta de un nivel, s_1, a un nuevo nivel, s_2 en un periodo corto. (*Sugerencia*: use la paridad *put-call*).

17.25. Use la tabla 17.2 y calcule la volatilidad implícita que un negociante usaría para una opción a 11 meses con un precio de ejercicio de 0.98.

APÉNDICE

Por qué la sonrisa de volatilidad de una opción de venta es igual a la sonrisa de volatilidad de una opción de compra

La paridad *put-call*, que explicamos en los capítulos 9 y 13, es una relación importante entre el precio, c, de una opción de compra europea y el precio, p, de una opción de venta europea:

$$p + S_0 e^{-qT} = c + K e^{-rT} \tag{17A.1}$$

La opción de compra y la opción de venta tienen el mismo precio de ejercicio, K, y tiempo al vencimiento, T. La variable S_0 es el precio del activo subyacente el día de hoy, r es la tasa de interés libre de riesgo para el vencimiento T, y q es el rendimiento sobre el activo.

Una característica importante de la relación de paridad *put-call* es que se basa en un argumento de arbitraje relativamente sencillo. No requiere ningún supuesto sobre la distribución futura de probabilidades del precio del activo y es válida tanto cuando la distribución del precio del activo es logarítmica normal como cuando no lo es.

Suponga que, para un valor específico de la volatilidad, p_{bs} y c_{bs} son los valores de opciones de venta y de compra europeas calculados con el modelo Black-Scholes. Suponga además que p_{merc} y c_{merc} son los valores de mercado de estas opciones. Puesto que la paridad *put-call* se sostiene para el modelo Black-Scholes, tenemos

$$p_{\text{bs}} + S_0 e^{-qT} = c_{\text{bs}} + K e^{-rT}$$

Al no haber oportunidades de arbitraje también se sostiene para precios de mercado, de tal modo que

$$p_{\text{mkt}} + S_0 e^{-qT} = c_{\text{mkt}} + K e^{-rT}$$

Si restamos la segunda de estas ecuaciones de la primera, obtenemos

$$p_{\text{bs}} - p_{\text{mkt}} = c_{\text{bs}} - c_{\text{mkt}} \tag{17A.2}$$

Esto muestra que el error de valuación en dólares cuando se usa el modelo Black-Scholes para valuar una opción de venta europea debe ser exactamente igual al error de valuación en dólares cuan-

Ejemplo 17.1 Volatilidades implícitas para opciones de venta y de compra

El valor del dólar australiano es de \$0.60 dólares estadounidenses. La tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual en Estados Unidos de América y de 10% anual en Australia. El precio de mercado de una opción de compra europea sobre el dólar australiano, con un vencimiento de un año y un precio de ejercicio de \$0.59 es de 0.0236. El software DerivaGem muestra que la volatilidad implícita de la opción de compra es de 14.5%. Para que no haya arbitraje, la relación de paridad *put-call* de la ecuación (17A.1) debe aplicarse con q igual a la tasa de interés libre de riesgo. Por lo tanto, el precio, p, de una opción de venta europea con un precio de ejercicio de \$0.59 y un vencimiento de un año resuelve

$$p + 0.60e^{-0.10\times 1} = 0.0236 + 0.59e^{-0.05\times 1}$$

de tal manera que p = 0.0419. El software DerivaGem muestra que, cuando la opción de venta tiene este precio, su volatilidad implícita es también de 14.5%.

do se usa para valuar una opción de compra europea con el mismo precio de ejercicio y tiempo al vencimiento.

Suponga que la volatilidad implícita de la opción de venta es de 22%. Esto significa que $p_{\text{bs}} = p_{\text{merc}}$ cuando se usa una volatilidad de 22% en el modelo Black-Scholes. Con base en la ecuación (17A.2), se deduce que $c_{\text{bs}} = c_{\text{merc}}$ cuando se usa esta volatilidad. Por consiguiente, la volatilidad implícita de la opción de compra es también de 22%. Este argumento muestra que la volatilidad implícita de una opción de compra europea es siempre igual a la volatilidad implícita de una opción de venta europea cuando ambas opciones tienen el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. Si expresamos esto de otro modo, para determinado precio de ejercicio y vencimiento, la volatilidad correcta a usar junto con el modelo Black-Scholes para valuar una opción de compra europea debe ser siempre igual a la que se usa para valuar una opción de venta europea. Esto también es más o menos válido para las opciones americanas. Se deduce que, cuando los negociantes se refieren a la relación entre la volatilidad implícita y el precio de ejercicio o a la relación entre la volatilidad implícita y el vencimiento, no necesitan mencionar si son opciones de compra o de venta, ya que la relación es igual para ambas. El ejemplo 17.1 ilustra este resultado.

18 CAPÍTULO

Valor en riesgo

En el capítulo 15 examinamos medidas como delta, gamma y vega para describir diferentes aspectos del riesgo de una cartera que consiste en opciones y otros activos financieros. En general, una institución financiera calcula diariamente cada una de estas medidas para cada variable de mercado a la que está expuesta. Con frecuencia hay cientos, o incluso miles, de estas variables de mercado. Por lo tanto, un análisis de delta, gamma y vega produce un gran número de distintas medidas de riesgo todos los días. Estas medidas de riesgo ofrecen información valiosa a los negociantes de una institución financiera, pero tienen un uso limitado para la alta dirección.

El valor en riesgo (VaR, *Value-at-Risk*) es un intento de proporcionar a los directores una sola cifra que resuma el riesgo total de una cartera de activos financieros. Su uso se ha extendido entre los tesoreros corporativos, administradores de fondos e instituciones financieras. Los gobernadores de bancos también usan el VaR para determinar el capital que requiere un banco a fin de enfrentar los riesgos que asume.

En este capítulo explicamos la medida VaR y describimos los dos métodos principales para calcularla, los cuales se conocen como el método de *simulación histórica* y el método de *construcción de modelos*.

18.1 LA MEDIDA VaR

Al usar la medida de valor en riesgo (VaR), a un analista le interesa hacer una declaración como ésta:

> Estoy X por ciento seguro de que no habrá una pérdida mayor de V dólares en los próximos N días.

Aquí, V es el VaR de la cartera y depende de dos parámetros: el horizonte temporal, N días, y el nivel de confianza, X por ciento. El VaR es nivel de pérdida durante N días, cuya probabilidad de ser excedido es de sólo $(100 - X)$ por ciento. Los gobernadores de bancos les exigen que calculen el VaR para el riesgo de mercado, con $N = 10$ y $X = 99$ (vea la Panorámica de negocios 18.1).

Cuando N días es el horizonte temporal y X por ciento es el nivel de confianza, el VaR es la pérdida correspondiente al $(100 - X)$ésimo percentil de la distribución del cambio en el valor de la cartera durante los próximos N días. (Al construir la distribución de probabilidades de los cambios, las ganancias son positivas y las pérdidas son negativas). Por ejemplo, cuando $N = 5$ y $X = 97$, el

Panorámica de negocios 18.1 Cómo usan el VaR los gobernadores de bancos

El Comité de Basilea sobre Supervisión Bancaria es un comité de los gobernadores de bancos del mundo que se reúne regularmente en Basilea, Suiza. En 1988, este comité publicó lo que se conoce como *El Acuerdo del BIS de 1988*, o sólo *El Acuerdo*. Éste es un convenio entre los gobernadores sobre cómo debe mantener un banco el capital para calcular el riesgo de crédito. Varios años después, el Comité de Basilea publicó *La Enmienda de 1996*, que se implementó en 1998 y que exigía a los bancos mantener capital para enfrentar tanto el riesgo de mercado como el riesgo de crédito. La enmienda distingue entre el libro de negociaciones de un banco y su libro de banca. El libro de banca consiste principalmente en préstamos y por lo general no se revalúa de manera regular con fines administrativos y contables. El libro de negociaciones consiste en los miles de instrumentos diferentes que el banco negocia (acciones, bonos, swaps, contratos a plazo, opciones, etc.) y normalmente se revalúa todos los días.

La enmienda del Bank of International Settlements (BIS, por sus siglas en inglés) de 1996 calcula el capital para el libro de negociaciones usando la medida VaR, con $N = 10$ y $X = 99$. Esto significa que se centra en la pérdida por revaluación durante un periodo de 10 días que se espera sea excedida sólo 1% del tiempo. El capital que se exige que el banco debe mantener es k veces esta medida VaR (con un ajuste para lo que se denomina riesgos específicos). Los gobernadores eligen el multiplicador k banco por banco, el cual debe ser por lo menos de 3.0. Para un banco con procedimientos excelentes y probados del cálculo del VaR, es probable que k se fije en el valor mínimo de 3.0. Para otros bancos puede ser más alto.

VaR es el tercer percentil de la distribución de cambios en el valor de la cartera durante los próximos cinco días. En la figura 18.1 se ilustra el VaR para la situación en la que el cambio en el valor de la cartera tiene una distribución aproximadamente normal.

El VaR es una medida atractiva porque es fácil de entender. En esencia, plantea la sencilla pregunta "¿qué tan mal se pueden poner las cosas?" y de la cual todos los directores desean tener la respuesta. Les agrada la idea de resumir en una sola cifra todas las letras griegas para todas las variables de mercado subyacentes a una cartera.

Si aceptamos que es útil tener una sola cifra para describir los riesgos de una cartera, una cuestión interesante es si el VaR es la mejor alternativa. Algunos investigadores han argumentado que el VaR puede hacer que los negociantes caigan en la tentación de elegir una cartera con una distribución de rendimientos similar a la de la figura 18.2. Las carteras de las figuras 18.1 y 18.2 tienen el mismo VaR, pero la cartera de la figura 18.2 es mucho más riesgosa porque las pérdidas potenciales son mucho más grandes.

Una medida que tiene que ver con el problema que acabamos de mencionar es el *déficit esperado*.[1] En tanto que el VaR plantea la pregunta "¿qué tan mal se pueden poner las cosas?", el déficit esperado cuestiona: "si las cosas se ponen mal, ¿cuánto espera la empresa que puede perder?" El déficit esperado es la pérdida esperada durante un periodo de N días con la condición de que se obtenga un resultado de $(100 - X)$% de la cola izquierda de la distribución. Por ejemplo, si $X = 99$ y $N = 10$, el déficit esperado es el monto promedio que la empresa pierde durante un periodo de 10 días cuando la pérdida es de 1% de la cola de la distribución.

[1] P. Artzner, F. Delbaen, J. M. Eber y D. Heath, sugirieron esta medida, que se conoce también como *pérdida en la cola* o *VaR condicional* (C-VaR), en "Coherent Measures of Risk", *Mathematical Finance*, 9 (1999), pp. 203-28. Estos autores definen ciertas propiedades que debe tener una buena medida de riesgo y muestran que la medida VaR estándar no las tiene todas.

Figura 18.1 Cálculo del VaR a partir de la distribución de probabilidades de los cambios en el valor de la cartera; el nivel de confianza es *X* por ciento. Las ganancias en el valor de la cartera son positivas; las pérdidas son negativas

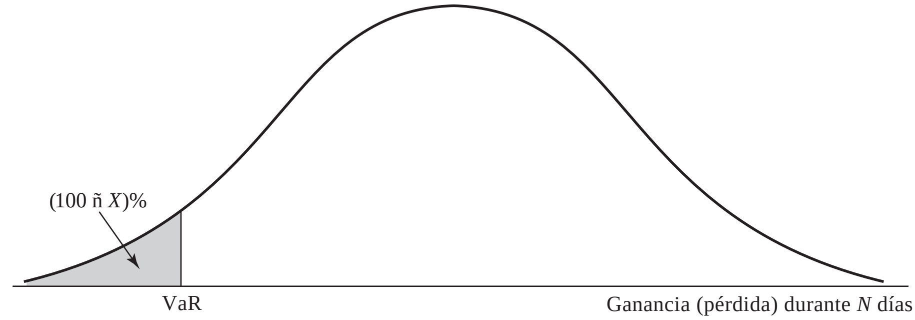
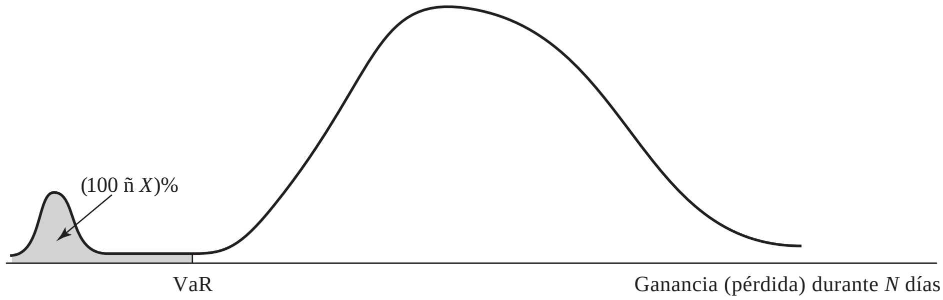


Figura 18.2 Situación alternativa a la que presenta la figura 18.1; el VaR es el mismo, pero la posibilidad de pérdida es mayor



A pesar de sus deficiencias, el VaR (no el déficit esperado) es la medida de riesgo más popular tanto entre los gobernadores de bancos como entre los administradores de riesgo. Por consiguiente, dedicaremos la mayor parte del resto de este capítulo a las formas de medirla.

El horizonte temporal

El VaR tiene dos parámetros: el horizonte temporal, N, medido en días, y el intervalo de confianza, X. En la práctica, los analistas establecen casi invariablemente $N = 1$ en primer lugar. Esto se debe a que no hay datos suficientes para calcular de forma directa el comportamiento de las variables de mercado durante periodos mayores a un día. El supuesto usual es

$$\text{VaR a } N \text{ días} = \text{VaR a 1 día} \times \sqrt{N}$$

Esta fórmula es exactamente cierta cuando los cambios en el valor de la cartera en días sucesivos tienen distribuciones normales idénticas independientes con una media de cero. En otros casos, es una aproximación.

La Panorámica de negocios 18.1 explica que los gobernadores exigen que el capital para riesgo de mercado de un banco sea por lo menos tres veces el VaR a 99% y a 10 días. Debido a la forma de calcular el VaR a 10 días, este nivel de capital es $3 \times \sqrt{10} = 9.49$ veces el VaR a 99% a 1 día.

18.2 SIMULACIÓN HISTÓRICA

La simulación histórica es una forma popular de calcular el VaR. Consiste en utilizar datos del pasado de manera muy directa como una guía de lo que podría ocurrir en el futuro. Suponga que debe calcularse el VaR para una empresa cuya cartera usa un horizonte temporal de un día, un nivel de confianza de 99% y 501 días de datos. El primer paso consiste en identificar las variables de mercado que afectan a la cartera. Éstas son comúnmente los tipos de cambio, los precios de las acciones, las tasas de interés, etc. Después se reúnen datos sobre los cambios en estas variables de mercado durante los últimos 501 días. Esto proporciona 500 escenarios alternativos sobre lo que puede ocurrir entre hoy y mañana. El escenario 1 se da cuando los cambios porcentuales en los valores de todas las variables son iguales al nivel que tenían entre el día 0 y el día 1; el escenario 2 es cuando dichos cambios son iguales al nivel que tenían entre el día 1 y el día 2, y asì sucesivamente. Para cada escenario se calcula el cambio en dólares en el valor de la cartera entre hoy y mañana. Esto define una distribución de probabilidades de los cambios diarios en el valor de la cartera. El quinto peor cambio diario es el primer percentil de la distribución. El cálculo del VaR es la pérdida en este primer punto percentil. Si asume que los últimos 500 días son una buena guía de lo que podría ocurrir al día siguiente, la empresa está 99% segura de que no tendrá una pérdida mayor que el cálculo del VaR.

Las tablas 18.1 y 18.2 ilustran la metodología de simulación histórica. La tabla 18.1 presenta observaciones de las variables de mercado durante los últimos 501 días. Las observaciones se tomaron en un momento específico del día (usualmente al cierre de las operaciones). Denominamos día 0 al primer día para el que hay datos disponibles, día 1 al segundo día, etc. Hoy es el día 500 y mañana será el día 501.

La tabla 18.2 muestra los valores de las variables de mercado de mañana si sus cambios porcentuales entre hoy y mañana son iguales al nivel que tenían entre el día $i - 1$ y el día i dado que $1 \leqslant i \leqslant 500$. La primera fila de la tabla 18.2 presenta los valores de las variables de mercado de mañana asumiendo que sus cambios porcentuales entre hoy y mañana son iguales al nivel que tenían entre el día 0 y el día 1; la segunda fila muestra los valores de las variables de mercado de mañana asumiendo que sus cambios porcentuales ocurren entre el día 1 y el día 2, etc. Las 500 filas de la tabla 18.2 son los 500 escenarios considerados.

Tabla 18.1 Datos para el cálculo de la simulación histórica del VaR

Día	*Variable de mercado 1*	*Variable de mercado 2*		*Variable de mercado n*
0	20.33	0.1132	⋯	65.37
1	20.78	0.1159	⋯	64.91
2	21.44	0.1162	⋯	65.02
3	20.97	0.1184	⋯	64.90
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
498	25.72	0.1312	⋯	62.22
499	25.75	0.1323	⋯	61.99
500	25.85	0.1343	⋯	62.10

Tabla 18.2 Escenarios generados para mañana (día 501) con los datos de la tabla 18.1

Número de escenario	*Variable de mercado 1*	*Variable de mercado 2*		*Variable de mercado n*	*Valor de la cartera (millones de dólares)*
1	26.42	0.1375	···	61.66	23.71
2	26.67	0.1346	···	62.21	23.12
3	25.28	0.1368	···	61.99	22.94
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
499	25.88	0.1354	···	61.87	23.63
500	25.95	0.1363	···	62.21	22.87

Defina v_i como el valor de una variable de mercado el día i e imagine que hoy es el día m. El $i^{ésimo}$ escenario asume que el valor de la variable de mercado será el día de mañana

$$v_m \frac{v_i}{v_{i-1}}$$

En nuestro ejemplo, $m = 500$. Para la primera variable, el valor el día de hoy, v_{500}, es de 25.85. Además tenemos $v_0 = 20.33$ y $v_1 = 20.78$. Se deduce que el valor de la primera variable de mercado en el primer escenario es de

$$25.85 \times \frac{20.78}{20.33} = 26.42$$

La columna final de la tabla 18.2 muestra el valor de la cartera el día de mañana para cada uno de los 500 escenarios. Se conoce el valor de la cartera el día de hoy. Suponga que este valor es de \$23.50 millones. Es posible calcular el cambio en el valor de la cartera entre hoy y mañana para todos los distintos escenarios. En nuestro ejemplo, es de + \$210,000 para el escenario 1, − \$380,000 para el 2, etc. Después se clasifican estos cambios en el valor. La quinta peor pérdida es el VaR a 99% y a 1 día. Como se mencionó en la sección anterior, el VaR a N días para un nivel de confianza de 99% se calcula como $\sqrt{N}$ veces el VaR a un día.

En nuestro ejemplo, el cálculo del VaR se actualizaría cada día usando los datos de los 501 días más recientes. Por ejemplo, considere lo que ocurre el día 501. Hay nuevos valores disponibles para todas las variables de mercado que se usan para calcular un nuevo valor para la cartera.[2] El procedimiento que hemos descrito se emplea para calcular un nuevo VaR usando datos sobre las variables de mercado del día 1 al día 501. (Esto proporciona 501 observaciones sobre los cambios porcentuales en las variables de mercado; ya no se usan los valores de las variables de mercado del día 0). Del mismo modo, el día 502 se usan los datos del día 2 al día 502 para determinar el VaR, etcétera.

18.3 MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DE MODELOS

La principal alternativa a la simulación histórica es el método de construcción de modelos (denominado en ocasiones como método de varianza-covarianza). Antes de entrar en los detalles del modelo, es conveniente mencionar un asunto relacionado con las unidades para medir la volatilidad.

[2] Observe que la composición de la cartera puede haber cambiado entre el día 500 y el día 501.

Volatilidades diarias

Al valuar una opción, el tiempo se mide usualmente en años y la volatilidad de un activo se cita por lo general como una "volatilidad anual". Al usar el método de construcción de modelos para calcular el VaR, el tiempo se suele medir en días y la volatilidad de un activo se cita por lo general como una "volatilidad diaria".

¿Cuál es la relación entre la volatilidad anual que se usa en la valuación de opciones y la volatilidad diaria que se utiliza en los cálculos del VaR? Definamos $\sigma_{\text{año}}$ como la volatilidad anual de cierto activo y $\sigma_{\text{día}}$ como la volatilidad diaria equivalente del activo. Si asumimos 252 días de negociación en un año, la ecuación (12.4) proporciona la desviación estándar del rendimiento continuamente compuesto sobre el activo en un año como $\sigma_{\text{año}}$ o $\sigma_{\text{día}}\sqrt{252}$.
Se deduce que

$$\sigma_{\text{año}} = \sigma_{\text{día}}\sqrt{252}$$

o

$$\sigma_{\text{día}} = \frac{\sigma_{\text{año}}}{\sqrt{252}}$$

de tal manera que la volatilidad diaria es aproximadamente 6% de la volatilidad anual.

Como se señaló en la sección 12.3, $\sigma_{\text{día}}$ es aproximadamente igual a la desviación estándar del cambio porcentual en el precio del activo en un día. A fin de calcular el VaR, asumimos una igualdad exacta. Definimos la volatilidad diaria del precio de un activo (o cualquier otra variable) igual a la desviación estándar del cambio porcentual en un día.

En las secciones siguientes nuestro análisis asume que hay estimaciones disponibles de volatilidades diarias y correlaciones. Posteriormente veremos cómo se obtienen dichas estimaciones.

Caso de un solo activo

Ahora analizamos cómo se calcula el VaR usando el método de construcción de modelos en una situación muy sencilla, en la que la cartera consiste en una posición en una sola acción. La cartera que consideramos consta de 10 millones de acciones de Microsoft. Suponemos que $N = 10$ y $X = 99$, de tal modo que nos interesa que el nivel de pérdida durante 10 días en el que estamos 99% seguros no sea superado. Inicialmente consideramos un horizonte de tiempo de un día.

Asumimos que la volatilidad de Microsoft es de 2% diario (correspondiente a 32% anual). Como el tamaño de la posición es de \$10 millones, la desviación estándar de los cambios diarios en el valor de la posición es 2% de \$10 millones, o \$200,000.

En el método de construcción de modelos se acostumbra suponer que el cambio esperado en una variable de mercado durante el periodo considerado es de cero. Esto no es muy cierto, pero es un supuesto razonable. El cambio esperado en el precio de una variable de mercado durante un periodo corto es generalmente pequeño al compararlo con la desviación estándar del cambio. Por ejemplo, suponga que Microsoft tiene un rendimiento esperado de 20% anual. Durante un periodo de un día, el rendimiento esperado es de 0.20/252, o alrededor de 0.08%, en tanto que la desviación estándar del rendimiento es de 2%. Durante un periodo de 10 días, el rendimiento esperado es de 0.08×10, o alrededor de 0.8%, en tanto que la desviación estándar del rendimiento es $2\sqrt{10}$, o alrededor de 6.3%.

Hasta ahora hemos establecido que el cambio en el valor de la cartera de acciones de Microsoft durante un periodo de un día tiene una desviación estándar de \$200,000 y (por lo menos aproximadamente) una media de cero. Asumimos que el cambio tiene una distribución normal.[3] Con base en las tablas presentadas al final de este libro, $N(-2.33) = 0.01$. Esto significa que hay una probabilidad de 1% de que el valor de una variable con una distribución normal disminuya más de 2.33 desviaciones estándar. De manera equivalente, esto significa que estamos 99% seguros de que el valor de una variable con una distribución normal no disminuirá más de 2.33 desviaciones estándar. Por lo tanto, el VaR a 99% y a un día para nuestra cartera, que consiste en una posición de $10 millones en Microsoft es

$$2.33 \times 200{,}000 = \$466{,}000$$

Como se analizó anteriormente, el VaR a N días se calcula como $\sqrt{N}$ veces el VaR a un día. Por consiguiente, el VaR a 99% a 10 días para Microsoft es

$$466{,}000 \times \sqrt{10} = \$1{,}473{,}621$$

A continuación, considere una cartera que consiste en una posición de $5 millones en AT&T y suponga que la volatilidad diaria de esta empresa es de 1% (aproximadamente 16% anual). Un cálculo similar al que se realizó para Microsoft muestra que la desviación estándar del cambio en el valor de la cartera en un día es

$$5{,}000{,}000 \times 0.01 = 50{,}000$$

Si asumimos que el cambio tiene una distribución normal, el VaR a 99% a un día es

$$50{,}000 \times 2.33 = \$116{,}500$$

y el VaR a 99% a 10 días es

$$116{,}500 \times \sqrt{10} = \$368{,}405$$

Caso de dos activos

Ahora considere una cartera que consiste en $10 millones en acciones de Microsoft y $5 millones en acciones de AT&T. Supongamos que los rendimientos sobre las dos acciones tienen una distribución normal bivariada con una correlación de 0.3. Un resultado estándar en estadística nos dice que si dos variables X y Y tienen desviaciones estándar iguales a σ_X y σ_Y, y el coeficiente de correlación entre ambas es igual a ρ, la desviación estándar de $X + Y$ se obtiene por medio de

$$\sigma_{X+Y} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + 2\rho\sigma_X\sigma_Y}$$

Para aplicar este resultado, establecemos X igual al cambio en el valor de la posición en Microsoft durante un periodo de un día y Y igual al cambio en el valor de la posición en AT&T durante un periodo de un día, de tal modo que

$$\sigma_X = 200{,}000, \qquad \sigma_Y = 50{,}000$$

Por lo tanto, la desviación estándar del cambio en el valor de la cartera integrada por ambas acciones durante un periodo de un día es

$$\sqrt{200{,}000^2 + 50{,}000^2 + 2 \times 0.3 \times 200{,}000 \times 50{,}000} = 220{,}227$$

---

[3] Para ser congruentes con el supuesto para la valuación de opciones presentado en el capítulo 12, podríamos asumir que mañana el precio de Microsoft será logarítmico normal. Puesto que un día es un periodo muy corto, esto es casi indistinguible del supuesto que sí hacemos: el cambio en el precio de la acción entre hoy y mañana es normal.

Ejemplo 18.1 Cálculo del VaR en una situación sencilla

Una empresa tiene una cartera que consiste en $10 millones invertidos en Microsoft y $5 millones invertidos en AT&T. La volatilidad diaria de Microsoft es de 2%, la de AT&T es de 1% y el coeficiente de correlación entre los rendimientos de Microsoft y AT&T es de 0.3.

Cálculo del VaR

1. La desviación estándar del cambio en el valor de la posición en Microsoft por día es de $10{,}000{,}000 \times 0.02 = \$200{,}000$.
2. La desviación estándar del cambio en el valor de la posición en AT&T por día es de $5{,}000{,}000 \times 0.01 = \$50{,}000$.
3. Por consiguiente, la desviación estándar del cambio en el valor de la cartera por día es:

$$\sqrt{200{,}000^2 + 50{,}000^2 + 2 \times 0.3 \times 200{,}000 \times 50{,}000} = 220{,}227$$

4. Por lo tanto, el VaR a 99% a un día es:

$$220{,}227 \times 2.33 = \$513{,}129$$

5. El VaR a 99% a 10 días es $\sqrt{10} \times 513{,}129$, o $1,622,657.

El cambio tiene una distribución normal y se asume que el cambio promedio es de cero. Así, el VaR a 99% a un día es

$$220{,}227 \times 2.33 = \$513{,}129$$

El VaR a 99% a 10 días es $\sqrt{10}$ veces este resultado, o $1,622,657. El ejemplo 18.1 resume estos cálculos.

Beneficios de la diversificación

En el ejemplo que acabamos de analizar:

1. El VaR a 99% a 10 días para la cartera de acciones de Microsoft es de $1,473,621.
2. El VaR a 99% a 10 días para la cartera de acciones de AT&T es de $368,405.
3. El VaR a 99% a 10 días para la cartera de acciones tanto de Microsoft como de AT&T es de $1,622,657.

El monto

$$(1{,}473{,}621 + 368{,}405) - 1{,}622{,}657 = \$219{,}369$$

representa los beneficios de la diversificación. Si Microsoft y AT&T estuvieran perfectamente correlacionadas, el VaR para la cartera integrada tanto por Microsoft como por AT&T sería igual al VaR para la cartera de acciones de Microsoft, más el VaR para la cartera de acciones de AT&T. Una correlación menos que perfecta hace que parte del riesgo se "diversifique".[4]

[4] Harry Markowitz fue uno de los primeros investigadores en estudiar los beneficios de la diversificación para un administrador de cartera. En 1990 recibió un premio Nobel por esta investigación. Vea H. Markowitz, "Portfolio Selection", *Journal of Finance* 7, no. 1 (marzo de 1952), pp. 77-91.

18.4 MODELO LINEAL

Los ejemplos que acabamos de analizar son muestras sencillas del uso del modelo lineal para calcular el VaR. Suponga que una cartera con un valor P consiste en n activos con un monto w_i invertido en el activo $i(1 \leq i \leq n)$. Definimos Δx_i como el rendimiento sobre el activo i en un día. Se deduce que el cambio en dólares en el valor de la inversión en el activo i en un día es $w_i \Delta x_i$ y

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} w_i \, \Delta x_i \tag{18.1}$$

donde ΔP es el cambio en dólares en el valor de toda la cartera en un día.

En el ejemplo 18.1 se invierten \$10 millones en el primer activo (Microsoft) y \$5 millones en el segundo activo (AT&T), de tal manera que (en millones de dólares) $w_1 = 10$, $w_2 = 5$ y

$$\Delta P = 10\Delta x_1 + 5\Delta x_2$$

Si asumimos que las Δx_i en la ecuación (18.1) son normales multivariadas, ΔP tiene una distribución normal. Por consiguiente, para calcular el VaR sólo necesitamos calcular la media y la desviación estándar de ΔP. Asumimos, como se analizó en la sección anterior, que el valor esperado de cada Δx_i es de cero. Esto implica que la media de ΔP es cero.

Para calcular la desviación estándar de ΔP, definimos σ_i como la volatilidad diaria del $i^{ésimo}$ activo y ρ_{ij} como el coeficiente de correlación entre los rendimientos sobre el activo i y el activo j. Esto significa que σ_i es la desviación estándar de Δx_i y ρ_{ij} es el coeficiente de correlación entre Δx_i y Δx_j. La varianza de ΔP, que representaremos como σ^2_P, se obtiene por medio de

$$\sigma_P^2 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \rho_{ij} w_i w_j \sigma_i \sigma_j$$

Esta ecuación también se plantea de la manera siguiente

$$\sigma_P^2 = \sum_{i=1}^{n} w_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n} \sum_{j<i} \rho_{ij} w_i w_j \sigma_i \sigma_j \tag{18.2}$$

La desviación estándar del cambio durante N días es $\sigma_P\sqrt{N}$ y el VaR a 99% para un horizonte temporal de N días es $2.33\sigma_P\sqrt{N}$.

En el ejemplo 18.1, $\sigma_1 = 0.02$, $\sigma_2 = 0.01$ y $\rho_{12} = 0.3$. Como ya se señaló, $w_1 = 10$ y $w_2 = 5$, de tal modo que

$$\sigma_P^2 = 10^2 \times 0.02^2 + 5^2 \times 0.01^2 + 2 \times 10 \times 5 \times 0.3 \times 0.02 \times 0.01 = 0.0485$$

y $\sigma_P = 0.220$. Ésta es la desviación estándar del cambio en el valor de la cartera por día (en millones de dólares). El VaR a 99% y a 10 días es de $2.33 \times 0.220 \times \sqrt{10} = \$1.623$ millones. Esto concuerda con el cálculo del ejemplo 18.1.

Manejo de tasas de interés

En el método de construcción de modelos es imposible definir una variable de mercado distinta para cada precio de bono o tasa de interés al que una empresa está expuesta. Se requieren algunas simplificaciones. El método usual consiste en elegir como variables de mercado los precios de bonos cupón cero con vencimientos estándar: 1 mes, 3 meses, 6 meses, 1 año, 2 años, 5 años, 7 años, 10 años y 30 años. Para calcular el VaR, los flujos de efectivo de los instrumentos incluidos en la cartera se traducen en flujos de efectivo que ocurren en las fechas de vencimiento establecidas. Considere una posición de $1 millón en un bono del Tesoro, con una duración de 1.2 años, que paga un cupón de 6% semestralmente. Los cupones se pagan en 0.2, 0.7 y 1.2 años y el principal se paga en 1.2 años. Por lo tanto, este bono se considera, en primer lugar, como una posición de $30,000 en un bono cupón cero a 0.2 años más una posición de $30,000 en un bono cupón cero a 0.7 años más una posición de $1.03 millones en un bono cupón cero a 1.2 años. Entonces, la posición en el bono a 0.2 años se reemplaza por una posición equivalente en bonos cupón cero a 1 mes y a 3 meses; la posición en el bono a 0.7 años se reemplaza por una posición equivalente en bonos cupón cero a 6 meses y a 1 año; y la posición en el bono a 1.2 años se reemplaza por una posición equivalente en bonos cupón cero a 1 año y a 2 años. El resultado es que la posición en el bono con cupón a 1.2 años se considera, a fin de calcular el VaR, como una posición en bonos cupón cero con vencimientos de 1 mes, 3 meses, 6 meses, 1 año y 2 años.

Este procedimiento se conoce como *mapeo de flujos de efectivo (cash flow mapping)* y una manera de realizarlo se explica en el Apéndice de este capítulo. Observe que el mapeo de flujos de efectivo no es necesario cuando se usa el método de simulación histórica. Esto se debe a que toda la estructura temporal de las tasas de interés puede calcularse usando el método *bootstrap* para cada uno de los escenarios considerados.

Aplicaciones del modelo lineal

La aplicación más sencilla del modelo lineal es a una cartera sin derivados consistentes en posiciones en acciones, bonos, divisas y *commodities*. En este caso, el cambio en el valor de la cartera depende linealmente de los cambios porcentuales en los precios de los activos que integran la cartera. Observe que, a fin de calcular el VaR, todos los precios de los activos se miden en la moneda doméstica. Por consiguiente, es probable que las variables de mercado consideradas por un banco importante en Estados Unidos de América incluyan el valor del índice Nikkei 225 en dólares, el precio de un bono cupón cero en libras esterlinas a 10 años medido en dólares, etcétera.

Un ejemplo de un derivado que puede manejarse por medio del modelo lineal es un contrato a plazo para comprar una divisa. Suponga que el contrato vence en el tiempo T. Este contrato puede considerarse como el intercambio de un bono cupón cero extranjero que vence en el tiempo T por un bono cupón cero doméstico que vence en el tiempo T. A fin de calcular el VaR, el contrato a plazo se toma como una posición larga en el bono extranjero combinada con una posición corta en el bono doméstico. Cada bono puede manejarse con el procedimiento de mapeo de flujos de efectivo antes descrito.

A continuación, considere un swap de tasas de interés. Como se explicó en el capítulo 7, éste puede considerarse como el intercambio de un bono de tasa variable por un bono de tasa fija. El bono de tasa fija es un bono con cupón regular. El bono de tasa variable tiene un valor a la par justo después de la fecha de pago siguiente. Se considera como un bono cupón cero con una fecha de vencimiento igual a la fecha de pago siguiente. Por lo tanto, el swap de tasas de interés se reduce a una cartera de posiciones largas y cortas en bonos y puede manejarse con el procedimiento de mapeo de flujos de efectivo antes descrito.

Modelo lineal y opciones

Ahora analicemos cómo podríamos usar el modelo lineal cuando hay opciones. Considere primero una cartera que consiste en opciones sobre una sola acción, cuyo precio vigente es S. Suponga que la delta de la posición (calculada como se describió en el capítulo 15) es δ.[5] Como δ es la tasa de cambio del valor de la cartera con S, es aproximadamente cierto que

$$\delta = \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

de tal modo que

$$\Delta P = \delta\, \Delta S \tag{18.3}$$

donde ΔS es el cambio en dólares en el precio de la acción en un día y ΔP es, como siempre, el cambio en dólares en el valor de la cartera en un día. Definimos Δx como el cambio porcentual en el precio de la acción en un día:

$$\Delta x = \frac{\Delta S}{S}$$

Se deduce que una relación aproximada entre ΔP y Δx es

$$\Delta P = S\delta\, \Delta x$$

Cuando tenemos una posición en varias variables de mercado subyacentes que incluye opciones, podemos obtener una relación lineal aproximada entre ΔP y la Δx_i de modo similar. Esta relación es

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} S_i \delta_i\, \Delta x_i \tag{18.4}$$

donde S_i es el valor de la $i^{ésima}$ variable de mercado y δ_i es la delta de la cartera con respecto a la $i^{ésima}$ variable de mercado. Esto corresponde a la ecuación (18.1):

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n} w_i\, \Delta x_i$$

con $w_i = S_i\delta_i$. Por consiguiente, la ecuación (18.2) puede utilizarse para calcular la desviación estándar de ΔP. Esto se ilustra en el ejemplo 18.2.

18.5 MODELO CUADRÁTICO

Cuando una cartera incluye opciones, el modelo lineal es una aproximación. No toma en cuenta la gamma de la cartera. Como se analizó en el capítulo 15, delta se define como la tasa de cambio del valor de la cartera con respecto a una variable de mercado subyacente y gamma se define como la tasa de cambio de la delta con respecto a la variable de mercado. Gamma mide la curvatura de la relación entre el valor de la cartera y una variable de mercado subyacente.

[5] Normalmente representamos la delta y la gamma de una cartera como Δ y Γ. En esta sección y la siguiente usamos las letras griegas minúsculas δ y γ para no usar en demasía la Δ.

Ejemplo 18.2 Uso del modelo lineal para opciones

Una cartera consiste en opciones sobre Microsoft y AT&T. Las opciones sobre Microsoft tienen una delta de 1,000 y las opciones sobre AT&T tienen una delta de 20,000. El precio por acción de Microsoft es de $120 y el precio por acción de AT&T es de $30. Con base en la ecuación (18.4), es aproximadamente cierto que

$$\Delta P = 120 \times 1{,}000 \times \Delta x_1 + 30 \times 20{,}000 \times \Delta x_2$$

o

$$\Delta P = 120{,}000 \Delta x_1 + 600{,}000 \Delta x_2$$

donde Δx_1 y Δx_2 son los rendimientos de Microsoft y AT&T en un día y ΔP es el cambio resultante en el valor de la cartera. (Se asume que la cartera es equivalente a una inversión de $120,000 en Microsoft y de $600,000en AT&T). Si asumimos que la volatilidad diaria de Microsoft es de 2% y la volatilidad diaria de AT&T es de 1%, y que la correlación entre los cambios diarios es de 0.3, la desviación estándar de ΔP (en miles de dólares) es

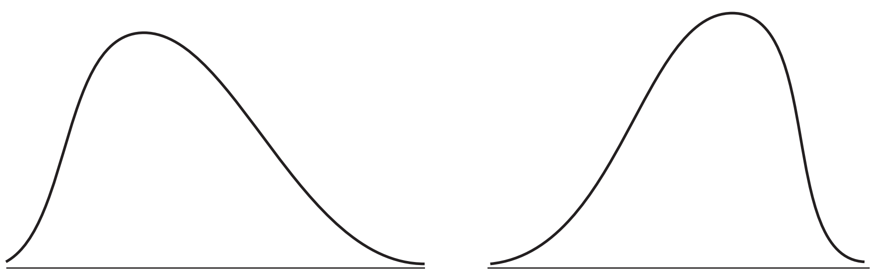
$$\sqrt{(120 \times 0.02)^2 + (600 \times 0.01)^2 + 2 \times 120 \times 0.02 \times 600 \times 0.01 \times 0.3} = 7.099$$

Puesto que $N(-1.65) = 0.05$, el valor en riesgo a 95% y a 5 días es de

$$1.65 \times \sqrt{5} \times 7{,}099 = \$26{,}193$$

La figura 18.3 muestra el impacto de una gamma que no equivale a cero en la distribución de probabilidades del valor de la cartera. Cuando gamma es positiva, la distribución de probabilidades de ΔP tiende a estar positivamente sesgada; cuando gamma es negativa, tiende a estar negativamente sesgada. Las figuras 18.4 y 18.5 ilustran la razón de este resultado. La figura 18.4 muestra la relación entre el valor de una posición larga en una opción de compra y el precio del activo subyacente. Una posición larga en una opción de compra es un ejemplo de una posición en una opción con una gamma positiva. La figura muestra que, cuando la distribución de probabilidades del precio del activo subyacente al final de un día es normal, la distribución de probabilidades del precio de la opción está positivamente sesgada.[6] La figura 18.5 muestra la relación entre el valor de una posición corta en una

Figura 18.3 Distribución de probabilidades del valor de la cartera: a) gamma positiva, b) gamma negativa



[6] Como se mencionó en la nota al pie número 3, en los cálculos del VaR podemos usar la distribución normal como una aproximación a la distribución logarítmica normal.

Figura 18.4 Traslación de una distribución normal de probabilidades de un activo en una distribución de probabilidades del valor de una posición larga en una opción de compra sobre el activo

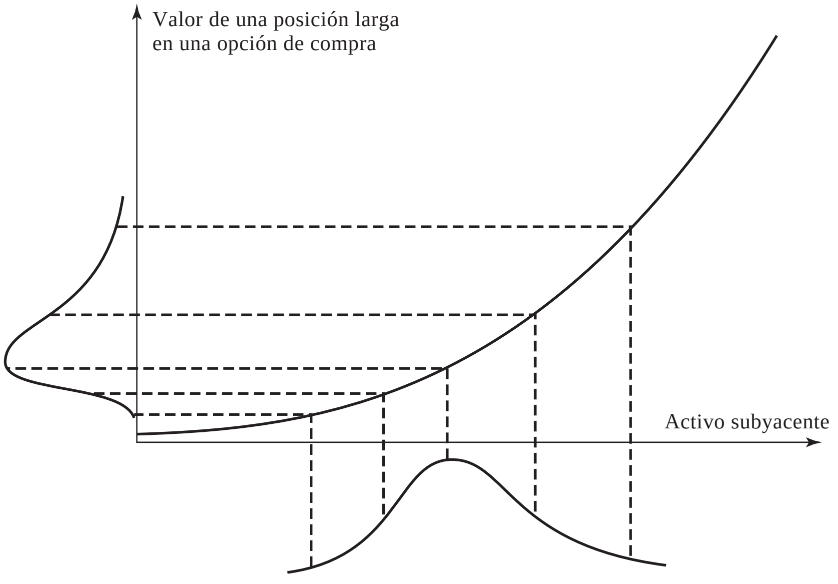
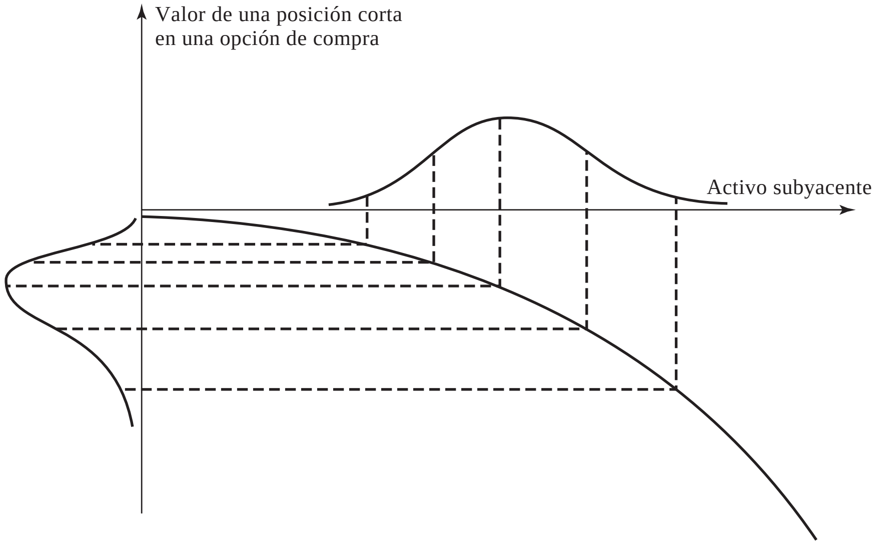


Figura 18.5 Traslación de una distribución normal de probabilidades de un activo en una distribución de probabilidades del valor de una posición corta en una opción de compra sobre el activo



opción de compra y el precio del activo subyacente. Una posición corta en una opción de compra tiene una gamma negativa. En este caso, vemos que una distribución normal del precio del activo subyacente al final de un día se traduce en una distribución negativamente sesgada del valor de la posición en la opción.

El VaR de una cartera depende fundamentalmente de la cola izquierda de la distribución de probabilidades de ΔP. Por ejemplo, cuando el nivel de confianza que se utiliza es de 99%, el VaR se calcula como el valor en la cola izquierda por debajo del cual sólo hay 1% de la distribución. Como se indicó en las figuras 18.3a y 18.4 una cartera gamma positiva tiene una cola izquierda menos pesada que la distribución normal. Si la distribución de ΔP es normal, el VaR calculado tiende a ser demasiado alto. Del mismo modo, como se indicó en las figuras 18.3b y 18.5, una cartera gamma negativa tiene una cola izquierda más pesada que la distribución normal. Si la distribución de ΔP es normal, el VaR calculado tiende a ser demasiado bajo.

Para obtener una estimación más exacta del VaR que la proporcionada por el modelo lineal, se utilizan las medidas delta y gamma para relacionar ΔP con Δx_i. Considere una cartera que depende de un solo activo cuyo precio es S. Suponga que la delta de una cartera es δ y que su gamma es γ. Un mejoramiento de la aproximación obtenida con la ecuación (18.3) es

$$\Delta P = \delta\,\Delta S + \tfrac{1}{2}\gamma(\Delta S)^2$$

Si establecemos

$$\Delta x = \frac{\Delta S}{S}$$

reduce esto a

$$\Delta P = \delta\,\Delta S + \tfrac{1}{2}\gamma(\Delta S)^2 \qquad \textbf{(18.5)}$$

Una ecuación cuadrática similar que relaciona ΔP con Δx_i se aplica cuando hay más de una variable de mercado. Un método para calcular el VaR consiste en usar la ecuación cuadrática junto con la simulación Monte Carlo. Esta metodología es similar al método de simulación histórica descrito en la sección 18.2, con la excepción de que se toman muestras de los cambios alternativos en las variables de mercado a partir de una distribución multivariada asumida en vez de calcularlos a partir de datos históricos. Además, el cambio en el valor de la cartera se calcula con la ecuación cuadrática.

18.6 CÁLCULO DE VOLATILIDADES Y CORRELACIONES

El método de construcción de modelos requiere volatilidades diarias para todas las variables de mercado y correlaciones entre cada par de estas variables. Ahora analizaremos cómo se obtienen.

En esta sección definimos σ_n como la volatilidad diaria de una variable de mercado en el día n, como se estimó al final del día $n - 1$. (Éste es un cambio de notación. Al inicio de este capítulo se usó σ_n para representar la volatilidad de la $n^{ésima}$ variable). El cuadrado de la volatilidad, σ_n^2, en el día n es la *tasa de varianza*. La sección 12.4 describe el método estándar para calcular σ_n a partir de datos históricos. Suponga que el valor de la variable de mercado al final del día i es S_i. La variable u_i se define como el rendimiento continuamente compuesto durante el día i (entre el final del día $i - 1$ y el final del día i):

$$u_i = \ln \frac{S_i}{S_{i-1}}$$

Una estimación σ_n^2 no sesgada de la tasa de varianza diaria, usando las m observaciones más recientes de u_i, se obtiene por medio de

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(u_{n-i} - \bar{u})^2 \tag{18.6}$$

donde $\bar{u}$ es la media de u_i:

$$\bar{u} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} u_{n-i}$$

A fin de vigilar la volatilidad, la fórmula de la ecuación (18.6) se cambia generalmente en diversas formas:

1. u_i se define como el cambio porcentual en la variable de mercado entre el fin del día $i-1$ y el fin del día i, de tal manera que[7]

$$u_i = \frac{S_i - S_{i-1}}{S_{i-1}} \tag{18.7}$$

2. Se asume que $\bar{u}$ es igual a cero.[8]
3. $m-1$ se reemplaza por m.

Estos tres cambios modifican muy poco los cálculos de la varianza y hacen que la ecuación (18.6) sea reemplazada por

$$\sigma_n^2 = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} u_{n-i}^2 \tag{18.8}$$

donde u_i se obtiene por medio de la ecuación (18.7).

Esquemas de ponderación

La ecuación (18.8) da igual peso a u^2_{n-1}, u^2_{n-2},..., u^2_{n-m}. Como el objetivo es vigilar el nivel actual de la volatilidad, es conveniente dar más peso a los datos recientes. Un modelo que hace esto es

$$\sigma_n^2 = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i u_{n-i}^2 \tag{18.9}$$

La variable α_1 es la cantidad de peso dado a la observación de hace i días. Las α son positivas. Puesto que deseamos dar menos peso a observaciones antiguas, $\alpha_i < \alpha_j$ cuando $i > j$. Los pesos deben sumar uno, de tal modo que

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_i = 1$$

El modelo de media móvil ponderada exponencialmente (EWMA, por sus siglas en inglés) es un ejemplo específico del modelo de la ecuación (18.9) donde los pesos, a_i, disminuyen exponencial-

[7] Esto concuerda con el argumento expuesto en la sección 18.3 sobre la manera de definir la volatilidad a fin de calcular el VaR.

[8] Como se explicó en la sección 18.3, este supuesto influye muy poco en las estimaciones de la varianza porque el cambio que se espera en una variable en un día es muy pequeño en comparación con la desviación estándar de los cambios. Como una alternativa al supuesto, definimos u_i como el rendimiento realizado menos el rendimiento esperado el día i.

Ejemplo 18.3 Actualización de la volatilidad con el uso de EWMA

El parámetro λ del modelo EWMA es 0.90, la volatilidad estimada para el día $n-1$ es de 1% diario, y el cambio en la variable de mercado durante el día $n-1$ es de 2%. En este caso, $\sigma_{n-1}^2 = 0.01^2 = 0.0001$ y $u^2{}_{n-1} = 0.02^2 = 0.0004$. La ecuación (18.10) da como resultado

$$\sigma_n^2 = 0.9 \times 0.0001 + 0.1 \times 0.0004 = 0.00013$$

Por lo tanto, la estimación σ_n de la volatilidad para el día n es $\sqrt{0.00013}$ o 1.14% diario. Observe que el valor esperado de $u^2{}_{n-1}$ es $s^2{}_{n-1}$ o 0.0001. En este ejemplo, el valor realizado de $u^2{}_{n-1}$ es mayor que el valor esperado y, en consecuencia, aumenta la estimación de la volatilidad. Si el valor realizado de $u^2{}_{n-1}$ hubiera sido menor que su valor esperado, la estimación de la volatilidad habría disminuido.

mente a medida que retrocedemos en el tiempo. Específicamente, $\alpha_{i+1} = \lambda\alpha_i$, donde λ es una constante entre cero y uno.

Resulta que este método de ponderación crea una fórmula particularmente sencilla para actualizar las estimaciones de la volatilidad. La fórmula es

$$\sigma_n^2 = \lambda\sigma_{n-1}^2 + (1-\lambda)u_{n-1}^2 \tag{18.10}$$

La estimación σ_n de la volatilidad para el día n (realizada al final del día $n-1$) se calcula a partir de σ_{n-1} (la estimación se realizó al final del día $n-2$) y u_{n-1} (el cambio porcentual diario más reciente en la variable de mercado). El ejemplo 18.3 proporciona una aplicación de la ecuación (18.10).

Para entender por qué la ecuación (18.10) corresponde a pesos que disminuyen exponencialmente, sustituimos $\sigma^2{}_{n-1}$, para obtener

$$\sigma_n^2 = \lambda[\lambda\sigma_{n-2}^2 + (1-\lambda)u_{n-2}^2] + (1-\lambda)u_{n-1}^2$$

o

$$\sigma_n^2 = (1-\lambda)(u_{n-1}^2 + \lambda u_{n-2}^2) + \lambda^2\sigma_{n-2}^2$$

Si sustituimos $\sigma^2{}_{n-2}$ de manera semejante, obtenemos

$$\sigma_n^2 = (1-\lambda)(u_{n-1}^2 + \lambda u_{n-2}^2 + \lambda^2 u_{n-3}^2) + \lambda^3\sigma_{n-3}^2$$

Si continuamos de esta manera, vemos que

$$\sigma_n^2 = (1-\lambda)\sum_{i=1}^{m}\lambda^{i-1}u_{n-i}^2 + \lambda^m\sigma_{n-m}^2$$

Si m es grande, el término $\lambda^m\sigma^2{}_{n-m}$ es suficientemente pequeño para ignorarlo, por lo que la ecuación (18.10) es igual a la ecuación (18.9), con $\alpha_i = (1-\lambda)\lambda^{i-1}$. Los pesos para u_i disminuyen a la tasa λ a medida que retrocedemos en el tiempo. Cada peso es λ veces el peso anterior.

El modelo EWMA tiene la ventaja de que se requiere almacenar relativamente pocos datos. En un momento dado, sólo es necesario recordar la estimación actual de la tasa de varianza y la observación más reciente del valor de la variable de mercado. Cuando se obtiene una nueva observación del valor de la variable de mercado, se calcula una nueva u^2 y se utiliza la ecuación (18.10) para actualizar la estimación de la tasa de varianza. Entonces se descarta la estimación anterior de la tasa de varianza y el valor anterior de la variable de mercado.

El modelo EWMA está diseñado para dar seguimiento a los cambios en la volatilidad. Suponga que hay un cambio importante en la variable de mercado el día $n - 1$, por lo que u^2_{n-1} es grande. Con base en la ecuación (18.10), esto hace que aumente σ_n, la estimación de la volatilidad diaria para el día n. El valor de λ establece qué tan sensible es la estimación de la volatilidad diaria a las observaciones más recientes de los cambios diarios. Un valor bajo de λ hace que se otorgue mucho peso a u^2_{n-1} al calcular σ_n. En este caso, las estimaciones de la volatilidad en días sucesivos son en sí muy volátiles. Un valor alto de λ (es decir, un valor cercano a 1.0) genera estimaciones de la volatilidad diaria que responden en forma relativamente lenta a la nueva información que proporcionan los cambios diarios.

Correlaciones

La correlación entre dos variables X y Y se define como

$$\frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

donde σ_X y σ_Y son la desviación estándar de X y Y y cov(X, Y) es la covarianza entre X y Y. La covarianza entre X y Y se define como

$$E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]$$

donde μ_X y μ_Y son las medias de X y Y, con E representando el valor esperado. Aunque es más fácil entender el significado de una correlación que de una covarianza, las covarianzas son las variables fundamentales de nuestro análisis.

Considere dos variables de mercado diferentes, U y V. Definimos u_i y v_i como los cambios porcentuales de U y V entre el final del día $i - 1$ y el final del día i:

$$u_i = \frac{U_i - U_{i-1}}{U_{i-1}}, \qquad v_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{V_{i-1}}$$

donde U_i y V_i son los valores de U y V al final del día i. Además, definimos:

$\sigma_{u,n}$: volatilidad diaria de la variable U, calculada para el día n

$\sigma_{v,n}$: volatilidad diaria de la variable V, calculada para el día n

cov_n: estimación de la covarianza entre los cambios diarios de U y V, calculada el día n

La estimación de la correlación entre U y V el día n es

$$\frac{\text{cov}_n}{\sigma_{u,n}\sigma_{v,n}}$$

Si usamos un esquema de ponderación equitativa y asumimos que las medias de u_i y v_i son iguales a cero, la ecuación (18.8) muestra que las tasas de varianza de U y V pueden calcularse a partir de las m observaciones más recientes, de la siguiente manera

$$\sigma^2_{u,n} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} u^2_{n-i} \qquad \text{y} \qquad \sigma^2_{v,n} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} v^2_{n-i}$$

Ejemplo 18.4 Actualización de la correlación utilizando EWMA

El parámetro λ del modelo EWMA es 0.95 y la estimación de la correlación entre dos variables, U y V, el día $n - 1$ es 0.6. La estimación de las volatilidades de U y V el día $n - 1$ son 1% y 2%, respectivamente. Los cambios reales de U y V el día $n - 1$ son 0.5% y 2.5%, respectivamente. En este caso, con base en la relación entre la correlación y la covarianza, la estimación de la covarianza entre U y V el día $n - 1$ es

$$0.6 \times 0.01 \times 0.02 = 0.00012$$

La varianza y la covarianza para el día n se calculan de la manera siguiente:

$$\sigma_{u,n}^2 = 0.95 \times 0.01^2 + 0.05 \times 0.005^2 = 0.00009625$$
$$\sigma_{v,n}^2 = 0.95 \times 0.02^2 + 0.05 \times 0.025^2 = 0.00041125$$
$$\text{cov}_n = 0.95 \times 0.00012 + 0.05 \times 0.005 \times 0.025 = 0.00012025$$

La nueva volatilidad de U es $\sqrt{0.00009625} = 0.981\%$ y la nueva volatilidad de V es $\sqrt{0.00041125} = 2.028\%$. El nuevo coeficiente de correlación entre U y V es

$$\frac{0.00012025}{0.00981 \times 0.02028} = 0.6044$$

Una estimación similar de la covarianza entre U y V es

$$\text{cov}_n = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} u_{n-i} v_{n-i} \qquad \textbf{(18.11)}$$

Una alternativa es un modelo EWMA similar a la ecuación (18.10). En este caso, la fórmula para actualizar la estimación de la covarianza es

$$\text{cov}_n = \lambda \, \text{cov}_{n-1} + (1 - \lambda) u_{n-1} v_{n-1} \qquad \textbf{(18.12)}$$

Un análisis similar al del modelo EWMA para estimar la volatilidad muestra que los pesos dados a las observaciones de $u_i v_i$ disminuyen a medida que retrocedemos en el tiempo. Cuanto menor es el valor de λ, mayor es el peso que se da a las observaciones recientes. El ejemplo 18.4 proporciona una aplicación de la ecuación (18.12).

18.7 COMPARACIÓN DE MÉTODOS

Hemos analizado dos métodos para calcular el VaR: el método de simulación histórica y el método de construcción de modelos. Las ventajas del método de construcción de modelos es que produce resultados rápidamente y puede utilizarse con facilidad junto con métodos de actualización de la volatilidad, como EWMA. La principal desventaja del método de construcción de modelos es que asume que las variables de mercado tienen una distribución normal multivariada. En la práctica, los cambios diarios en las variables de mercado tienen con frecuencia distribuciones que son muy diferentes a la distribución normal (vea, por ejemplo, la tabla 17.1). Además, el método de construcción de modelos da pobres resultados para carteras con delta baja.

El método de simulación histórica tiene la ventaja de que los datos históricos determinan la distribución de probabilidades conjunta de las variables de mercado; además, evita la necesidad del mapeo de flujos de efectivo. Las principales desventajas de la simulación histórica son que es lenta desde el punto de vista de la informática, en primera instancia, y que no da facilidades para utilizar los métodos de actualización de la volatilidad.

18.8 PRUEBAS DE ESTRÉS Y *BACK TESTING*

Además de calcular el VaR, muchas empresas llevan a cabo lo que se conoce como *pruebas de estrés* de la cartera. Las pruebas de estrés consisten en determinar cuál habría sido el desempeño de la cartera con algunos de los movimientos más extremos del mercado que se han observado en los últimos 10 a 20 años.

Por ejemplo, para probar el impacto de un movimiento extremo en los precios de las acciones estadounidenses, una empresa podría fijar los cambios porcentuales en todas las variables de mercado iguales al nivel que tenían el 19 de octubre de 1987, cuando el índice S&P 500 varió en 22.3 desviaciones estándar. Si esto se considera demasiado extremo, la empresa podría elegir el 8 de enero de 1988, cuando el índice S&P 500 varió en 6.8 desviaciones estándar. Para probar el efecto de movimientos extremos en las tasas de interés británicas, la empresa podría establecer los cambios porcentuales en todas las variables de mercado iguales a los del 10 de abril de 1992, cuando los rendimientos sobre bonos a 10 años variaron en 7.7 desviaciones estándar.

Las pruebas de estrés se consideran como una forma de tomar en cuenta acontecimientos extremos que sí ocurren de vez en cuando, pero que son prácticamente imposibles de acuerdo con las distribuciones de probabilidades asumidas para las variables de mercado. Un cambio diario de 5 desviaciones estándar en una variable de mercado es uno de estos acontecimientos extremos. Bajo el supuesto de una distribución normal, un acontecimiento extremo ocurre alrededor de una vez cada 7,000 años; pero, en la práctica, no es raro ver un cambio diario de 5 desviaciones estándar una o dos veces cada 10 años.

Cualquiera que sea el método que se aplique para calcular el VaR, una importante comprobación de la realidad son las pruebas retrospectivas *(back testing)*, que consisten en probar cuál habría sido el desempeño de las estimaciones del VaR en el pasado. Suponga que calculamos un VaR a 99% y a un día. El *back testing* consistiría en ver con cuánta frecuencia la pérdida en un día excedió al VaR a 99% y a un día calculado para ese día. Si esto ocurrió 1% de los días, podemos sentirnos razonablemente seguros con la metodología para calcular el VaR. Si ocurrió, por ejemplo, 7% de los días, la metodología es dudosa.

RESUMEN

El cálculo del valor en riesgo (VaR) tiene como objetivo hacer una declaración como ésta: "estamos X por ciento seguros de que no habrá una pérdida mayor de V dólares en los próximos N días". La variable V es el VaR, X por ciento es el nivel de confianza, y N días es el horizonte temporal.

Un método para calcular el VaR es la simulación histórica. Ésta consiste en crear una base de datos integrada por los cambios diarios en todas las variables de mercado durante cierto periodo. El primer ensayo de simulación asume que los cambios porcentuales en cada variable de mercado son iguales a los del primer día incluido en la base de datos; el segundo ensayo de simulación asume que los cambios porcentuales son iguales a los del segundo día, etc. El cambio ΔP en el valor de la cartera se determina para cada ensayo de simulación y el VaR se calcula como el percentil adecuado de la distribución de probabilidades de ΔP.

Una alternativa es el método de construcción de modelos. Este método es relativamente sencillo si se hacen dos supuestos:

1. El cambio en el valor de la cartera (ΔP) depende linealmente de los cambios porcentuales en las variables de mercado.
2. Los cambios porcentuales en las variables de mercado tienen una distribución normal multivariada.

Entonces, la distribución de probabilidades de ΔP es normal y hay fórmulas analíticas para relacionar la desviación estándar de ΔP con las volatilidades y correlaciones de las variables de mercado subyacentes. El VaR puede calcularse a partir de propiedades conocidas de la distribución normal.

Cuando una cartera incluye opciones, ΔP no se relaciona linealmente con los cambios porcentuales en las variables de mercado y no tiene una distribución normal. En este caso, el cálculo del VaR es más difícil con el uso del método de construcción de modelos y puede requerir la simulación Monte Carlo.

Cuando se utiliza el método de construcción de modelos, por lo general las volatilidades y correlaciones se actualizan diariamente. Un método popular es el modelo de media móvil ponderada exponencialmente. En este modelo, los pesos dados a las observaciones disminuyen a medida que éstas aumentan en antigüedad. El valor dado a los datos de hace i días es λ veces el valor dado a los datos de hace $i - 1$ días para cierto parámetro λ entre cero y uno.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Artzner P., F. Delbaen, J.M. Eber y D. Heath. “Coherent Measures of Risk”, *Mathematical Finance*, 9 (1999), pp. 203-28.

Basak, S. y A. Shapiro. “Value-at-Risk-Based Risk Management: Optimal Policies and Asset Prices”, *Review of Financial Studies*, 14, 2 (2001), pp. 371-405.

Beder, T. “VaR: Seductive But Dangerous”, *Financial Analysts Journal*, 51, 5 (1995), pp. 12-24.

Boudoukh, J., M. Richardson y R. Whitelaw. “The Best of Both Worlds”, *Risk*, mayo de 1998, pp. 64-67.

Dowd, K. *Beyond Value at Risk: The New Science of Risk Management*. Nueva York: Wiley, 1998.

Duffie, D. y J. Pan. “An Overview of Value at Risk”, *Journal of Derivatives*, 4, 3 (primavera de 1997), pp. 7-49.

Embrechts, P., C. Kluppelberg y T. Mikosch. *Modeling Extremal Events for Insurance and Finance*. Nueva York: Springer, 1997.

Frye, J. “Principals of Risk: Finding VAR through Factor-Based Interest Rate Scenarios”, en *VAR: Understanding and Applying Value at Risk*, pp. 275-88. Londres: Risk Publications, 1977.

Hendricks, D. “Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data”, *Economic Policy Review*, Banco de la Reserva Federal de Nueva York, 2 (abril de 1996), pp. 39-69.

Hopper, G. “Value at Risk: A New Methodology for Measuring Portfolio Risk”, *Business Review*, Banco de la Reserva Federal de Filadelfia, julio/agosto de 1996, pp. 19-29.

Hua, P. y P. Wilmott, “Crash Courses”, *Risk*, junio de 1997, pp. 64-67.

Hull, J.C. y A. White. “Value at Risk When Daily Changes in Market Variables Are Not Normally Distributed”, *Journal of Derivatives*, 5 (primavera de 1998), pp. 9-19.

Hull, J.C. y A. White. “Incorporating Volatility Updating into the Historical Simulation Method for Value at Risk”, *Journal of Risk*, 1, 1 (1998), pp. 5-19.

Jackson, P., D.J. Maude y W. Perraudin. “Bank Capital and Value at Risk”, *Journal of Derivatives*, 4, 3 (primavera de 1997), pp. 73-90.

Jamshidian, F. e Y. Zhu. “Scenario Simulation Model: Theory and Methodology”, *Finance and Stochastics*, 1 (1997), pp. 43-67.

Jorion, P. *Value at Risk*. 3a. ed. McGraw-Hill, 2007.
Longin, F. M. "Beyond the VaR", *Journal of Derivatives*, 8, 4 (verano de 2001), pp. 36-48.
Marshall, C. y M. Siegel. "Value at Risk: Implementing a Risk Measurement Standard", *Journal of Derivatives*, 4, 3 (primavera de 1997), pp. 91-111.
McNeil, A.J. "Extreme Value Theory for Risk Managers", en: *Internal Modeling and CAD II*. Londres, Risk Books, 1999. Vea también: www.math.ethz.ch/_mcneil.
Neftci, S.N. "Value at Risk Calculations, Extreme Events and Tail Estimation", *Journal of Derivatives*, 7, 3 (primavera de 2000), pp. 23-38.
Rich, D. "Second Generation VaR and Risk-Adjusted Return on Capital", *Journal of Derivatives*, 10, 4 (verano de 2003), pp. 51-61.

Examen (respuestas al final del libro)

18.1. Explique el método de simulación histórica para calcular el VaR.

18.2. Explique el modelo de media móvil ponderada exponencialmente (EWMA) para calcular la volatilidad a partir de datos históricos.

18.3. El cálculo más reciente de la volatilidad diaria de un activo es de 1.5% y el precio del activo al cierre de las operaciones de ayer fue de $30.00. El parámetro λ del modelo EWMA es de 0.94. Suponga que el precio del activo al cierre de las operaciones de hoy es de $30.50. ¿Como haría esto que la volatilidad se actualizara con el modelo EWMA?

18.4. Considere una posición que consiste en una inversión de $300,000 en el activo A y una inversión de $500,000 en el activo B. Asuma que las volatilidades diarias de los activos son 1.8% y 1.2%, respectivamente, y que el coeficiente de correlación entre sus rendimientos es de 0.3. ¿Cuál es el valor en riesgo a 95% y a cinco días para la cartera?

18.5. Una institución financiera posee una cartera de opciones sobre el tipo de cambio dólar estadounidense/libras esterlinas. La delta de la cartera es 56.0. El tipo de cambio vigente es 1.5000. Obtenga una relación lineal aproximada entre el cambio en el valor de la cartera y la variación porcentual en el tipo de cambio. Si la volatilidad diaria del tipo de cambio es de 0.7%, calcule el VaR a 99% y a 10 días.

18.6. Suponga que sabe que la gamma de la cartera de la pregunta del examen anterior es 16.2. ¿Cómo cambia esto el cálculo que hizo de la relación entre el cambio en el valor de la cartera y la variación porcentual en el tipo de cambio?

18.7. Suponga que una empresa tiene una cartera integrada por posiciones en acciones, bonos, divisas y *commodities*. Asuma que no hay derivados. Explique los supuestos subyacentes a: a) la simulación histórica y b) el método de construcción de modelos para calcular el VaR.

Preguntas y problemas

18.8. Una empresa utiliza un modelo EWMA para pronosticar la volatilidad y decide cambiar el parámetro λ de 0.95 a 0.85. Explique el impacto probable sobre los pronósticos.

18.9. Explique la diferencia entre valor en riesgo y déficit esperado.

18.10. Considere una posición que consiste en una inversión de $100,000 en el activo A y una inversión de $100,000 en el activo B. Asuma que las volatilidades diarias de ambos activos son de 1% y que el coeficiente de correlación entre sus rendimientos es de 0.3. ¿Cuál es el valor en riesgo a 99% y a cinco días para la cartera?

18.11. La volatilidad de cierta variable de mercado es de 30% anual. Calcule un intervalo de confianza de 99% para el tamaño del cambio porcentual diario de la variable.

18.12. Explique cómo se traduce un swap de tasas de interés en una cartera de bonos cupón cero con vencimientos estándar, con fines de cálculo del VaR.

18.13. Explique por qué el modelo lineal proporciona sólo estimaciones aproximadas del VaR para una cartera que contiene opciones.

18.14. Compruebe que el bono cupón cero a 0.3 años del ejemplo sobre mapeo de flujos de efectivo que se presenta en el Apéndice incluido al final de este capítulo se traduzca en una posición de $37,397 en un bono a tres meses y en una posición de $11,793 en un bono a seis meses.

18.15. Suponga que las tasas a 5 y 7 años son de 6% y 7%, respectivamente (ambas con una composición anual), la volatilidad diaria de un bono cupón cero a 5 años es de 0.5% y la volatilidad diaria de un bono cupón cero a 7 años es de 0.58%. La correlación entre los rendimientos diarios sobre ambos bonos es de 0.6. Traduzca un flujo de efectivo de $1,000 recibido en 6.5 años en una posición en un bono a 5 años y una posición en un bono a 7 años usando el método presentado en el Apéndice al final de este capítulo. ¿Qué flujos de efectivo en 5 y 7 años son equivalentes al flujo de efectivo recibido en 6.5 años?

18.16. Hace algún tiempo, una empresa ingresó en un contrato a plazo para comprar £1 millón por $1.5 millones. Ahora, al contrato le restan seis meses para su vencimiento. La volatilidad diaria de un bono cupón cero a seis meses en libras esterlinas (cuando su precio se traduce a dólares) es de 0.06% y la volatilidad diaria de un bono cupón cero a seis meses en dólares es de 0.05%. La correlación entre los rendimientos de ambos bonos es de 0.8. El tipo de cambio vigente es de 1.53. Calcule la desviación estándar del cambio en un día del valor en dólares del contrato a plazo. ¿Cuál es el VaR a 99% y a 10 días? Asuma que la tasa de interés a seis meses tanto en libras esterlinas como en dólares es de 5% anual con una composición continua.

18.17. El cálculo más reciente de la volatilidad diaria del tipo de cambio entre el dólar estadounidense y la libra esterlina es de 0.6% y este tipo de cambio fue de 1.5000 a las 4 P.M. del día de ayer. El parámetro λ del modelo EWMA es 0.9. Suponga que el tipo de cambio resulta ser de 1.4950 a las 4 P.M. del día de hoy. ¿Cómo se actualizaría la estimación de la volatilidad diaria?

18.18. Suponga que las volatilidades diarias del activo A y del activo B calculadas al cierre de las operaciones de ayer fueron de 1.6% y 2.5%, respectivamente. Los precios de los activos al cierre de las operaciones de ayer fueron de $20 y $40 y el cálculo del coeficiente de correlación entre los rendimientos de ambos activos realizado al cierre de las operaciones de ayer fue de 0.25. El parámetro λ usado en el modelo EWMA es 0.95.

a. Calcule la estimación actual de la covarianza entre los activos.

b. Con base en el supuesto de que los precios de los activos al cierre de las operaciones de hoy son de $20.5 y $40.5, actualice el cálculo de la correlación.

18.19. Suponga que la volatilidad diaria del índice bursátil FT-SE 100 (medido en libras esterlinas) es de 1.8% y que la volatilidad diaria del tipo de cambio entre el dólar estadounidense y la libra esterlina es de 0.9%. Además, suponga que la correlación entre el índice FT-SE 100 y el tipo de cambio entre el dólar estadounidense y la libra esterlina es de 0.4. ¿Cuál es la volatilidad del índice FT-SE 100 cuando se convierte a dólares estadounidenses? Asuma que el tipo de cambio entre el dólar estadounidense y la libra esterlina se expresa como la cantidad de dólares estadounidenses por libra esterlina. (*Sugerencia*: cuando $Z = XY$, el cambio porcentual diario de Z es aproximadamente igual al cambio porcentual diario de X más el cambio porcentual diario de Y).

18.20. Suponga que en el problema 18.19 la correlación entre el índice S&P 500 (medido en dólares) y el índice FT-SE 100 (medido en libras esterlinas) es de 0.7, la correlación entre el índice S&P 500 (medido en dólares) y el tipo de cambio entre el dólar estadounidense y la libra esterlina es de 0.3 y la volatilidad diaria del índice S&P 500 es de 1.6%. ¿Cuál es la correlación entre el índice S&P 500, medido en dólares, y el índice FT-SE 100 cuando éste se convierte a dólares? (*Sugerencia*: para tres variables, X, Y y Z, la covarianza entre $X + Y$ y Z es igual a la covarianza entre X y Z más la covarianza entre Y y Z).

Preguntas de tarea

18.21. Considere una posición que consiste en una inversión de \$300,000 en oro y una inversión de \$500,000 en plata. Suponga que las volatilidades diarias de estos dos activos son de 1.8% y 1.2%, respectivamente, y que el coeficiente de correlación entre sus rendimientos es de 0.6. ¿Cuál es el valor en riesgo a 97.5% y a 10 días para la cartera? ¿En cuánto reduce la diversificación al VaR?

18.22. Considere una cartera de opciones sobre un solo activo. Suponga que la delta de la cartera es de 12, el valor del activo es de \$10 y la volatilidad diaria del activo es de 2%. Con base en la delta, calcule el VaR a 95% y a un día para la cartera. A continuación, suponga que la gamma de la cartera es -2.6. Obtenga una relación cuadrática entre el cambio en el valor de la cartera y el cambio porcentual en el precio del activo subyacente en un día.

18.23. Un banco ha suscrito una opción de compra sobre una acción y una opción de venta sobre otra acción. En el caso de la primera opción, el precio de la acción es de \$50, el precio de ejercicio es de \$51, la volatilidad es de 28% anual y el tiempo al vencimiento es de nueve meses. En el caso de la segunda opción, el precio de la acción es de \$20, el precio de ejercicio es de \$19, la volatilidad es de 25% anual y el tiempo al vencimiento es de un año. Ninguna de las acciones paga dividendos, la tasa de interés libre de riesgo es de 6% anual y la correlación entre los rendimientos de las acciones es de 0.4. Calcule el VaR a 99% y a 10 días usando el software DerivaGem y el modelo lineal.

18.24. Suponga que el precio actual del oro al cierre de las operaciones de ayer fue de \$300 y su volatilidad se estimó en 1.3% diario. El precio al cierre de las operaciones de hoy es de \$298. Actualice el cálculo de la volatilidad usando el modelo EWMA con $\lambda = 0.94$.

18.25. Suponga que en el problema 18.24 el precio de la plata al cierre de las operaciones de ayer fue de \$8, su volatilidad se estimó en 1.5% diario y su correlación con el oro se calculó en 0.8. El precio de la plata al cierre de las operaciones de hoy permanece sin cambios en \$8. Actualice la volatilidad de la plata y la correlación entre la plata y el oro usando el modelo EWMA con $\lambda = 0.94$.

18.26. Del sitio Web del autor:

`http://www.rotman.utoronto.ca/_hull/data`

se puede descargar una hoja de cálculo de Excel, la cual contiene datos diarios sobre diferentes tipos de cambio e índices bursátiles. Elija un tipo de cambio y un índice bursátil. Calcule el valor de λ del modelo EWMA que minimice el valor de

$$\sum_i (v_i - \beta_i)^2$$

donde v_i es el pronóstico de la varianza realizado al final del día $i - 1$ y β_i es la varianza calculada con base en los datos disponibles entre el día i e $i + 25$. Utilice la herramienta Solver de Excel. Establezca el pronóstico de la varianza al final del primer día, de tal manera que sea igual al cuadrado del rendimiento de ese día para iniciar los cálculos del modelo EWMA.

18.27. Una queja común de los administradores de riesgo es que el método de construcción de modelos (tanto lineal como cuadrático) no funciona bien cuando la delta está cercana a cero. Haga la prueba para ver qué sucede cuando la delta está cercana a cero al usar la Aplicación de muestra E del software DerivaGem Application Builder. (Esto lo puede hacer experimentando con diferentes posiciones en opciones, y ajustando la posición en el subyacente para obtener una delta de cero). Explique los resultados que obtenga.

APÉNDICE

Mapeo de flujos de efectivo

En este apéndice explicamos un procedimiento para realizar el mapeo de flujos de efectivo a fechas de vencimiento establecidas. Ilustraremos el procedimiento con un ejemplo sencillo de una cartera que consiste en una posición larga en un solo bono del Tesoro con un principal de $1 millón que vence en 0.8 años. Suponemos que el bono proporciona un cupón de 10% anual, pagadero semestralmente. Esto significa que el bono proporciona pagos de cupón de $50,000 en 0.3 y 0.8 años; también proporciona un pago del principal de $1 millón en 0.8 años. Por consiguiente, el bono del Tesoro puede considerarse como una posición en un bono cupón cero a 0.3 años con un principal de $50,000 y una posición en un bono cupón cero a 0.8 años con un principal de $1,050,000.

La posición en el bono cupón cero a 0.3 años se traduce en una posición equivalente en bonos cupón cero a 3 y 6 meses. La posición en el bono cupón cero a 0.8 años se traduce en una posición equivalente en bonos cupón cero a 6 meses y 1 año. El resultado es que la posición en el bono con cupón a 0.8 años se considera, para efectos del VaR, como una posición en bonos cupón cero con vencimientos de tres meses, seis meses y un año.

Procedimiento del mapeo

Considere el monto de $1,050,000 que se recibirá en 0.8 años. Supongamos que las tasas cero, las volatilidades diarias del precio de los bonos y las correlaciones entre los rendimientos de los bonos son las que se presentan en la tabla 18.3. La primera etapa consiste en hacer una interpolación entre la tasa a 6 meses de 6.0% y la tasa a 1 año de 7.0% para obtener una tasa a 0.8 años de 6.6% (se asume una composición anual para todas las tasas). El valor presente del flujo de efectivo de $1,050,000 que se recibirá en 0.8 años es de

$$\frac{1{,}050{,}000}{1.066^{0.8}} = 997{,}662$$

Además hacemos una interpolación entre la volatilidad de 0.1% para el bono a 6 meses y la volatilidad de 0.2% para el bono a 1 año para obtener una volatilidad de 0.16% para el bono a 0.8 años.

Tabla 18.3 Datos para ilustrar el procedimiento de mapeo

Vencimiento	*3 meses*	*6 meses*	*1 año*
Tasa cero (% con una composición anual)	5.50	6.00	7.00
Volatilidad del precio de los bonos (% diario)	0.06	0.10	0.20

Correlación entre rendimientos diarios	*Bono a 3 meses*	*Bono a 6 meses*	*Bono a 1 año*
Bono a 3 meses	1.0	0.9	0.6
Bono a 6 meses	0.9	1.0	0.7
Bono a 1 año	0.6	0.7	1.0

Tabla 18.4 Resultado del mapeo de flujos de efectivo

	\$50,000 recibidos en 0.3 años	*\$1,050,000 recibidos en 0.8 años*	*Total*
Posición en un bono a 3 meses	37,397		37,397
Posición en un bono a 6 meses	11,793	319,589	331,382
Posición en un bono a 1 año		678,074	678,074

Suponga que asignamos w del valor presente al bono a 6 meses y $1 - w$ del valor presente al bono a 1 año. Si usamos la ecuación (18.2) e igualamos las varianzas, obtenemos

$$0.0016^2 = 0.001^2 w^2 + 0.002^2(1 - w)^2 + 2 \times 0.7 \times 0.001 \times 0.002 w(1 - w)$$

Ésta es una ecuación cuadrática que puede resolverse en la forma acostumbrada para obtener $w = 0.320337$. Esto significa que 32.0337% del valor debe asignarse a un bono cupón cero a 6 meses y 67.9663% del valor debe asignarse a un bono cupón cero a 1 año. Por lo tanto, el bono a 0.8 años con un valor de 997,662 dólares se reemplaza por un bono a 6 meses con un valor de

$$997{,}662 \times 0.320337 = \$319{,}589$$

y un bono a 1 año con un valor de

$$997{,}662 \times 0.679663 = \$678{,}074$$

Este método de mapeo de flujos de efectivo tiene la ventaja de que conserva tanto el valor como la varianza del flujo de efectivo. Además, muestra que los pesos asignados a los dos bonos cupón cero adyacentes son siempre positivos.

Para el flujo de efectivo de \$50,000 recibido a los 0.3 años, podemos realizar cálculos similares (vea el problema 18.14). Resulta que el valor presente del flujo de efectivo es de \$49,189. Este valor puede traducirse en una posición con un valor de \$37,397 en un bono a tres meses y una posición con un valor de \$11,793 en un bono a seis meses.

La tabla 18.4 resume los resultados de los cálculos. El bono con cupón a 0.8 años se traduce en una posición con un valor de \$37,397 en un bono a tres meses, una posición con un valor de \$331,382 en un bono a seis meses y una posición con un valor de \$678,074 en un bono a un año. Si usamos las volatilidades y las correlaciones de la tabla 18.3, la ecuación (18.2) proporciona la varianza del cambio en el precio del bono a 0.8 años con $n = 3$, $w_1 = 37{,}397$, $w_2 = 331{,}382$, $w_3 = 678{,}074$, $\sigma_1 = 0.0006$, $\sigma_2 = 0.001$ y $\sigma_3 = 0.002$, $\rho_{12} = 0.9$, $\rho_{13} = 0.6$ y $\rho_{23} = 0.7$. Esta varianza es 2,628,518. Por consiguiente, la desviación estándar del cambio en el precio del bono es $\sqrt{2{,}628{,}518} = 1{,}621.3$. Como asumimos que el bono es el único instrumento incluido en la cartera, el VaR a 99% y a 10 días es de

$$1621.3 \times \sqrt{10} \times 2.33 = 11{,}946$$

o alrededor de \$11,950.

CAPÍTULO 19

Opciones sobre tasas de interés

Las opciones sobre tasas de interés proporcionan beneficios que dependen en cierta forma del nivel de las tasas de interés. Su popularidad aumentó durante las décadas de 1980 y 1990. En la actualidad se negocian de manera muy activa diversos tipos de opciones sobre tasas de interés tanto en el mercado *over the counter* como en las bolsas de cambio. Este capítulo analiza algunos de los productos y cómo se utilizan. Asimismo, analiza dos instrumentos populares que cotizan en bolsa: las opciones de futuros sobre bonos del Tesoro y las opciones de futuros sobre eurodólares. Además, describe los modelos estándar del mercado que se usan para valuar tres instrumentos *over the counter* populares: las opciones europeas sobre bonos, los *caps* y *floors* de tasas de interés y las opciones europeas sobre *swaps*. Estos modelos concuerdan con el modelo original de Black-Scholes para valuar opciones europeas sobre acciones y se basan en el supuesto de que una variable de mercado importante tendrá una distribución logarítmica normal en una fecha futura.

19.1 OPCIONES SOBRE TASAS DE INTERÉS NEGOCIADAS EN BOLSA

Entre las opciones sobre tasas de interés negociadas de manera más activa y ofrecidas por bolsas de Estados Unidos de América están los futuros sobre bonos del Tesoro, los futuros sobre notas del Tesoro y los futuros sobre eurodólares.

Las opciones de futuros sobre bonos del Tesoro se negocian en la Bolsa de Comercio de Chicago y son opciones para participar en contratos de futuros sobre bonos del Tesoro. Como se mencionó en el capítulo 6, un contrato de futuros sobre bonos del Tesoro se estipula para la entrega de $100,000 en bonos del Tesoro. El precio de una opción de futuros sobre bonos del Tesoro se cotiza como un porcentaje del valor nominal de los bonos del Tesoro subyacentes redondeado al sesentaicuatroavo de 1% más próximo. Suponga que la cotización de la opción de compra de futuros de marzo sobre un bono del Tesoro es 2-06, o 2 6/64% del bono principal, cuando el precio de ejercicio es de 110. Eso significa que un contrato cuesta $2,093.75. Al ejercicio proporciona un beneficio igual a 1,000 veces el monto de la cotización del contrato de futuros sobre el bono que excede a 110. Las opciones de futuros sobre notas del Tesoro funcionan de manera similar a las opciones de futuros sobre bonos del Tesoro.

Las opciones de futuros sobre eurodólares se negocian en la Bolsa Mercantil de Chicago y son opciones para participar en contratos de futuros sobre eurodólares. Como se explicó en el capítulo 6,

Ejemplo 19.1 Negociación de una opción de futuros sobre eurodólares

Es el mes de febrero y el precio del contrato de futuros sobre eurodólares de junio es de 93.82. (Esto corresponde a una tasa de interés en eurodólares a tres meses de 6.18% anual). El precio de una opción de compra sobre el contrato con un precio de ejercicio de $94.00 se cotiza en la CME en 0.20, o 20 puntos base. Esta opción podría ser atractiva para un inversionista que cree que las tasas de interés disminuirán. Suponga que las tasas de interés a corto plazo sí disminuyen alrededor de 100 puntos base y que el inversionista ejerce la opción de compra cuando el precio de futuros sobre eurodólares es de $94.78. (Esto corresponde a una tasa de interés en eurodólares a tres meses de 5.22% anual). El beneficio es de $25 \times (9{,}478 - 9{,}400) = \$1{,}950$. El costo del contrato es de $20 \times 25 = \$500$. Por lo tanto, la utilidad del inversionista es de $1,450.

cuando la cotización de contratos de futuros sobre eurodólares cambia en un punto base, o 0.01, hay una ganancia o una pérdida sobre un contrato de futuros sobre eurodólares de $25. Del mismo modo, en la valuación de opciones de futuros sobre eurodólares, un punto base representa $25. Suponga que la cotización de una opción de venta de junio con un precio de ejercicio de $96.25 es de 59 puntos base. Un contrato cuesta $59 \times \$25 = \$1{,}495$. Al ejercicio proporciona un beneficio igual a $25 por el número de puntos base en que 96.25 excede a la cotización del contrato de futuros de junio.

Los contratos de opciones de futuros sobre tasas de interés funcionan en la misma forma que los demás contratos de opciones de futuros analizados en el capítulo 14. Además de un beneficio en efectivo, el tenedor de una opción de compra obtiene una posición larga en el contrato de futuros cuando se ejerce la opción y el suscriptor de la opción obtiene la posición corta correspondiente. El tenedor de una opción de venta obtiene una posición corta en el contrato de futuros cuando se ejerce la opción y el suscriptor de la opción obtiene la posición larga correspondiente.

Los precios de futuros sobre tasas de interés aumentan cuando los precios de los bonos suben (es decir, cuando las tasas de interés bajan), y disminuyen cuando los precios de los bonos bajan (es decir, cuando las tasas de interés suben). Un inversionista que considera que las tasas de interés a corto plazo subirán puede especular mediante la compra de opciones de venta de futuros sobre eurodólares, en tanto que un inversionista que cree que las tasas de interés bajarán puede especular con la adquisición de opciones de compra de futuros sobre eurodólares (vea el ejemplo 19.1). Un inversionista que considera que las tasas de interés a largo plazo subirán puede especular comprando opciones de venta de futuros sobre notas del Tesoro o futuros sobre bonos del Tesoro, en tanto que un inversionista que cree que las tasas bajarán puede especular adquiriendo opciones de compra sobre estos instrumentos (vea el ejemplo 19.2).

Ejemplo 19.2 Negociación de opciones de futuros sobre bonos del Tesoro

Es el mes de agosto y el precio del contrato de futuros sobre bonos del Tesoro de diciembre que se negocia en la CBOT es de 96-09 (o $96\frac{9}{32} = 96.28125$). El rendimiento sobre bonos del gobierno a largo plazo es alrededor de 6.4% anual. Un inversionista que considera que este rendimiento bajará para diciembre podría elegir la adquisición de opciones de compra de diciembre con un precio de ejercicio de $98. Asuma que el precio de estas opciones de compra es de 1-04 (o $1\frac{4}{64} = 1.0625\%$ del principal). Si las tasas a largo plazo disminuyen a 6% anual y el precio de futuros sobre bonos del Tesoro sube a 100-00, el inversionista obtendrá una utilidad neta por $100 de futuros sobre bonos de

$$100.00 - 98.00 - 1.0625 = 0.9375$$

Puesto que un contrato de opciones estipula la compra o la venta de instrumentos con un valor nominal de $100,000 y las cotizaciones son para $100 de principal, el inversionista obtendría una utilidad de $937.50 por contrato de opción comprado.

Las opciones de futuros sobre bonos y las opciones de futuros sobre eurodólares son americanas. El método de valuación más fácil es usar un árbol binomial como se describe en los capítulos 11, 14 y 16. Cuando se valúan opciones de futuros sobre bonos, el precio de los futuros sobre bonos está representado por el árbol y el parámetro de volatilidad usado es la volatilidad de este precio. En el caso de los futuros sobre eurodólares, los analistas usan el árbol frecuentemente para representar 100 menos el precio de futuros. Una opción de compra (venta) de futuros sobre eurodólares con un precio de ejercicio de $96 se considera como una opción de venta (compra) sobre 100 menos el precio de futuros sobre eurodólares con un precio de ejercicio de $4 y la volatilidad usada es la volatilidad de 100 menos el precio de futuros.

19.2 OPCIONES INTERCALADAS EN BONOS

Algunos bonos contienen opciones de compra y de venta intercaladas. Por ejemplo, un *bono rescatable* (*callable bond*) contiene cláusulas que permiten a la empresa emisora readquirir el bono a un precio predeterminado en ciertas fechas en el futuro. El tenedor de un bono de este tipo vendió una opción de compra al emisor. El precio de ejercicio o el precio de la opción de compra en la opción es el precio predeterminado que el emisor debe pagar al tenedor para readquirir el bono. Por lo general, los bonos rescatables no pueden retirarse durante los primeros años de su vida. (Esto se conoce como *periodo de protección* o *de cierre, lock out period*). Después de eso, el precio de la opción de compra está usualmente en función decreciente del tiempo. Por ejemplo, un bono rescatable a 10 años podría no tener privilegios de redención durante los dos primeros años. Después de eso, el emisor podría tener el derecho a readquirir el bono a un precio de $110.00 en el tercero y cuarto años de su vida; a $107.50 y en el quinto y sexto años; a $106.00 en el séptimo y octavo años, y a $103.00 en el noveno y décimo años. El valor de la opción de compra se refleja en los rendimientos cotizados sobre los bonos. Por lo general, los bonos con cláusulas de rescate anticipado ofrecen rendimientos más altos que los bonos sin estas cláusulas.

Un *bono con opción a venta (puttable bond)* contiene cláusulas que permiten al tenedor exigir la amortización anticipada a un precio predeterminado en ciertas fechas en el futuro. El tenedor de este tipo de bono compró una opción de venta sobre el bono así como el bono mismo. Puesto que la opción de venta aumenta el valor del bono para el tenedor, los bonos con cláusulas de venta anticipada proporcionan rendimientos más bajos que los bonos sin estas cláusulas. Un ejemplo sencillo de un bono con opción a venta es un bono rescatable a diez años en el cual el tenedor tiene el derecho de ser reembolsado al término de cinco años.

Varios instrumentos distintos a los bonos tienen opciones intercaladas en bonos. Por ejemplo, el privilegio de amortización anticipada sobre depósitos a tasa fija es una opción de venta sobre un bono. El privilegio de prepago sobre un préstamo a tasa fija es una opción de compra sobre un bono. Además, un compromiso de préstamo realizado por un banco u otra institución financiera es una opción de venta sobre un bono. Por ejemplo, suponga que un banco cotiza una tasa de interés a cinco años de 10% anual a un posible prestatario y establece que la tasa es adecuada para los dos meses siguientes. De hecho, el cliente obtuvo el derecho a vender a la institución financiera un bono a cinco años con un cupón de 10% en su valor nominal en cualquier fecha dentro de los dos meses siguientes. La opción se ejercerá si las tasas aumentan.

19.3 MODELO DE BLACK

Desde que el modelo de Black-Scholes se publicó en 1973, se ha convertido en una herramienta muy popular. Como se explicó en los capítulos 13 y 14, el modelo se ha ampliado de modo que se utilice para valuar opciones sobre tipos de cambio, opciones sobre índices y opciones sobre contratos de futuros. Como se describió en el capítulo 17, los negociantes han encontrado maneras flexibles de usar el modelo para reflejar sus creencias. En consecuencia, no es de sorprender que el modelo se haya ampliado para abarcar derivados sobre tasas de interés.

La ampliación del modelo de Black-Scholes que se usa con más frecuencia en el área de las tasas de interés es el modelo de Black.[1] Éste se desarrolló originalmente para valuar opciones de futuros sobre *commodities*; sin embargo, como se explicó en la sección 14.8, al establecer el vencimiento del contrato de futuros igual al de la opción, también puede usarse para valuar opciones europeas sobre precios de activos *spot*. En este capítulo mostramos cómo se usa el modelo de Black para opciones sobre tasas de interés *over the counter*.

Considere una opción de compra europea sobre una variable V. Definimos:

T: tiempo al vencimiento de la opción
F: precio de futuros de V para un contrato que vence en el tiempo T
F_0: valor de F en el tiempo cero
F_T: valor de F en el tiempo T
K: precio de ejercicio de la opción
r: tasa de interés para el vencimiento T
σ: volatilidad de F
V_T: valor de V en el tiempo T

La opción paga $\max(V_T - K, 0)$ en el tiempo T. Puesto que el contrato de futuros vence en el tiempo T, $F_T = V_T$, también podemos considerar que la opción paga $\max(F_T - K, 0)$ en el tiempo T. Como se muestra en el capítulo 14, el modelo de Black proporciona el valor, c, de la opción en el tiempo cero de la manera siguiente

$$c = e^{-rT}[F_0N(d_1) - KN(d_2)] \tag{19.1}$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln(F_0/K) + \sigma^2T/2}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(F_0/K) - \sigma^2T/2}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

El valor, p, de la opción de venta correspondiente se obtiene por medio de

$$p = e^{-rT}[KN(-d_2) - F_0N(-d_1)] \tag{19.2}$$

Ampliación del modelo de Black

Podemos ampliar el modelo de Black permitiendo que el momento en que se realiza el pago sea diferente de T. Asuma que el pago sobre la opción se calcula con base en el valor de la variable V en el tiempo T, pero que el pago se retrasa hasta el tiempo T^* donde $T^* \geqslant T$. En este caso es necesario descontar el pago del tiempo T^* en vez del tiempo T. Definimos r^* como la tasa de interés para el vencimiento T^* y las ecuaciones (19.1) y (19.2) se transforman en

$$c = e^{-r^*T^*}[F_0N(d_1) - KN(d_2)] \tag{19.3}$$

$$p = e^{-r^*T^*}[KN(-d_2) - F_0N(-d_1)] \tag{19.4}$$

[1] Vea F. Black "The Pricing of Commodity Contracts", Journal of Financial Economics, 3 (marzo de 1976), pp. 167-79.

donde

$$d_1 = \frac{\ln(F_0/K) + \sigma^2 T/2}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(F_0/K) - \sigma^2 T/2}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Cómo se utiliza el modelo

Cuando se usa el modelo de Black para valuar opciones europeas sobre tasas de interés que se negocian en el mercado *over the counter*, usualmente la variable F_0 de las ecuaciones (19.1) a (19.4) se fija igual al precio a plazo de V en vez de establecerla igual a su precio de futuros. Como vimos en el capítulo 5, recuerde que los precios de futuros y los precios a plazo son iguales cuando se asume que las tasas de interés son constantes, pero difieren cuando se asume que evolucionarán de manera imprevisible. Cuando manejamos una opción sobre una variable dependiente de tasas de interés, el supuesto de que F_0 es un precio plazo es, por lo tanto, cuestionable. No obstante, resulta (por lo menos para los productos considerados en este capítulo) que este supuesto se contrapone de manera exacta a otro que se hace generalmente cuando se utiliza el modelo de Black. Dicho supuesto es que las tasas de interés son constantes con fines de descuento. Por consiguiente, cuando se usa para valuar opciones sobre tasas de interés, el modelo de Black tiene una base teórica más sólida de lo que alguna vez se supuso.[2]

19.4 OPCIONES EUROPEAS SOBRE BONOS

Una opción europea sobre un bono es una opción para comprar o vender un bono a cierto precio, K, en un tiempo específico, T. Con frecuencia, las opciones europeas sobre bonos se valúan con las ecuaciones (19.1) y (19.2), con V igual al precio del bono. La variable s es la volatilidad del precio a plazo del bono, F, de tal manera que $\sigma\sqrt{T}$ es la desviación estándar del logaritmo del precio del bono en el tiempo T.

Como se explicó en el capítulo 5, F_0 se calcula con base en el precio *spot* del bono del día de hoy, B, usando la fórmula

$$F_0 = (B - I)e^{rT} \tag{19.5}$$

donde I es el valor presente de los cupones que se pagarán durante la vida de la opción y r es la tasa de interés para un vencimiento T. En esta fórmula, tanto el precio *spot* del bono como el precio a plazo del bono son precios en efectivo en vez de precios cotizados. (La relación entre los precios en efectivo y cotizados se explica en el capítulo 6; el precio en efectivo es el precio cotizado más el interés acumulado). Los negociantes denominan al precio cotizado de un bono "precio limpio", y al precio en efectivo "precio sucio".

El precio de ejercicio, K, de las ecuaciones (19.1) y (19.2) debe ser el precio de ejercicio sucio (es decir, en efectivo). Si un contrato específico define el precio de ejercicio como el monto en efectivo que se intercambia por el bono cuando se ejerce la opción, K debe establecerse igual a este precio de ejercicio. Si, como es más común, el precio de ejercicio es el precio limpio aplicable cuando se ejerce la opción, K debe establecerse igual al precio de ejercicio más el interés acumulado en la fecha de vencimiento de la opción. El ejemplo 19.3 ilustra esto.

---

[2] Para una explicación al respecto, vea J.C. Hull, *Options, Futures, and Other Derivatives*, 6ª. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006), cap. 26.

Ejemplo 19.3 Valuación de una opción sobre bono

Considere una opción de compra europea a 10 meses sobre un bono a $9.75 años con un valor nominal de $1,000. (Cuando la opción venza, al bono le restarán 8 años y 11 meses). Suponga que el precio en efectivo actual del bono es de $960, el precio de ejercicio es de $1,000, la tasa de interés libre de riesgo a 10 meses es de 10% anual y la volatilidad del precio a plazo del bono es de 9% anual. El bono paga cupones semestrales a una tasa de 10% anual y se esperan pagos de cupón de $50 en 3 y 9 meses. (Esto significa que el interés acumulado es de $25 y que el precio cotizado del bono es de $935). Supongamos que las tasas de interés libres de riesgo a 3 y 9 meses son de 9.0% y 9.5% anual, respectivamente. Por lo tanto, el valor presente de los pagos de cupón es de

$$50e^{-0.09\times 0.25} + 50e^{-0.095\times 0.75} = 95.45$$

o $95.45. El precio a plazo del bono, calculado con la ecuación (19.5), se obtiene por medio de

$$F_0 = (960 - 95.45)e^{0.1\times 10/12} = 939.68$$

(a) Si el precio de ejercicio es el precio en efectivo que se pagaría por el bono al ejercicio de la opción, los parámetros para la ecuación (19.1) son $F_0 = 939.68$, $K = 1{,}000$, $r = 0.1$, $\sigma = 0.09$ y $T = 0.8333$. El precio de la opción de compra es de $9.49.

(b) Si el precio de ejercicio es el precio cotizado que se pagaría por el bono al ejercicio de la opción, debe sumarse el interés acumulado de un mes a K, debido a que el vencimiento de la opción ocurre un mes después de una fecha de cupón. Esto produce un valor de K de

$$1{,}000 + 100 \times 0.08333 = 1{,}008.33$$

Los valores de los demás parámetros de la ecuación (19.1) permanecen sin cambio ($F_0 = 939.68$, $r = 0.1$, $\sigma = 0.09$ y $T = 0.8333$). El precio de la opción es de $7.97.

Volatilidades de rendimientos

Las volatilidades que se cotizan para las opciones sobre bonos suelen ser volatilidades de rendimientos más que volatilidades de precios. El concepto de duración, presentado en el capítulo 6, se usa en el mercado para convertir una volatilidad de rendimientos en una volatilidad de precios. Suponga que D es la duración modificada del bono subyacente a la opción al vencimiento de ésta, como se definió en la sección 6.5. La relación entre el cambio en el precio a plazo del bono, F, y su rendimiento, y_F, al vencimiento de la opción es

$$\frac{\Delta F}{F} \approx -D\,\Delta y_F$$

o

$$\frac{\Delta F}{F} \approx -Dy_F\frac{\Delta y_F}{y_F}$$

La volatilidad es una medida de la desviación estándar de los cambios porcentuales en el valor de una variable. Por consiguiente, esta ecuación sugiere que la volatilidad del precio a plazo del bono,

Ejemplo 19.4 Valuación de una opción sobre bono usando volatilidades de rendimientos

Considere una opción de venta europea sobre un bono a 10 años con un principal de $100. El cupón es de 8% anual, pagadero semestralmente. La vida de la opción es de 2.25 años y el precio de ejercicio de la opción es de $115. La volatilidad del rendimiento a plazo es de 20%. La curva cero es plana en 5% con una composición continua. El software DerivaGem muestra que el precio cotizado del bono es de $122.84. El precio de la opción cuando el precio de ejercicio es un precio cotizado es de $2.37. Cuando el precio de ejercicio es un precio en efectivo, el precio de la opción es de $1.74. (Observe que los precios obtenidos con el software DerivaGem pueden no concordar exactamente con los precios calculados manualmente porque este software asume 365 días por año y redondea los tiempos al número entero de días más cercano).

σ, usada en el modelo de Black se relaciona aproximadamente con la volatilidad del rendimiento a plazo del bono, σ_y, por medio de

$$\sigma = Dy_0\sigma_y \tag{19.6}$$

donde y_0 es el valor inicial de y_F. Cuando una volatilidad de rendimientos se cotiza para una opción sobre bono, el supuesto implícito es generalmente que se convertirá en una volatilidad de precios con la ecuación (19.6) y que esta volatilidad se usará junto con la ecuación (19.1) o (19.2) para obtener un precio. Suponga que el bono subyacente a una opción de compra tendrá una duración modificada de cinco años al vencimiento de la opción, el rendimiento a plazo es de 8% y la volatilidad de este rendimiento cotizada por un intermediario es de 20%. Esto significa que el precio de mercado de la opción correspondiente a la cotización del intermediario es el precio obtenido por medio de la ecuación (19.1) cuando la variable de volatilidad, σ, es

$$5 \times 0.08 \times 0.2 = 0.08$$

u 8% anual.

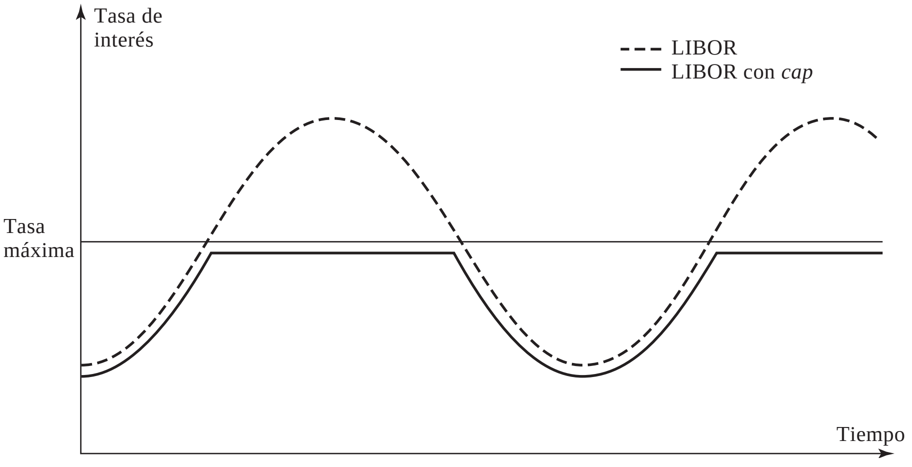
La hoja de cálculo Bond_Options del software DerivaGem incluido en este libro puede utilizarse para valuar opciones europeas sobre bonos usando el modelo de Black y seleccionando Black-European como el Modelo de valuación. El usuario ingresa una volatilidad de rendimientos, que se maneja en la forma que acabamos de describir. El precio de ejercicio puede ser en efectivo o cotizado. Esto se ilustra en el ejemplo 19.4.

19.5 *CAPS* DE TASAS DE INTERÉS

Una opción popular sobre tasas de interés que ofrecen las instituciones financieras en el mercado *over the counter* es un *cap sobre tasa de interés (interest rate cap)*. Los *caps* sobre tasas de interés se pueden entender mejor si se considera primero un bono a tasa variable en el que la tasa de interés se reajusta periódicamente igual a la tasa LIBOR. El tiempo entre reajustes se conoce como *tenor*. Suponga que el *tenor* es de tres meses. La tasa de interés sobre el bono para los tres primeros meses es la tasa LIBOR inicial a tres meses; la tasa de interés para los tres meses siguientes se establece igual a la tasa LIBOR a tres meses que está vigente en el mercado en el punto correspondiente a tres meses, y así sucesivamente.

Un *cap* sobre tasa de interés está diseñado para que proporcione seguro contra el incremento por arriba de cierto nivel de la tasa de interés sobre el bono a tasa variable. Este nivel se conoce como *tasa máxima (cap rate)*. La figura 19.1 ilustra en forma esquemática la operación del *cap*. Suponga que el monto del principal es de $10 millones, la vida del cap es de cinco años y la tasa

Figura 19.1 Efecto de un *cap* al proporcionar seguro contra el incremento de la tasa LIBOR por arriba de la tasa máxima



máxima es de 5%. (Como el *tenor* es de tres meses, esta tasa máxima se expresa con una composición trimestral). Suponga que en una fecha específica de reajuste la tasa de interés LIBOR a tres meses es de 6%. El bono a tasa variable requeriría

$$0.25 \times 0.06 \times \$10{,}000{,}000 = \$150{,}000$$

de interés a pagar tres meses después. Con una tasa LIBOR a tres meses de 5%, el pago del interés sería de

$$0.25 \times 0.05 \times \$10{,}000{,}000 = \$125{,}000$$

Por lo tanto, el *cap* proporciona un pago de \$25,000 (= \$150,000 − \$125,000).[3] Observe que el pago no ocurre en la fecha de reajuste cuando se observa la tasa de 6%, sino tres meses más tarde. Esto refleja el intervalo usual entre una tasa de interés observada y el pago correspondiente requerido.

Si una corporación obtiene un préstamo de tasa variable en el que la tasa de interés se relaciona con la tasa LIBOR, se puede usar un *cap* para limitar el interés pagado. Por ejemplo, si la tasa variable sobre un préstamo es la tasa LIBOR más 30 puntos base y el préstamo dura cinco años, el *cap* que acabamos de considerar aseguraría que la tasa pagada nunca fuera mayor de 5.30%. En cada fecha de reajuste durante la vida del cap, observamos la tasa LIBOR. Si esta tasa es menor de 5%, no hay pago del *cap* en los tres próximos meses. Si la tasa LIBOR es mayor que 5% el pago es una cuarta parte del excedente aplicado al principal de \$10 millones. Esto se resume en el ejemplo 19.5.

Observe que los *caps* se definen generalmente de tal modo que la tasa LIBOR inicial, aunque sea mayor que la tasa máxima, no genere un pago en la primera fecha de reajuste. En nuestro ejemplo, el *cap* dura cinco años. Por lo tanto, hay un total de 19 fechas de reajuste (en 0.25, 0.50, 0.75..., 4.75 años) y 19 pagos potenciales de los *caps* (en 0.50, 0.75, 1.00..., 5.00 años).

[3] Este cálculo asume exactamente un trimestre entre fechas de reajuste. En la práctica, el cálculo toma en cuenta el número exacto de días entre fechas de reajuste, usando una convención específica de cálculo de días.

Ejemplo 19.5 Uso de un *cap* de tasas de interés

Una empresa que adquiere un préstamo de tasa variable a cinco años de $10 millones, está preocupada por los posibles incrementos en las tasas de interés. La tasa sobre el préstamo es la tasa LIBOR a tres meses más 30 puntos base.

Para cubrir esta exposición, la empresa adquiere un *cap* de tasa de interés LIBOR a cinco años con una tasa máxima de 5% anual y un principal de $10 millones de una institución financiera. Esto tiene el efecto de asegurar que la tasa de interés que pague la empresa en cualquier trimestre nunca sea mayor de 5.3% anual.

El *cap* como una cartera de opciones sobre tasas de interés

Considere un *cap* con un principal de L y una tasa máxima de R_K. Suponga que las fechas de reajuste son t_1, t_2..., t_n y que las fechas de pago correspondientes son t_2, t_3... t_{n+1}. Defina R_k como la tasa de interés LIBOR para el periodo entre el tiempo t_k y t_{k+1} observado en el tiempo $t_k (1 \leqslant k \leqslant n)$. El *cap* lleva a un pago en el tiempo t_{k+1} de

$$L\delta_k \operatorname{máx}(R_k - R_K,\ 0) \tag{19.7}$$

donde $d_k = t_{k+1} - t_k$.[4]

La expresión en la ecuación (19.7) es el pago de una opción de compra sobre la tasa LIBOR observada en el tiempo t_k, ocurriendo el pago en el tiempo t_{k+1}. El *cap* es una cartera de n opciones de compra de este tipo. Estas opciones de compra se conocen como *caplets*.

Floors y *collars*

Los *floors* (suelos) de tasas de interés se definen de manera similar a los *caps*. Un *floor* proporciona un pago cuando la tasa de interés sobre el bono a tasa variable subyacente disminuye por debajo de cierto nivel. Con la notación ya presentada, un *floor* proporciona en el tiempo t_{k+1} ($k = 1, 2,..., n$) un pago de

$$L\delta_k \operatorname{máx}(R_K - R_k,\ 0)$$

De modo similar a un *cap* de tasa de interés, un *floor* de tasa de interés es una cartera de opciones de venta sobre tasas de interés. Cada una de las opciones individuales que integran un *floor* se conoce como *floorlet*.

Un *collar* de tasa de interés (denominado en ocasiones contrato de *floor* y *ceiling*, suelo y techo) es un instrumento diseñado para garantizar que la tasa de interés sobre el bono a tasa variable LIBOR subyacente se mantenga entre dos niveles. Un *collar* es una combinación de una posición larga en un *cap* y una posición corta en un *floor*. Generalmente se estructura de tal manera que el precio del *cap* sea inicialmente igual al precio del *floor*. En este caso, el costo de participar en el *collar* es de cero.

Como se explica en la Panorámica de negocios 19.1, hay una relación de paridad *put call* entre *caps* y *floors*.

[4] En esta ecuación, tanto R_k como R_K se expresan con una frecuencia de composición igual a la frecuencia de los reajustes. Por ejemplo, si hay cuatro fechas de reajuste por año, se componen trimestralmente. Aquí, la presentación se simplifica en cuanto a que asume que las tasas de interés se miden usando un cálculo de días real/real. En Estados Unidos de América, la tasa LIBOR se cotiza usando un conteo de días real/360. Esto significa que δ_k debe calcularse usando este conteo. Por ejemplo, si t_k es 1 de mayo y t_{k+1} es 1 de agosto, hay 92 días (reales) entre el 1 de mayo y el 1 de agosto, por lo que $\delta_k = 92/360 = 0.2521$.

Panorámica de negocios 19.1 Paridad *put call* para *caps* y *floors*

Hay una relación de paridad *put call* entre los precios de *caps* y *floors*. Ésta relación es

Valor del *cap* = valor del *floor* + valor del *swap*

En esta relación, el *cap* y el *floor* tienen el mismo precio de ejercicio, R_K. El *swap* es un contrato para recibir la tasa LIBOR y pagar una tasa fija de R_K sin un intercambio de pagos en la primera fecha de reajuste. Los tres instrumentos tienen la misma vida y la misma frecuencia de pagos.

Para comprobar que el resultado sea correcto, considere una posición larga en el *cap* combinada con una posición corta en el *floor*. El *cap* proporciona un flujo de efectivo de la tasa LIBOR $-$ R_K durante periodos en los que la tasa LIBOR es mayor que R_K. La posición corta en el *floor* proporciona un flujo de efectivo de

$$-(R_K - \text{LIBOR}) = \text{LIBOR} - R_K$$

durante periodos en los que la tasa LIBOR es menor que R_K. Por consiguiente, hay un flujo de efectivo de la tasa LIBOR $-$ R_K en todas las circunstancias. Éste es el flujo de efectivo sobre el *swap*. Se deduce que el valor del *cap* menos el valor del *floor* debe ser igual al valor del *swap*.

Observe que los *swaps* se estructuran usualmente de tal modo que la tasa LIBOR en el tiempo cero determina un pago en la primera fecha de reajuste. Por lo general, *caps* y *floors* se suelen estructurar en tal forma que no haya ningún pago en la primera fecha de reajuste. Éste es el motivo por el cual el *swap* debe definirse como un *swap* no estándar sin ningún pago en la primera fecha de reajuste.

Valuación de *caps* y *floors*

Un *caplet* que proporciona un pago en el tiempo t_{k+1} basado en la tasa en el tiempo t_k se valúa usualmente con el modelo de Black presentado en la sección 19.3, con $V = R_k$. (Esto significa que la tasa subyacente al *caplet* se asume como logarítmica normal). Como el pago se realiza en el tiempo t_{k+1} en vez del tiempo t_k, la ecuación (19.3) proporciona el valor de este *caplet* de la manera siguiente

$$L\delta_k e^{-r_{k+1}t_{k+1}}[F_k N(d_1) - R_K N(d_2)] \tag{19.8}$$

donde r_{k+1} es la tasa continuamente compuesta para un vencimiento t_{k+1},

$$d_1 = \frac{\ln(F_k/R_K) + \sigma_k^2 t_k/2}{\sigma_k\sqrt{t_k}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(F_k/R_K) - \sigma_k^2 t_k/2}{\sigma_k\sqrt{t_k}} = d_1 - \sigma_k\sqrt{t_k}$$

F_k es la tasa a plazo para el periodo entre el tiempo *tk* y t_{k+1} y σ_k es la volatilidad de F_k (de tal manera que $\sigma_k\sqrt{t_k}$ es la desviación estándar de ln R_k). El ejemplo 19.6 proporciona una aplicación de la ecuación (19.8).

El valor del *floorlet* correspondiente es, con base en la ecuación (19.4),

$$L\delta_k e^{-r_{k+1}t_{k+1}}[R_K N(-d_2) - F_k N(-d_1)] \tag{19.9}$$

Observe que R_K y F_k se expresan con una frecuencia de composición igual a la frecuencia de reajustes en estas ecuaciones, en tanto que r_{k+1} se expresa con una composición continua.

Ejemplo 19.6 Valuación de un *caplet*

Considere un contrato que establece un límite máximo a la tasa de interés sobre un préstamo de \$10,000 en 8% anual (con una composición trimestral) durante tres meses, comenzando en un año. Éste es un *caplet* y podría ser un elemento de un *cap*. Suponga que la curva cero es plana en 7% anual con una composición trimestral y que la volatilidad de la tasa a plazo a tres meses subyacente al *caplet* es de 20% anual. La tasa cero continuamente compuesta para todos los vencimientos es de 6.9394%. En la ecuación (19.8), $F_k = 0.07$, $\delta_k = 0.25$, $L = 10{,}000$, $R_K = 0.08$, $r_{k+1} = 0.069394$, $\sigma_k = 0.20$, $t_k = 1.0$ y $t_{k+1} = 1.25$. Incluso,

$$d_1 = \frac{\ln(0.07/0.08) + 0.2^2 \times 1/2}{0.20 \times 1} = -0.5677$$

$$d_2 = d_1 - 0.20 = -0.7677$$

de tal modo que el precio del *caplet* es

$$0.25 \times 10{,}000 \times e^{-0.069394 \times 1.25}[0.07N(-0.5677) - 0.08N(-0.7677)] = \$5.162$$

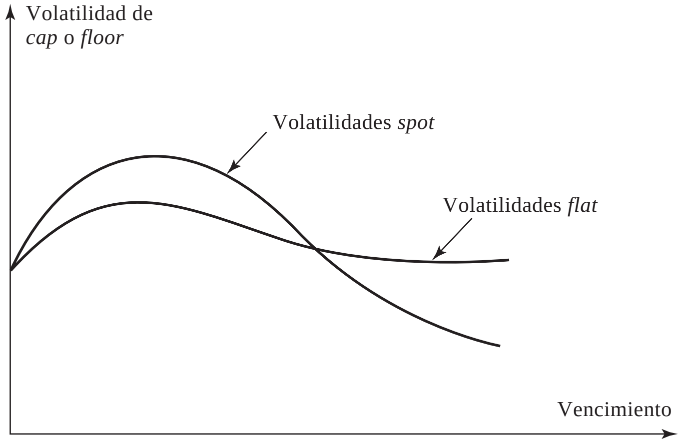
(Observe que el software DerivaGem proporciona un precio de \$5.146 para este *caplet*. Esto se debe a que el software asume 365 días por año y redondea los tiempos al número entero de días más cercano).

Cada *caplet* de un *cap* debe valuarse en forma independiente usando la ecuación (19.8). Del mismo modo, cada *floorlet* de un *floor* debe valuarse con la ecuación (19.9). Un método consiste en usar una volatilidad diferente para cada *caplet* (o *floorlet*). En este caso, las volatilidades se conocen como *volatilidades spot*.[5] Un método alternativo es usar la misma volatilidad para todos los *caplets* (*floorlets*) que integran un *cap* específico (*floor*), pero variar esta volatilidad de acuerdo con la vida del *cap* (*floor*). Las volatilidades usadas se conocen como *volatilidades flat*. Las volatilidades cotizadas en el mercado son usualmente *volatilidades flat* o planas. Sin embargo, muchos negociantes prefieren calcular *volatilidades spot* porque esto les permite identificar *caplets* y *floorlets* subvaluados y sobrevaluados. Las opciones de venta (compra) de futuros sobre eurodólares que se negocian en la Bolsa Mercantil de Chicago son similares a *caplets* (*floorlets*). Las volatilidades *spot* implícitas para *caplets* y *floorlets* sobre la tasa LIBOR a tres meses son semejantes a las volatilidades calculadas con base en los precios de opciones de futuros sobre eurodólares.

La figura 19.2 muestra un patrón típico de volatilidades *spot* y volatilidades *flat* en función del vencimiento. (En el caso de una volatilidad *spot*, el vencimiento corresponde al vencimiento de un *caplet* o *floorlet*; en el caso de una volatilidad *flat*, es el vencimiento de un *cap* o *floor*). Las volatilidades *flat* son similares a los promedios acumulativos de las volatilidades *spot* y, por lo tanto, muestran menos variabilidad. Como se indicó en la figura 19.2, en general observamos una "convexidad" en las volatilidades muy cerca del punto entre los años dos y tres. Esta convexidad se observa tanto cuando las volatilidades se infieren de los precios de las opciones como cuando se calculan a partir de datos históricos. No hay un consenso general sobre la razón de la existencia de la convexidad. Una posible explicación es la siguiente. Los bancos centrales controlan las tasas que están en el extremo corto de la curva cero. Por el contrario, las actividades de los negociantes determinan en gran medida las tasas de interés a dos y tres años. Estos negociantes pueden reaccionar a los cambios que observan en la tasa a corto plazo y ocasionar que la volatilidad de estas tasas sea mayor que la de las tasas a corto plazo. Para vencimientos mayores de dos a tres

[5] En ocasiones, también se usa el término *volatilidades forward* para describir estas volatilidades.

Figura 19.2 Convexidad de la volatilidad implícita



años, la reversión a la media de las tasas de interés, que se analizará posteriormente en este capítulo, hace que las volatilidades disminuyan.

Los intermediarios proporcionan tablas de volatilidades *flat* implícitas para *caps* y *floors*. Generalmente, los instrumentos subyacentes a las cotizaciones están *at the money*. Esto significa que la tasa *cap*/*floor* es igual a la tasa *swap* para un *swap* que tiene las mismas fechas de pago que el *cap*. La tabla 19.1 muestra cotizaciones típicas de intermediarios para el mercado en dólares estadounidenses. El *tenor* del *cap* es de tres meses, y la vida del *cap* varía de uno a 10 años. Las volatilidades son volatilidades *flat* más que volatilidades *spot*. Los datos muestran el tipo de "convexidad" que se ilustra en la figura 19.2.

Cómo utilizar DerivaGem

El software DerivaGem que acompaña a este libro puede utilizarse para valuar *caps* y *floors* sobre tasas de interés usando el modelo de Black. En la hoja de cálculo Cap_and_Swap Option, seleccione Cap/Floor como el Tipo subyacente y Black-European como el Modelo de valuación. El ingre-

Tabla 19.1 Cotizaciones típicas de intermediarios de volatilidades *flat* para *caps* y *floors* en dólares estadounidenses (porcentaje anual)

Vida (años)	*Demanda de cap*	*Oferta de cap*	*Demanda de floor*	*Oferta de floor*
1	18.00	20.00	18.00	20.00
2	23.25	24.25	23.75	24.75
3	24.00	25.00	24.50	25.50
4	23.75	24.75	24.25	25.25
5	23.50	24.50	24.00	25.00
7	21.75	22.75	22.00	23.00
10	20.00	21.00	20.25	21.25

Panorámica de negocios 19.2 *Swaptions* y opciones sobre bonos

Como se explicó en el capítulo 7, un *swap* de tasas de interés se considera un acuerdo para intercambiar un bono de tasa fija por un bono de tasa variable. Al inicio de un *swap*, el valor de un bono de tasa variable siempre es igual al monto del principal del *swap*. Se deduce que un *swaption* se considera una opción para intercambiar un bono de tasa fija por el monto del principal del *swap*.

Por consiguiente, un *swaption* es un tipo de opción sobre bono. Si un *swaption* otorga al tenedor el derecho a pagar a una tasa fija y recibir a una tasa variable, es una opción de venta sobre el bono de tasa fija con un precio de ejercicio igual al principal. Si un *swaption* otorga al tenedor el derecho a pagar a una tasa variable y recibir a una tasa fija, es una opción de compra sobre el bono de tasa fija con un precio de ejercicio igual al principal.

so de datos de la curva cero se realiza usando tasas con una composición continua. Entre los datos de ingreso están la fecha inicial y la fecha final del periodo cubierto por el *cap*, la volatilidad *flat* y la frecuencia de reajuste del *cap* (es decir, el *tenor*). El software calcula las fechas de pago retrocediendo desde el final hasta el inicio del periodo cubierto por el *cap*. Se asume que el *caplet*/*floorlet* inicial cubre un periodo de 0.5 a 1.5 veces un periodo regular. Por ejemplo, suponga que el periodo que abarca el *cap* es de 1.22 a 2.80 años y que la frecuencia de reajuste es trimestral. Hay seis *caplets* que abarcan los periodos de 2.55 a 2.80 años, de 2.30 a 2.55 años, de 2.05 a 2.30 años, de 1.80 a 2.05 años, de 1.55 a 1.80 años y de 1.22 a 1.55 años.

19.6 OPCIONES EUROPEAS SOBRE *SWAPS*

Las opciones sobre *swaps*, o *swapstions*, son opciones sobre *swaps* de tasas de interés y un tipo cada vez más popular de opciones sobre tasas de interés. Otorgan al tenedor el derecho, pero no la obligación, de participar en un *swap* de tasas de interés específico en determinada fecha futura. Las grandes instituciones financieras que ofrecen contratos de *swaps* de tasas de interés a sus clientes corporativos también están dispuestas frecuentemente a venderles o comprarles *swaptions*. Como se muestra en la Panorámica de negocios 19.2, un *swaption* puede considerarse como un tipo de opción sobre bono.

Para ejemplificar cómo se usaría un *swaption*, considere una empresa que sabe que en seis meses adquirirá un préstamo de tasa variable a cinco años y que deseará intercambiar los pagos de interés variable por pagos de interés fijo para convertir el préstamo en un préstamo de tasa fija. (Vea el capítulo 7 para un análisis de cómo se usan los *swaps* de esta manera). Por un costo determinado, la empresa podría participar en un *swaption* que le daría el derecho a recibir la tasa LIBOR a seis meses y pagar determinada tasa de interés fija (por ejemplo, 6% anual) durante un periodo de cinco años, iniciando en seis meses. Si la tasa fija sobre un *swap* regular a cinco años resulta ser menor de 6% anual en seis meses, la empresa decidirá no ejercer el *swaption* y participará en un contrato de *swap* en la forma usual. No obstante, si la tasa fija resulta ser mayor de 6% anual, la empresa decidirá ejercer el *swaption* y obtendrá un *swap* con términos más favorables que los disponibles en el mercado.

Al usarlos de la manera que acabamos de describir, los *swaptions* proporcionan protección contra incrementos de las tasas de interés a empresas que planean adquirir préstamos en el futuro. Los *swaptions* son una alternativa a los *swaps* a plazo (que a veces se denominan *deferred swaps* o *swaps diferidos*). Los *swaps* a plazo no requieren ningún costo por adelantado, pero tienen la desventaja de que obligan a la empresa a participar en un contrato de *swap*. Con un *swaption*, la empresa se beneficia con los cambios favorables en las tasas de interés al mismo tiempo que adquiere protección contra los cambios desfavorables en estas tasas. La diferencia entre un *swaption* y un *swap* a plazo es similar a la diferencia entre una opción sobre una divisa y un contrato a plazo sobre la divisa.

Valuación de *swaptions* europeos

Considere un *swaption* en el que tenemos derecho a pagar una tasa R_K y recibir la tasa LIBOR sobre un *swap* que durará n años, iniciando en T años. Supongamos que hay m pagos por año sobre el *swap* y que el principal es L.

Como se explicó en el capítulo 7, la *tasa swap* (*swap rate*) para determinado vencimiento en una fecha específica es la tasa fija que se intercambiaría por la tasa LIBOR en un *swap* recién emitido con ese vencimiento. Suponga que la *tasa swap* para un swap a n años que inicia en el tiempo T es R. (Tanto R como R_K se expresan con una frecuencia de composición de m veces por año). Al comparar los flujos de efectivo sobre un *swap* en el que la tasa fija es R con los flujos de efectivo sobre un *swap* en el que la tasa fija es R_K, vemos que el beneficio obtenido del *swaption* consiste en una serie de flujos de efectivo igual a

$$\frac{L}{m}\text{máx}(R - R_K,\ 0)$$

Los flujos de efectivo se reciben m veces por año durante los n años de la vida del *swap*. Suponga que las fechas de pago del *swap* son $t_1, t_2, \ldots, t_{mn}$, medidas en años a partir de hoy. (Es aproximadamente cierto que $t_i = T + i/m$). Cada flujo de efectivo es el beneficio obtenido de una opción de compra sobre R con un precio de ejercicio R_K.

En el modelo de mercado estándar para valuar *swaptions*, V se establece igual a R en la sección 19.3. Con base en la ecuación (19.3), el valor del flujo de efectivo recibido en el tiempo t_i es de

$$\frac{L}{m}e^{-r_i t_i}[F_0 N(d_1) - R_K N(d_2)]$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln(F_0/R_K) + \sigma^2 T/2}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(F_0/R_K) - \sigma^2 T/2}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Aquí, F_0 es la tasa *swap forward*, r_i es la tasa de interés cupón cero continuamente compuesta para un vencimiento de t_i y σ es la volatilidad de la tasa *swap forward*.

El valor total del *swaption* es de

$$\sum_{i=1}^{mn}\frac{L}{m}e^{-r_i t_i}[F_0 N(d_1) - R_K N(d_2)]$$

Si definimos A como el valor de un contrato que paga $1/m$ en los tiempos $t_i (1 \leqslant i \leqslant mn)$ de tal manera que

$$A = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{mn} e^{-r_i t_i}$$

Ejemplo 19.7 Valuación de una opción sobre *swap*

Suponga que la curva de rendimiento LIBOR es plana en 6% anual con una composición continua. Considere un *swaption* que proporciona al tenedor el derecho a pagar 6.2% en un swap a 3 años, en 5 años. La volatilidad de la tasa *swap forward* es de 20%. Los pagos se realizan semestralmente y el principal es de \$100. En este caso,

$$A = \tfrac{1}{2}\left(e^{-0.06\times 5.5} + e^{-0.06\times 6} + e^{-0.06\times 6.5} + e^{-0.06\times 7} + e^{-0.06\times 7.5} + e^{-0.06\times 8}\right) = 2.0035$$

Una tasa de 6% anual con una composición continua se convierte en 6.09% con una composición semestral. Se deduce que, en este ejemplo, $F_0 = 0.0609$, $R_K = 0.062$, $T = 5$ y $\sigma = 0.2$, de tal manera que

$$d_1 = \frac{\ln(0.0609/0.062) + 0.2^2 \times 5/2}{0.2\sqrt{5}} = 0.1836$$

$$d_2 = d_1 - 0.2\sqrt{5} = -0.2636$$

Con base en la ecuación (19.10), el valor del *swaption* es de

$$100 \times 2.0035[0.0609 \times N(0.1836) - 0.062 \times N(-0.2636)] = 2.07$$

o \$2.07. (Esto concuerda con el precio obtenido con el software DerivaGem).

el valor del *swaption* se convierte en[6]

$$LA[F_0 N(d_1) - R_K N(d_2)] \tag{19.10}$$

El ejemplo 19.7 proporciona una aplicación de esta fórmula.

Si el *swaption* otorga al tenedor el derecho a recibir una tasa fija de R_K en vez de pagarla, el beneficio obtenido del *swaption* es

$$\frac{L}{m}\,\text{máx}(R_K - R,\ 0)$$

Ésta es una opción de venta sobre R. Igual que antes, los beneficios se reciben en las fechas $t_i (1 \leqslant i \leqslant mn)$. La ecuación (19.4) proporciona el valor del *swaption* de la manera siguiente

$$LA[R_K N(-d_2) - F_0 N(-d_1)] \tag{19.11}$$

El software DerivaGem proporciona una implementación de las ecuaciones (19.10) y (19.11).

[6] Aquí, F_0 y R_K se miden con una frecuencia de composición correspondiente a la frecuencia de pagos sobre el *swap*. Por ejemplo, si los pagos se realizan dos veces al año, se miden con una composición semestral. La fórmula para obtener A está simplificada en cuanto a que asume que los pagos se realizan en intervalos exactos de $1/m$ años. Para ser más precisos, debemos definir la A de las ecuaciones (19.10) y (19.11) como

$$A = \sum_{i=1}^{mn} a_i P(0, t_i)$$

donde $P(0, t)$ es el precio de un bono cupón cero que vence en el tiempo t y a_i es el tiempo entre t_{i-1} y t_i, medido con la convención del cálculo de días especificada en el contrato ($t_0 = T$). Por ejemplo, si t_{i-1} es el 1 de marzo, t_i es el 1 de septiembre y el cálculo de días se especifica como real/365, entonces $a_i = 184/365 = 0.5041$.

Tabla 19.2 Cotizaciones típicas de intermediarios para opciones europeas sobre *swaps* en EUA (% anual de volatilidades en el mercado mediano)

	Duración del swap (años)						
Vencimiento	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*7*	*10*
1 mes	17.75	17.75	17.75	17.50	17.00	17.00	16.00
3 meses	19.50	19.00	19.00	18.00	17.50	17.00	16.00
6 meses	20.00	20.00	19.25	18.50	18.75	17.75	16.75
1 año	22.50	21.75	20.50	20.00	19.50	18.25	16.75
2 años	22.00	22.00	20.75	19.50	19.75	18.25	16.75
3 años	21.50	21.00	20.00	19.25	19.00	17.75	16.50
4 años	20.75	20.25	19.25	18.50	18.25	17.50	16.00
5 años	20.00	19.50	18.50	17.75	17.50	17.00	15.50

En la hoja de cálculo Cap_and_Swap_Options seleccione Swap Option como el Tipo subyacente y Black-European como el Modelo de valuación.

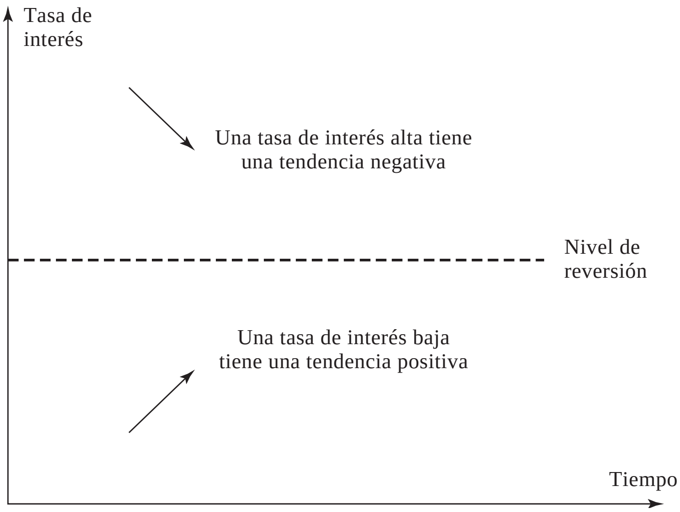
Los intermediarios proporcionan tablas de volatilidades implícitas para opciones europeas sobre *swaps*. Los instrumentos subyacentes a las cotizaciones están generalmente *at the money*. Esto significa que la tasa *swap strike* es igual a la tasa *swap forward*. La tabla 19.2 muestra las cotizaciones típicas de intermediarios para el mercado en dólares estadounidenses. El *tenor* de los *swaps* subyacentes (es decir, la frecuencia de reajustes de la tasa variable) es de seis meses. La vida de la opción se muestra en la escala vertical y varía de un mes a cinco años. La vida del *swap* subyacente al vencimiento de la opción se presenta en la escala horizontal y varía de uno a 10 años. Las volatilidades incluidas en la columna del extremo izquierdo de la tabla corresponden a instrumentos similares a *caps* y muestran la convexidad analizada anteriormente. A medida que avanzamos hacia las columnas correspondientes a las opciones sobre *swaps* de mayor duración, la convexidad persiste, pero se vuelve menos pronunciada.

19.7 MODELOS DE ESTRUCTURA TEMPORAL

El modelo de valuación de opciones europeas sobre bonos que hemos presentado asume que el precio de un bono en determinada fecha futura tiene una distribución logarítmica normal; el modelo de valuación de *caps* asume que una tasa de interés en cierta fecha futura tiene una distribución logarítmica normal; el modelo de valuación de opciones europeas sobre *swaps* asume que una tasa *swap* en alguna fecha futura tiene una distribución logarítmica normal. Estos supuestos no concuerdan entre sí. Esto dificulta que los negociantes comparen la manera en que el mercado valúa diferentes tipos de instrumentos.

Una desventaja relacionada de los modelos es que no se amplían con facilidad para valuar instrumentos distintos para los que fueron diseñados. Por ejemplo, el modelo de Black para valuar una opción europea sobre *swaps* no puede ampliarse fácilmente para valuar opciones americanas sobre *swaps*. Un método más complejo para valuar derivados de tasas de interés consiste en construir un *modelo de estructura temporal* (*term structure model*). Este modelo describe el comportamiento probabilístico de la estructura temporal de las tasas de interés. Los modelos de estructura temporal son más complejos que los que se usan para describir los cambios en el precio de una acción o divisa. Esto es así porque se relacionan con los desplazamientos de toda la curva de rendimiento cu-

Figura 19.3 Reversión a la media



pón cero y no con los cambios de una sola variable. Conforme el tiempo pasa, no todas las tasas de interés cambian necesariamente en el mismo monto, por lo que la forma de la curva de rendimiento puede llegar a variar.

La explicación de la forma como se construyen los modelos de estructura temporal está más allá del alcance de este libro. Sin embargo, es importante señalar una propiedad de una tasa de interés que la distingue del precio de una acción o de un tipo de cambio (o, de hecho, del precio de cualquier activo de inversión). Una tasa de interés a corto plazo (por ejemplo, la tasa a tres meses) muestra una propiedad conocida como *reversión a la media* (*mean reversion*), que es una tendencia a regresar a cierto nivel promedio a largo plazo. Cuando la tasa de interés a corto plazo es muy alta, tiende a bajar; cuando es muy baja, tiende a subir. Por ejemplo, si la tasa de interés a tres meses llega a 15% en EUA, es probable que el siguiente cambio sea una disminución más que un aumento; si llega a 1%, es probable que el siguiente cambio sea un aumento más que una disminución. Esto se ilustra en la figura 19.3.

Si el precio de una acción mostrara reversión a la media, habría una evidente estrategia de negociación: comprar la acción cuando su precio está en un nivel histórico bajo; vender la acción cuando su precio está en un nivel histórico alto. Las tasas de interés a tres meses con reversión a la media no proporcionan una estrategia de negociación similar. Esto se debe a que una tasa de interés no es el precio de un título que pueda negociarse. No existe un instrumento negociado cuyo precio sea siempre igual a la tasa a tres meses.

RESUMEN

Las opciones sobre tasas de interés surgen en la práctica en formas muy diversas. Por ejemplo, las opciones de futuros sobre bonos del Tesoro, de futuros sobre notas del Tesoro y de futuros sobre eurodólares se negocian activamente en bolsas. Muchos bonos negociados incluyen cláusulas que son opciones. Los préstamos y los instrumentos de depósito que ofrecen las instituciones financieras contienen frecuentemente opciones intercaladas.

Tres instrumentos populares *over the counter* son las opciones sobre bonos, los *caps* y *floors* de tasas de interés y las opciones sobre *swaps*. Una opción sobre bono es una opción para comprar o vender un bono específico. Un *cap* sobre tasa de interés (*floor*) proporciona un pago cuando una tasa de interés variable excede a (disminuye por debajo de) la tasa *strike*. Una opción sobre *swap* es una opción para participar en un swap en el que una tasa variable se intercambia por una tasa fija específica en determinada fecha futura. El modelo de Black es el que usa el mercado para valuar estos instrumentos. En el caso de las opciones sobre bonos, se asume que la distribución de probabilidades del bono subyacente es logarítmica normal. En el caso de los *caps* y *floors*, se asume que las tasas de interés subyacentes tienen una distribución logarítmica normal. En el caso de las opciones sobre *swaps*, se asume que la tasa *swap* subyacente tiene una distribución logarítmica normal.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Black, F. "The Pricing of Commodity Contracts", *Journal of Financial Economics*, 3 (1976), pp. 167-79.

Black, F., E. Derman y W. Toy. "A One-Factor Model of Interest Rates and Its Application to Treasury Bond Options" Financial Analysts Journal, (enero/febrero de 1990), pp. 33-39.

Black, F. y P. Karasinski. "Bond and Option Pricing When Short Rates Are Lognormal", *Financial Analysts Journal*, (julio/agosto de 1991), pp. 52-59.

Brace A., D. Gatarek y M. Musiela. "The Market Model of Interest Rate Dynamics", *Mathematical Finance*, 7, 2 (1997), pp. 127-55.

Cox, J.C., J.E. Ingersoll y S.A. Ross. "A Theory of the Term Structure of Interest Rates", *Econometrica*, 53 (1985), pp. 385-407.

Heath, D., R. Jarrow y A. Morton. "Bond Pricing and the Term Structure of Interest Rates: A New Methodology", *Econometrica*, 60 (1992), pp. 77-105.

Ho, T.S.Y. y S.B. Lee. "Term Structure Movements and Pricing Interest Rate Contingent Claims", *Journal of Finance*, 41 (diciembre de 1986), pp. 1011-29.

Hull, J.C. *Options, Futures, and Other Derivatives*. 6a. ed. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall, 2006.

Hull, J.C. y A. White. "Pricing Interest Rate Derivative Securities", *Review of Financial Studies*, 3, 4 (1990), pp. 573-92.

Hull, J.C. y A. White. "Using Hull-White Interest Rate Trees", *Journal of Derivatives*, (primavera de 1996), pp. 26-36.

James, J. y N. Webber. *Interest Rate Modeling*. Chichester, UK, Wiley, 2000.

Jamshidian, F. "LIBOR and Swap Market Models and Measures", *Finance and Stochastics*, 1 (1997), pp. 293-330.

Miltersen, K., K. Sandmann y D. Sondermann, "Closed Form Solutions for Term Structure Derivatives with Lognormal Interest Rates", *Journal of Finance*, 52, 1 (marzo de 1997), pp. 409-30.

Rebonato, R. *Interest Rate Option Models.* 2a. ed. Nueva York: Wiley, 1998.

Vasicek, O.A. "An Equilibrium Characterization of the Term Structure", *Journal of Financial Economics*, 5(1977), pp. 177-88.

Examen (respuestas al final del libro)

19.1. Una empresa establece un límite máximo a la tasa LIBOR a tres meses en 10% anual. El monto del principal es de $20 millones. En una fecha de reajuste, la tasa LIBOR a tres meses es de 12% anual. ¿Qué pago proporcionaría este límite máximo? ¿Cuándo se realizaría el pago?

19.2. Explique las cláusulas de: a) los bonos rescatables y b) los bonos con opción de venta.

19.3. Explique por qué un *swaption* se considera un tipo de opción sobre bono.

19.4. Use el modelo de Black para valuar una opción de venta europea a 1 año sobre un bono a 10 años. Asuma que el valor actual del bono es de $125, el precio de ejercicio es de $110, la tasa de interés a 1 año es de 10% anual, la volatilidad del precio a plazo del bono es de 8% anual y el valor presente de los cupones que se pagarán durante la vida de la opción es de $10.

19.5. Suponga que usted adquiere una opción de compra de futuros sobre eurodólares con un precio de ejercicio de $97.25 y ejerce la opción cuando el precio del contrato de futuros sobre eurodólares subyacente es de $98.12. ¿Cuál es el beneficio?

19.6. Calcule el precio de una opción que establece el límite máximo de la tasa a 3 meses, iniciando en 18 meses, en 13% (cotizada con una composición trimestral) sobre un principal con un monto de $1,000. La tasa de interés a plazo para el periodo en cuestión es de 12% anual (cotizada con una composición trimestral), la tasa de interés libre de riesgo a 21 meses (con una composición continua) es de 11.5% anual y la volatilidad de la tasa forward es de 12% anual.

19.7. ¿Cuáles son las ventajas de los modelos de estructura temporal sobre el modelo de Black para valuar derivados de tasas de interés?

Preguntas y problemas

19.8. Un banco usa el modelo de Black para valuar opciones europeas sobre bonos. Suponga que una volatilidad de precio implícita para una opción a 5 años sobre un bono que vence en 10 años se usa para valuar una opción a 9 años sobre el bono. ¿Esperaría que el precio resultante fuera demasiado alto o bajo? Explique su respuesta.

19.9. Considere una opción de compra europea a 4 años sobre un bono que vencerá en 5 años. El precio del bono a 5 años es de $105, el precio de un bono a 4 años con el mismo cupón que el bono a 5 años es de $102, el precio de ejercicio de la opción es de $100, la tasa de interés libre de riesgo a 4 años es de 10% anual (con una composición continua) y la volatilidad del precio a plazo del bono subyacente a la opción es de 2% anual. ¿Cuál es el valor presente del principal del bono a 4 años? ¿Cuál es el valor presente de los cupones del bono a 4 años? ¿Cuál es el precio a plazo del bono subyacente a la opción? ¿Cuál es el valor de la opción?

19.10. Si la volatilidad de rendimientos para una opción de venta a 5 años sobre un bono que vence en 10 años se especifica en 22%, ¿cómo debe valuarse en la opción? Asuma que, con base en las tasas de interés vigentes, la duración modificada del bono al vencimiento de la opción será de 4.2 años y que el rendimiento a plazo sobre el bono es de 7%.

19.11. Una corporación sabe que en tres meses tendrá $5 millones para invertirlos durante 90 días a la tasa LIBOR menos 50 puntos base y desea asegurarse de que la tasa obtenida sea por lo menos de 6.5%. ¿Que posición en opciones sobre tasas de interés cotizadas en bolsa debe tomar la corporación?

19.12. Explique con detalle como usaría: a) volatilidades *spot* y b) volatilidades *flat* para valuar un *cap* a 5 años.

19.13. ¿Qué otro instrumento es igual a un *collar* de costo cero a 5 años en el que el precio de ejercicio del *cap* iguala al precio de ejercicio del *floor*? ¿A qué es igual el precio de ejercicio común?

19.14. Suponga que las tasas cero a 1, 2, 3, 4 y 5 años son de 6, 6.4, 6.7, 6.9 y 7%. El precio de un *cap* semestral a cinco años, con un principal de $100, a una tasa máxima de 8% es de $3. Use el software DerivaGem para determinar:

a. La volatilidad *flat* a 5 años para *caps* y *floors.*

b. La tasa mínima en un *collar* de costo cero a 5 años cuando la tasa máxima es de 8%.

19.15. Demuestre que $V_1 + f = V_2$, donde V_1 es el valor de una opción sobre *swap* para pagar una tasa fija de R_K y recibir la tasa LIBOR entre las fechas T_1 y T_2, f es el valor de un *swap* a plazo para recibir una tasa fija de R_K y pagar la tasa LIBOR entre las fechas T_1 y T_2 y V_2 es el valor de una opción sobre *swap* para recibir una tasa fija de R_K entre las fechas T_1 y T_2. Concluya que $V_1 = V_2$ cuando R_K es igual a la tasa *swap forward* vigente.

19.16. Explique por qué hay una oportunidad de arbitraje si la volatilidad (*flat*) implícita de Black para un *cap* es diferente de la de un *floor*. ¿Representan una oportunidad de arbitraje las cotizaciones de intermediarios mostradas en la tabla 19.1?

19.17. Suponga que las tasas cero son iguales a las presentadas en el problema 19.14. Use el software DerivaGem para determinar el valor de una opción que pagará una tasa fija de 6% y recibirá la tasa LIBOR sobre un *swap* a cinco años, iniciando en un año. Asuma que el principal es de $100 millones, los pagos se intercambian semestralmente y la volatilidad de la tasa *swap* es de 21%.

Preguntas de tarea

19.18. Suponga que la curva de rendimiento LIBOR es plana y de 8% con una composición anual. Un *swaption* otorga al tenedor el derecho a recibir 7.6% en un *swap* a 5 años que inicia en 4 años. Los pagos se realizan anualmente. La volatilidad de la tasa *swap forward* es de 25% anual y el principal es de $1 millón. Use el modelo de Black para valuar el *swaption*.

19.19. Considere una opción de venta europea a ocho meses sobre un bono del Tesoro que tiene actualmente 14.25 años al vencimiento. El principal del bono es de $1,000. El precio actual del bono en efectivo es de $910, el precio de ejercicio es de $900 y la volatilidad del precio a plazo del bono es de 10% anual. Un cupón de $35 se pagará por el bono en tres meses. La tasa de interés libre de riesgo es de 8% para todos los vencimientos hasta un año. Use el modelo de Black para determinar el precio de la opción. Considere tanto el caso en el que precio de ejercicio corresponde al precio en efectivo del bono como el caso en el que corresponde al precio cotizado.

19.20. Use el software DerivaGem para valuar un *collar* a cinco años que garantice que las tasas de interés máxima y mínima sobre un préstamo basado en la tasa LIBOR (con ajustes trimestrales) será de 5% y 7%, respectivamente. La curva cero LIBOR (con una composición continua) es actualmente plana y de 6%. Use una volatilidad *flat* de 20%. Asuma que el principal es de $100.

19.21. Suponga que la curva de rendimiento LIBOR es plana y de 8% con una composición anual. Un *swaption* otorga al tenedor el derecho a recibir 7.6% en un *swap* a 5 años que inicia en 4 años. Los pagos se realizan anualmente. La volatilidad de la tasa *swap forward* es de 25% anual y el principal es de $1 millón. Use el modelo de Black para valuar el *swaption*. Compare su respuesta con la que proporciona el software DerivaGem.

19.22. Calcule el precio de un *cap* sobre la tasa LIBOR a tres meses en un tiempo de 9 meses para un principal con un monto de $1,000. Use el modelo de Black y la siguiente información:

Precio cotizado de futuros sobre eurodólares a 9 meses = $ 92

Volatilidad de la tasa de interés implícita por una opción sobre eurodólares a 9 meses = 15% anual

Tasa de interés vigente a 12 meses con una composición continua = 7.5% anual

Tasa máxima = 8% anual

19.23. Use el software DerivaGem para valuar una opción europea sobre un *swap* que le otorga el derecho a participar dentro de 2 años en un *swap* a 5 años en el que usted paga una tasa fija de 6% y recibe una tasa variable. Los flujos de efectivo sobre el *swap* se intercambian semestralmente. Las tasas de interés cupón cero a 1, 2, 5 y 10 años (con una composición continua) son de 5, 6, 6.5 y 7%, respectivamente. Asuma un principal de $100 y una volatilidad de 15% anual. Dé un ejemplo de cómo una corporación podría usar la opción sobre un *swap*. ¿Qué opción sobre un bono es equivalente a la opción sobre un *swap*?

20 CAPÍTULO

Opciones exóticas y otros productos no estándar

Los derivados que hemos abordado en los primeros 19 capítulos de este libro son lo que se conoce como *productos plain vanilla*. Tienen propiedades estándar bien definidas y se negocian activamente. Sus precios o volatilidades implícitas se cotizan de manera regular en bolsas de valores o por corredores. Una de las características estimulantes del mercado de derivados *over the counter* es el número de productos no estándar (o exóticos) que ha creado la ingeniería financiera. Aunque suelen formar una parte relativamente pequeña de su cartera, esos productos exóticos son importantes para un agente de derivados, como un banco de inversión, pues en general son mucho más rentables que los productos *plain vanilla*.

Los productos exóticos se desarrollan por diversas razones. A veces satisfacen una genuina necesidad de cobertura en el mercado; en ocasiones hay razones fiscales, contables, legales o reguladoras, por las que los tesoreros corporativos o los administradores de fondos los encuentran atractivos; incluso, pueden estar diseñados para reflejar el punto de vista de un tesorero corporativo o administrador de fondos sobre los posibles cambios futuros en variables de mercado específicas; ocasionalmente, un banco de inversión diseña un producto exótico para que parezca más atractivo de lo que es a un tesorero corporativo o administrador de fondos desprevenido.

Comenzamos analizando las variaciones de las opciones de compra y venta estándar que hemos abordado en los capítulos 8 a 18. Luego examinamos los títulos respaldados por hipotecas, que se han convertido en un elemento importante del mercado de derivados sobre tasas de interés de Estados Unidos de América. Por último, describimos algunos productos *swap* no estándar. El objetivo de este capítulo es dar una idea de la gama de instrumentos que se han desarrollado, por lo que cubre sólo un pequeño grupo de los productos que se negocian.

20.1 OPCIONES EXÓTICAS

En esta sección describimos diferentes tipos de opciones exóticas que se ofrecen sobre activos subyacentes como acciones, índices bursátiles y divisas. Usamos una clasificación similar a la que se presenta en una excelente serie de artículos que escribieron Eric Reiner y Mark Rubinstein para la revista *RISK* en 1991 y 1992. Las opciones asiáticas, con barrera, binarias, *chooser*, compuestas y retroactivas pueden valuarse con el software DerivaGem.[1]

[1] Los procedimientos que usa el mercado para valuar todas las opciones descritas en esta sección se abordan en J.C. Hull, *Options, Futures, and Other Derivatives*, 6ª. ed. (Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2006), cap. 22.

Paquetes

Un *paquete* es una cartera integrada por opciones de compra europeas estándar, opciones de venta europeas estándar, contratos a plazo, efectivo y el activo subyacente mismo. Analizamos diversos tipos de paquetes en el capítulo 10: *bull spreads*, *bear spreads*, *butterfly spreads*, *calendar spreads*), *straddles*, *strangles*, etcétera.

Con frecuencia, la ingenieria financiera estructura un paquete de modo que tenga un costo inicial de cero. Un ejemplo es un *contrato range forward*, que se analizó en el capítulo 13 y consiste en una posición larga en una opción de compra y una posición corta en una opción de venta, o una posición corta en una opción de compra y una posición larga en una opción de venta. El precio de ejercicio de la opción de compra es mayor que el precio de ejercicio de la opción de venta.

Opciones americanas no estándar

En una opción americana estándar, el ejercicio puede ocurrir en cualquier momento durante la vida de la opción y el precio de ejercicio siempre es el mismo. Las opciones americanas que se negocian en el mercado *over the counter* no siempre tienen estas características. Por ejemplo:

1. El ejercicio anticipado puede limitarse a ciertas fechas. En este caso, el instrumento se conoce como *opción bermuda*, ¡ya que Bermuda se encuentra entre Europa y América!
2. El ejercicio anticipado se permite únicamente durante parte de la vida de la opción.
3. El precio de ejercicio puede cambiar durante la vida de la opción.

Los *warrants* que emiten las corporaciones sobre su propia acción tienen con frecuencia algunas de estas características. Por ejemplo, en un *warrant* a siete años, el ejercicio podría realizarse en fechas específicas durante los años 3 a 7; con el precio de ejercicio de $30 durante los años 3 y 4; de $32 durante los dos años siguientes, y de $33 durante el último año.

Por lo común, las opciones americanas no estándar pueden valuarse utilizando un árbol binomial. En cada nodo, la prueba (si la hay) para el ejercicio anticipado se ajusta de tal modo que refleje los términos de la opción.

Opciones *forward start*

Las opciones *forward start* son aquellas que iniciarán en algún momento en el futuro. Las opciones sobre acciones para directivos, que se analizaron en las Panorámicas de negocios 8.3 y 12.3, así como en las secciones 8.11 y 12.10, se consideran como un tipo de opción *forward start*. En un plan típico de opciones sobre acciones, una empresa promete que otorgará opciones *at the money* a sus directivos en ciertas fechas en el futuro.

Cuando el activo subyacente no proporciona ingresos, una opción *forward start at the money* tiene el mismo valor (usando los supuestos subyacentes al modelo de Black-Scholes) que una opción regular *at the money* con la misma vida. Por ejemplo, una opción *at the money* que comenzará en tres años y vencerá en cinco, vale lo mismo que una opción *at the money* a dos años que inicia hoy (vea el problema 20.13).

Opciones compuestas

Las opciones compuestas son opciones sobre opciones. Hay cuatro tipos principales de opciones compuestas: una opción de compra sobre una opción de compra; una opción de venta sobre una opción de compra; una opción de compra sobre una opción de venta, y una opción de venta sobre una opción de venta. Las opciones compuestas tienen dos precios de ejercicio y dos fechas de ejercicio. Por ejemplo, considere una opción de compra sobre una opción de compra. En la primera fecha de ejercicio, T_1, el tenedor de la opción compuesta tiene derecho a pagar el primer precio de ejercicio,

K_1, y recibir una opción de compra. La opción de compra otorga al tenedor el derecho a comprar el activo subyacente al segundo precio de ejercicio, K_2, en la segunda fecha de ejercicio, T_2. La opción compuesta se ejercerá en la primera fecha de ejercicio únicamente si el valor de la segunda opción en esa fecha es mayor que el primer precio de ejercicio. Por lo general, una opción compuesta es mucho más sensible a la volatilidad que una opción *plain vanilla*.

Opciones *chooser*

Una opción *chooser* (denominada a veces opción *as you like it* u opción a la medida) tiene la característica de que, después de un periodo específico, el tenedor puede decidir si la opción es una opción de compra o de venta. Suponga que cuando se toma la decisión es el tiempo T_1. El valor de la opción *chooser* en este momento es

$$\text{máx}(c, p)$$

donde c es el valor de la opción de compra subyacente a la opción y p es el valor de la opción de venta subyacente a la opción.

Si ambas opciones subyacentes a la opción *chooser* son europeas y tienen el mismo precio de ejercicio, es posible usar la paridad *put call* para obtener una fórmula de valuación. Suponga que S_1 es el precio del activo subyacente en el tiempo T_1, K es el precio de ejercicio, T_2 es el vencimiento de las opciones, r es la tasa de interés libre de riesgo y q es el rendimiento de dividendos sobre el activo. La paridad *put call* implica que

$$\begin{aligned}\text{máx}(c, p) &= \text{máx}(c,\ c + Ke^{-r(T_2-T_1)} - S_1e^{-q(T_2-T_1)})\\ &= c + e^{-q(T_2-T_1)}\,\text{máx}(0,\ Ke^{-(r-q)(T_2-T_1)} - S_1)\end{aligned}$$

Esto muestra que la opción *chooser* es un paquete que consiste en:

1. Una opción de compra con un precio de ejercicio K y un vencimiento T_2
2. Opciones de venta $e^{-q(T_2-T_1)}$ con un precio de ejercicio $Ke^{-(r-q)(T_2-T_1)}$ y un vencimiento T_1

De manera que puede valuarse fácilmente.

Opciones con barrera

Las opciones con barrera son aquellas cuyo pago depende de que el precio del activo subyacente alcance cierto nivel durante determinado periodo. En el mercado *over the counter* se negocian de manera regular diversos tipos de opciones con barrera. A algunos participantes del mercado les atraen porque son menos costosas que las opciones regulares correspondientes. Las opciones con barrera se clasifican como *opciones knock out* u *opciones knock in*. Una opción *knock out* deja de existir cuando el precio del activo subyacente alcanza cierto nivel; una opción *knock in* comienza a existir sólo cuando el precio del activo subyacente alcanza cierto nivel.

Hay cuatro tipos de opciones *knock out*. Una *opción de compra up and out* es una opción de compra europea regular que deja de existir tan pronto como el precio del activo alcanza un nivel de barrera. El nivel de barrera es mayor que el precio del activo cuando inicia la opción. Una *opción de compra down and out* se define de la misma manera, sólo que el nivel de barrera está por debajo del precio del activo cuando inicia la opción. Una *opción de venta up and out* y una *opción de venta down and out* se definen de la misma forma.

De igual modo, hay cuatro tipos de opciones *knock in*. Una *opción de compra up and in* es una opción de compra europea regular que comienza a existir tan pronto como el precio del activo alcanza un nivel de barrera. El nivel de barrera es mayor que el precio del activo cuando inicia la opción. Una *opción de compra down and in* es semejante, excepto que el nivel de barrera está por debajo del precio del activo cuando inicia la opción. Una *opción de venta up and in* y una *opción de venta down and in* se definen de la misma forma. Hay relaciones entre los precios de las opciones con barrera y las opciones regulares. Por ejemplo, el precio de una opción de compra *down and out* más el precio de una opción de compra *down and in*, debe ser igual al precio de una opción europea regular (cuando los precios de ejercicio, tiempos al vencimiento y niveles de barrera son iguales). De la misma manera, el precio de una opción de venta *down and out* más el precio de una opción de venta *down and in*, debe ser igual al precio de una opción europea regular.

Las opciones con barrera suelen tener propiedades muy diferentes de las opciones regulares; por ejemplo, en ocasiones la vega es negativa. Considere una opción de compra *up and out* en la que el precio del activo se aproxima al nivel de barrera. A medida que aumenta la volatilidad, también aumenta la probabilidad de que se alcance la barrera. En consecuencia, un aumento de la volatilidad ocasiona una disminución de precio.

Para determinar si se alcanza una barrera, el precio se observa de manera más o menos continua.[2] En otras ocasiones, los términos del contrato establecen que el precio se observe periódicamente (por ejemplo, una vez al día al mediodía).

Opciones binarias

Las opciones binarias son aquellas que tienen pagos discontinuos. Un ejemplo sencillo de una opción binaria es una *opción de compra cash or nothing*. Esta opción no paga nada si el precio del activo termina por debajo del precio de ejercicio en el tiempo T y paga un monto fijo, Q, si excede al precio de ejercicio. En un mundo neutral al riesgo, la probabilidad de que el precio del activo exceda al precio de ejercicio al vencimiento de una opción es, con nuestra notación usual, $N(d_2)$. Por lo tanto, el valor de una opción de compra *cash or nothing* es $Qe^{-rT}N(d_2)$. Una *opción de venta cash or nothing* se define igual que una opción de compra *cash or nothing*; es decir, paga Q si el precio del activo está por debajo del precio de ejercicio, y no paga nada si excede al precio de ejercicio. El valor de una opción de venta *cash or nothing* es $Qe^{-rT}N(d_2)$.

Otro tipo de opción binaria es una *opción de compra asset or nothing*. Esta opción no paga nada si el precio del activo subyacente termina por debajo del precio de ejercicio y paga el precio del activo si excede al precio de ejercicio. Con nuestra notación usual, el valor de una opción de compra *asset or nothing* es $S_0e^{-qT}N(d_1)$. Una *opción de venta asset or nothing* no paga nada si el precio del activo subyacente excede al precio de ejercicio, y paga el precio del activo si termina por debajo del precio de ejercicio. El valor de una opción de venta *asset or nothing* es $S_0e^{-qT}N(d_1)$.

Una opción de compra europea regular equivale a una posición larga en una opción de compra *asset or nothing* y una oposición corta en una opción de compra *cash or nothing* donde el pago en efectivo sobre la opción de compra *cash or nothing* es igual al precio de ejercicio. Del mismo modo, una opción de venta europea regular equivale a una posición larga en una opción de venta *cash or nothing* y una posición corta en una opción de venta *asset or nothing*, donde el pago en efectivo sobre la opción de venta *cash or nothing* es igual al precio de ejercicio.

Opciones *lookback*

Los pagos de opciones *lookback* (retroactivas) dependen del precio máximo o mínimo que el activo alcanza durante la vida de la opción. El pago de una opción de compra *lookback* es el monto en

[2] Una manera de saber si se alcanzó una barrera desde abajo (o desde arriba) es enviar una orden limitada a una bolsa para vender (o comprar) al precio de barrera y ver si la orden se ejecuta.

que el precio final del activo excede al precio mínimo del activo logrado durante la vida de la opción. El pago de una opción de venta *lookback* es el monto en que el precio máximo del activo logrado durante la vida de la opción excede al precio final del activo.

Una opción de compra *lookback* es una forma en la que el tenedor puede comprar el activo subyacente al precio más bajo logrado durante la vida de la opción. Del mismo modo, una opción de venta *lookback* es una forma en la que el tenedor puede vender el activo subyacente al precio más alto logrado durante la vida de la opción. El activo subyacente en una opción *lookback* suele ser un *commodity*. La frecuencia con que se observa el precio del activo con el propósito de calcular el precio máximo o mínimo es importante, por lo que debe especificarse en el contrato.

Opciones *shout*

Una *opción shout* es una opción europea en la que el tenedor puede "llamar" al suscriptor en algún momento de la vida de la opción. Al término de la vida de la opción, el tenedor de la opción recibe el pago usual de una opción europea o el valor intrínseco al momento de la llamada, cualquiera que sea el monto mayor. Suponga que el precio de ejercicio es de \$50 y que el tenedor de una opción de compra vocea al suscriptor cuando el precio del activo subyacente es de \$60. Si el precio final del activo es menor de \$60 , el tenedor recibe un pago de \$10. Si es mayor de \$60, el tenedor recibe el monto excedente del precio final del activo sobre \$50.

Una *opción shout* tiene algunas de las características de una opción retroactiva, pero es mucho menos costosa. Se valúa señalando que, si la opción se vocea en el tiempo τ cuando el precio del activo es S_τ, el pago de la opción es

$$\text{máx}(0, S_T - S_\tau) + (S_\tau - K)$$

donde, como siempre, K es el precio de ejercicio y S_T es el precio del activo en el tiempo T. Por consiguiente, si la opción se vocea, el valor en el tiempo t es el valor presente de $S_\tau - K$ (recibido en el tiempo T) más el valor de una opción europea con un precio de ejercicio S_τ. Esto permite usar un árbol binomial para valuar la opción.

Opciones asiáticas

Las opciones asiáticas son aquellas en las que el pago depende del precio promedio del activo subyacente, por lo menos durante cierta parte de la vida de la opción. El pago de una *opción de compra de precio promedio* es $\text{máx}(0, S_{\text{prom}} - K)$, y el de una *opción de venta de precio promedio* es $\text{máx}(0, K - S_{\text{prom}})$, donde S_{prom} es el valor promedio del activo subyacente calculado durante un periodo de premediación predeterminado. Las opciones de precio promedio son menos costosas que las opciones regulares, y posiblemente más adecuadas que las opciones regulares para satisfacer algunas necesidades de los tesoreros corporativos. Suponga que un tesorero corporativo estadounidense espera recibir, de una subsidiaria australiana de la empresa, un flujo de efectivo de 100 millones de dólares australianos distribuidos de manera regular durante el próximo año. El tesorero puede estar interesado en una opción que garantice que el tipo de cambio promedio realizado durante el año exceda cierto nivel. Una opción de venta de precio promedio logra esto de manera más eficaz que las opciones de venta regulares. Al final del capítulo 16 analizamos la manera de usar árboles binomiales junto con la simulación Monte Carlo para valuar opciones asiáticas.

Otro tipo de opción asiática es una opción con precio de ejercicio promedio. Una *opción de compra con precio de ejercicio promedio* paga $\text{máx}(0, S_T - S_{\text{prom}})$, y una *opción de venta con precio de ejercicio promedio* paga $\text{máx}(0, S_{\text{prom}} - S_T)$. Las opciones con precio de ejercicio promedio garantizan que el precio promedio pagado por un activo en negociaciones frecuentes durante cierto periodo no sea mayor que el precio final. Por otro lado, también garantiza que el precio promedio recibido por un activo en negociaciones frecuentes durante cierto periodo no sea menor que el precio final.

Opciones que intercambian un activo por otro

Las opciones que intercambian un activo por otro (en ocasiones denominadas *exchange options* u *opciones de intercambio*) surgen en diversos contextos. Una opción para comprar yenes con dólares australianos es, desde el punto de vista de un inversionista estadounidense, una opción para intercambiar un activo en una divisa por un activo en otra divisa. Una oferta pública de adquisición de acciones es una opción para intercambiar unidades de una acción por unidades de otra.

Una opción para obtener el mejor o el peor de dos activos es muy parecida a una opción de intercambio, ya que es una posición en uno de los activos combinada con una opción para intercambiarlo por el otro activo:

$$\text{mín}(U_T,\ V_T) = V_T - \text{máx}(V_T - U_T,\ 0)$$
$$\text{máx}(U_T,\ V_T) = U_T + \text{máx}(V_T - U_T,\ 0)$$

Opciones que incluyen varios activos

Las opciones que incluyen dos o más activos riesgosos se conocen como *rainbow options (opciones arco iris)*. Un ejemplo es el contrato de futuros sobre bonos que se negocia en la CBOT, descrito en el capítulo 6. La parte con la posición corta tiene derecho a elegir entre diversos bonos al realizar la entrega.

Probablemente, el ejemplo más común de una opción que incluye varios activos es una *basket option* (*opción de canasta)*. Ésta es una opción en la que el pago depende del valor de una cartera (o canasta) de activos. Generalmente, los activos son acciones individuales, índices bursátiles o divisas. Los precios de las *basket option* dependen tanto de las volatilidades de los precios de los activos como de las correlaciones entre ellas. Estas últimas se calculan usualmente a partir de datos históricos.

20.2 TÍTULOS RESPALDADOS POR HIPOTECAS

Una característica del mercado estadounidense de derivados de tasas de interés es la negociación activa de *títulos respaldados por hipotecas*. Un título respaldado por hipotecas (MBS, por sus siglas en inglés) se crea cuando una institución financiera decide vender parte de su cartera de hipotecas residenciales a inversionistas. Las hipotecas se colocan en un fondo y los inversionistas adquieren una participación en el fondo por medio de la compra de unidades. Las unidades se conocen como títulos respaldados por hipotecas. Generalmente se crea un mercado secundario para las unidades, de tal modo que los inversionistas puedan venderlas a otros inversionistas según lo deseen. Un inversionista que posee *X* porcentaje de unidades de un determinado fondo tiene derecho a *X* porcentaje del principal y de los flujos de efectivo de intereses recibidos de las hipotecas que están incluidas en el fondo.

En general, las hipotecas que integran un fondo están garantizadas por una agencia gubernamental, como la Asociación Gubernamental de Hipotecas Nacionales (GNMA, por sus siglas en inglés) o la Asociación Federal de Hipotecas Nacionales (FNMA, por sus siglas en inglés) estadounidenses, de tal manera que los inversionistas estén protegidos contra incumplimientos. Esto hace que un MBS parezca un título de renta fija regular emitido por el gobierno. Sin embargo, hay una diferencia importante entre un MBS y una inversión de renta fija regular. Las hipotecas incluidas en un fondo MBS tienen privilegios de prepago que pueden ser muy valiosos para el propietario de la casa. En Estados Unidos de América, las hipotecas duran comúnmente 25 años y pueden pagarse de manera anticipada en cualquier momento. Esto significa que el propietario de la casa tiene una opción americana a 25 años para devolver la hipoteca al prestamista a su valor nominal.

En la práctica, los pagos anticipados de hipotecas ocurren por diversas razones. A veces, las tasas de interés bajan y el propietario de la casa decide refinanciar a una tasa de interés menor. En otras ocasiones, una hipoteca se paga en forma anticipada simplemente porque la casa se vendió. Un elemento decisivo para valuar un MBS es la determinación de la *función de prepago*. Esta función describe los prepagos que se esperan del fondo de hipotecas subyacente en una fecha específica, en términos de tasas de interés y de otras variables importantes.

Una función de prepago es poco confiable para predecir la experiencia de prepago real de una hipoteca individual. Cuando muchos préstamos hipotecarios similares se combinan en el mismo fondo, opera la "ley de los números grandes" y los prepagos pueden pronosticarse de manera más exacta con base en un análisis de datos históricos. Como ya se mencionó, los prepagos no siempre están motivados meramente por aspectos relacionados con las tasas de interés. Aun así, los prepagos son más probables cuando las tasas de interés son bajas que cuando son altas. Esto significa que los inversionistas deben requerir una tasa de interés más alta sobre un MBS que sobre otros títulos de renta fija porque existe una tendencia a que el efectivo recibido de prepagos se reinvierta a tasas bajas.

Obligación garantizada con hipoteca

Los MBSs descritos hasta ahora se denominan en ocasiones *pass throughs* o certificados de participación hipotecaria. Todos los inversionistas reciben el mismo rendimiento y asumen el mismo riesgo de prepago. No todos los títulos respaldados por hipotecas funcionan de este modo. En una *obligación garantizada con hipoteca* (CMO, por sus siglas en inglés), los inversionistas se dividen en varias clases y se establecen reglas para determinar cómo deben canalizarse los reembolsos del principal a las diferentes clases.

Como ejemplo de una CMO, considere un MBS en el que los inversionistas se dividen en tres clases: clase A, clase B y clase C. Todos los reembolsos del principal (tanto los programados como los prepagos) se canalizan a los inversionistas clase A hasta reembolsar por completo a los inversionistas de esta clase. Entonces, los reembolsos del principal se canalizan a los inversionistas clase B hasta reembolsar por completo a estos inversionistas. Por último, los reembolsos del principal se canalizan a los inversionistas clase C. En este caso, los inversionistas clase A asumen el mayor riesgo de prepago. Se espera que los títulos de clase A duren menos que los títulos de clase B, que a su vez deben durar menos que los títulos de clase C.

El objetivo de este tipo de estructura es crear clases de títulos que sean más atractivas para los inversionistas institucionales que las que crea el MBS pass through, que es más sencillo. Los riesgos de prepago que asumen las diferentes clases dependen del valor nominal en cada clase. Por ejemplo, la clase C asume muy poco riesgo de prepago si los valores nominales en las clases A, B y C son 400, 300 y 100, respectivamente, y asume más riesgo de prepago si los valores nominales en estas clases son 100, 200 y 500.

IOs y POs

En un *MBS stripped (segregado)*, los pagos del principal se separan de los pagos de intereses. Todos los pagos del principal se canalizan a una clase de título, conocido como *principal only* (PO) o sólo principal. Todos los pagos de intereses se canalizan a otra clase de título, denominado *interest only* (IO) o sólo interés. Tanto los IOs como los POs son inversiones riesgosas. A medida que aumentan las tasas de prepago, aumenta el valor de un PO y disminuye el valor de un IO. A medida que disminuyen las tasas de prepago, ocurre lo contrario. En un PO se devuelve al inversionista un monto fijo del principal, pero se desconoce la fecha. Una alta tasa de prepagos sobre el fondo subyacente hace que el principal se reciba de manera anticipada (lo que, por supuesto, es conveniente para el tenedor del PO). Una tasa baja de prepagos sobre el fondo subyacente retrasa la devolución del principal y reduce el rendimiento que proporciona el PO. En un IO, el total de flujos de efectivo que recibe el inversionista es incierto. Cuanto mayor sea la tasa de prepagos, menor será el total de flujos de efectivo que reciba el inversionista y viceversa.

20.3 *SWAPS* NO ESTÁNDAR

En el capítulo 7, analizamos los *swaps plain vanilla* de tasas de interés. Éstos son contratos para intercambiar un interés a la tasa LIBOR por un interés a una tasa fija. La Panorámica de negocios 7.1 del capítulo 7 proporciona una confirmación de un swap *plan vanilla* hipotético. En esta sección describimos varios contratos *swap* no estándar.[3]

Variaciones del contrato *vanilla*

Muchos *swaps* de tasas de interés suponen cambios relativamente pequeños a los *swaps plan vanilla* que analizamos en el capítulo 7. En algunos *swaps*, el principal nocional cambia con el paso del tiempo, de manera predeterminada. Los *swaps* en los que el principal nocional está en función creciente con el tiempo se conocen como *swaps step-up*. Los *swaps* en los que el principal nocional está en función decreciente con el tiempo se conocen como *amortizing swaps* o *swaps amortizables*. Los *swaps step-up* podrían ser útiles para una empresa de construcción que tiene la intención de adquirir préstamos de dinero en montos cada vez mayores a tasas variables para financiar un proyecto específico y que desea cambiarlos a un financiamiento a tasa fija. Un *swap* amortizable podría usarlo una empresa que tiene endeudamientos a tasa fija con cierto plan de prepago y desea cambiarlos por endeudamientos a tasa variable.

El principal puede ser diferente en ambas partes del *swap*. Además, la frecuencia de pago puede ser distinta. Esto se ilustra con el swap hipotético entre Microsoft y Goldman Sachs en la Panorámica de negocios 20.1, donde el principal nocional es de $120 millones en la parte variable y de $100 millones en la parte fija. Los pagos se realizan mensualmente en la parte variable y semestralmente en la parte fija.

La tasa de referencia variable de un *swap* no es siempre la tasa LIBOR. Por ejemplo, en algunos *swaps* es la tasa del papel comercial (PC). Un *basis swap* o *swap de base* consiste en intercambiar los flujos de efectivo calculados con una tasa de referencia variable por los calculados con otra tasa de referencia variable; por ejemplo, un *swap* en el que la tasa del papel comercial a tres meses más 10 puntos base se intercambia por la tasa LIBOR a tres meses, y ambas tasas se aplican a un principal de $100 millones. Para la administración de riesgos, una institución financiera cuyos activos y pasivos dependen de diferentes tasas de referencia variables podría utilizar un *swap* de base.

Swaps de composición

Otra variante del *swap plain vanilla* es un *swap de composición*. La Panorámica de negocios 20.2 presenta una confirmación de un *swap* de composición. En este ejemplo hay sólo una fecha de pago tanto para los pagos de tasa variable como para los de tasa fija. Esto es al final de la vida del *swap*. La tasa de interés variable es la tasa LIBOR más 20 puntos base. En vez de pagarse, el interés se compone hasta el final de la vida del *swap* a la tasa LIBOR más 10 puntos base. La tasa de

[3] La valuación de muchos de los *swaps* descritos aquí se detalla en J.C. Hull, *Options, Futures, and Other Derivatives*, 6a. ed. (Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall, 2006), caps. 27-29.

Panorámica de negocios 20.1 Confirmación hipotética de un *swap* no estándar

Fecha de negociación	5 de enero de 2004
Fecha efectiva	11 de enero de 2004
Convención de día hábil (todas las fechas)	Siguiente día hábil
Calendario de días festivos	EUA
Fecha de terminación	11 de enero de 2009
Montos fijos	
Pagador de tasa fija	Microsoft
Principal nocional de tasa fija	$100 millones
Tasa fija	6% anual
Convención de cálculo de días de tasa fija	Real/365
Fechas de pago de tasa fija	Cada 11 de julio y 11 de enero, comenzando el 11 de julio de 2004, y terminando el 11 de enero de 2009, inclusive
Montos variables	
Pagador de tasa variable	Goldman Sachs
Principal nocional de tasa variable	$120 millones
Tasa variable	Tasa LIBOR a un mes en dólares estadounidenses
Convención de cálculo de días de tasa variable	Real/360
Fechas de pago de tasa variable	11 de julio de 2004 y, de ahí en adelante, el día 11 de cada mes hasta concluir con el 11 de enero de 2009

interés fija es de 6%. En vez de pagarse, este interés se compone a una tasa de interés fija de 6.3% hasta el final de la vida del swap.

Swaps de divisas

En el capítulo 7 presentamos los *swaps* de divisas, que permiten que una exposición a tasas de interés en una divisa se intercambie por una exposición a tasas de interés en otra divisa. Generalmente se especifican dos principales, uno en cada divisa. Los principales se intercambian tanto al inicio como al final de la vida del *swap*, como se describió en la sección 7.8.

Suponga que las monedas que participan en un *swap* de divisas son dólares estadounidenses (USD) y libras británicas (GBP). En un *swap* de divisas fijo por fijo, se especifica una tasa de interés fija en cada divisa. Los pagos de una de las partes se determinan aplicando la tasa de interés fija en dólares estadounidenses al principal en dólares estadounidenses; los pagos de la otra parte se determinan aplicando la tasa de interés fija en libras británicas al principal en libras británicas.

Otro tipo popular de *swap* de divisas es el variable por variable. En este *swap*, los pagos de una de las partes se determinan aplicando la tasa LIBOR en dólares estadounidenses (posiblemente con un margen agregado) al principal estadounidense; del mismo modo, los pagos de la otra parte se determinan aplicando la tasa LIBOR en libras esterlinas (posiblemente con un margen agregado) al principal en libras esterlinas. Un tercer tipo de *swap* es el de tasas de interés en divisas cruzadas en el que una tasa variable en una divisa se intercambia por una tasa fija *swap* en otra.

Panorámica de negocios 20.2 Confirmación hipotética de un *swap* de composición

Fecha de negociación	5 de enero de 2004
Fecha efectiva	11 de enero de 2004
Calendario de días festivos	EUA
Convención de día hábil (todas las fechas)	Siguiente día hábil
Fecha de terminación	11 de enero de 2009
Montos fijos	
Pagador de tasa fija	Microsoft
Principal nocional de tasa fija	$100 millones
Tasa fija	6% anual
Convención de cálculo de días de tasa fija	Real/365
Fecha de pago de tasa fija	11 de enero de 2009
Composición de tasa fija	Aplicable a 6.3%
Fechas de composición de tasa fija	Cada 11 de julio y 11 de enero, comenzando el 11 de julio de 2004 hasta concluir con el 11 de julio de 2008
Montos variables	
Pagador de tasa variable	Goldman Sachs
Principal nocional de tasa variable	$100 millones
Tasa variable	Tasa LIBOR a 6 meses en dólares estadounidenses más 20 puntos base
Convención de cálculo de días de tasa variable	Real/360
Fecha de pago de tasa variable	11 de enero de 2009
Composición de tasa variable	Aplicable a la tasa LIBOR más 10 puntos base
Fechas de composición de tasa variable	Cada 11 de julio y 11 de enero, comenzando el 11 de julio de 2004 y terminando el 11 de julio de 2008 inclusive

Valuación y ajustes por convexidad

En el capítulo 7 explicamos que los *swaps plain vanilla* de tasas de interés y de divisas pueden valuarse asumiendo que las tasas de interés en el futuro serán iguales a las tasas de interés a plazo correspondientes que se observan en el mercado hoy. Los *swaps* no estándar que hemos analizado hasta ahora también se valúan de esta manera. Sin embargo, los tres tipos siguientes de *swaps* que analizaremos no se valúan de este modo, sino asumiendo que las tasas de interés en el futuro serán iguales a las tasas de interés a plazo correspondientes que se observan en el mercado hoy más un ajuste. Este ajuste se conoce como *ajuste por convexidad*.[4]

Swap LIBOR *in arrears*

Un *swap plain vanilla* de tasas de interés está diseñado de tal modo que la tasa de interés variable que se observa en una fecha de pago se pague en la fecha de pago siguiente. Un instrumento alternativo que se negocia en ocasiones es un *swap LIBOR in arrears*. En este *swap*, la tasa variable que se paga en una fecha de pago es igual a la tasa que se observa en esta misma fecha de pago.

[4] Para conocer un análisis de estos tipos de ajustes por convexidad, vea J.C. Hull, *Options, Futures, and Other Derivatives*, 6ª. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006), cap. 27.

Swaps CMS

Un *swap* de vencimiento constante (CMS, por sus siglas en inglés) es un *swap* de tasas de interés en el que la tasa variable es igual a la tasa *swap* para un *swap* de cierta vida. Por ejemplo, los pagos variables sobre un *swap* CMS podrían realizarse cada seis meses a una tasa igual a la tasa *swap* a cinco años. Por lo general hay un retraso, de tal manera que el pago en una fecha de pago específica es igual a la tasa *swap* que se observa en la fecha de pago anterior. Suponga que las tasas se establecen en las fechas t_0, t_1, t_2... los pagos se realizan en las fechas t_1, t_2, t_3... y L es el principal nocional. El pago de tasa variable en la fecha t_{i+1} es

$$\delta_i L s_i$$

donde $\delta_i = t_{i+1} - t_i$ y s_i es la tasa *swap* a cinco años en la fecha t_i.

Swaps diferenciales

Un *swap diferencial*, denominado en ocasiones *swap dif*, es un *swap* sobre tasas de interés en el que una tasa de interés variable se observa en una divisa y se aplica a un principal en otra. Por ejemplo, un *swap* podría requerir que los pagos de una de las partes se calcularan a la tasa LIBOR en dólares estadounidenses aplicada a un principal en dólares estadounidenses y que los pagos de la otra parte se calcularan a la tasa LIBOR en libras esterlinas (más o menos un margen) aplicada al mismo principal en dólares estadounidenses. A veces, los *swaps* diferenciales se llaman *quantos*.

Un *swap* diferencial es un “simple juego de tasas de interés”. Esto lo distingue de un *swap* de divisas variable por variable regular. La empresa que paga en libras esterlinas, en nuestro ejemplo de *swap* diferencial, gana si la tasa LIBOR en libras esterlinas disminuye con relación a la tasa LIBOR en dólares estadounidenses y pierde si ocurre lo contrario. El pago de un *swap* de divisas en el que una tasa variable en libras esterlinas se intercambia por una tasa variable en dólares estadounidenses depende de las variaciones del tipo de cambio, así como de las fluctuaciones de las tasas de interés en ambos países.

Swaps de acciones

En un *swap* de acciones, una parte promete pagar el rendimiento sobre un índice accionario aplicado a un principal nocional y la otra promete pagar un rendimiento fijo o variable sobre el principal nocional. Los *swaps* de acciones permiten a los administradores de fondos aumentar o reducir su exposición a un índice sin comprar ni vender la acción. Un *swap* de acciones es una forma conveniente de agrupar una serie de contratos a plazo sobre un índice accionario para satisfacer las necesidades del mercado.

Por lo general, el índice accionario es un índice de rendimiento total en el que los dividendos se reinvierten en las acciones que lo integran. La Panorámica de negocios 20.3 presenta una confirmación de un *swap* de acciones. En esta confirmación, Microsoft paga el rendimiento a seis meses sobre el índice S&P 500 a Goldman Sachs y Goldman Sachs paga la tasa LIBOR a seis meses a Microsoft. El principal en ambas partes del *swap* es de $100 millones y los pagos se realizan cada seis meses.

Swaps acumulados

Los *accrual swaps*, o *swaps* acumulados, son *swaps* en los que el interés en una de las partes se acumula sólo cuando la tasa de referencia variable está dentro de cierto margen. En ocasiones, el margen permanece fijo durante toda la vida del *swap*; otras veces, se reajusta periódicamente.

Como un ejemplo sencillo de un *swap* acumulado, considere un contrato en el que una tasa fija de 6% se intercambia por la tasa LIBOR a tres meses cada trimestre. El principal es de $10 millones

Panorámica de negocios 20.3 Confirmación hipotética de un *swap* de acciones

Fecha de negociación	5 de enero de 2004
Fecha efectiva	11 de enero de 2004
Convención de día hábil (todas las fechas)	Siguiente día hábil
Calendario de días festivos	EUA
Fecha de terminación	11 de enero de 2009
Montos de acciones	
Pagador de acciones	Microsoft
Principal en acciones	$100 millones
Índice accionario	Rendimiento total sobre el índice S&P 500
Pago de acciones	$100(I_1 - I_0)/I_0$, donde I_1 es el nivel del índice en la fecha de pago e I_0 es el nivel del índice en la fecha de pago anterior inmediata. En el caso de la primera fecha de pago, I_0 es el nivel del índice del 11 de enero de 2004
Fechas de pago de acciones	Cada 11 de julio y 11 de enero, comenzando el 11 de julio de 2004 y terminando el 11 de enero de 2009 inclusive
Montos variables	
Pagador de tasa variable	Goldman Sachs
Principal nocional de tasa variable	$100 millones
Tasa variable	Tasa LIBOR a 6 meses en dólares estadounidenses
Convención de cálculo de días de tasa variable	Real/360
Fechas de pago de tasa variable	Cada 11 de julio y de enero, comenzando el 11 de julio de 2004 y terminando el 11 de enero de 2009

y la tasa fija se acumula únicamente en los días cuando la tasa LIBOR a tres meses está por debajo de 8% anual. Defina n_1 como el número de días en un trimestre en que la tasa LIBOR a tres meses está por debajo de 8% y n_2 como el número de días del año. El pago realizado al final del trimestre es

$$10{,}000{,}000 \times 0.06 \times \frac{n_1}{n_2}$$

Por ejemplo, cuando $n_1 = 25$ y n_2 365, el pago es de $41,096. En un *swap* regular, el pago sería aproximadamente de $0.25 \times 0.06 \times 10{,}000{,}000$ o $150,000.

En comparación con un *swap* regular, el pagador de la tasa fija ahorra $10{,}000{,}000 \times 0.06/365 =$ $1,644 por cada día en que las tasas de interés están por arriba de 8%. Por lo tanto, la posición del pagador de la tasa fija puede considerarse equivalente a un *swap* regular más una serie de opciones binarias, una para cada día de la vida del *swap*.

Swaps cancelables

Un *swap* cancelable es un *swap plain vanilla* de tasas de interés en el que una de las partes tiene la opción de cancelarlo en una o más fechas de pago. La cancelación de un *swap* es lo mismo que participar en el *swap* compensatorio (contrario). Considere un *swap* entre Microsoft y Goldman Sachs.

Si Microsoft tiene la opción de cancelarlo, puede considerar el *swap* como un *swap* regular más una posición larga en una opción para participar en el *swap* compensatorio. Si Goldman Sachs tiene la opción de cancelación, Microsoft tiene un *swap* regular más una posición corta en una opción para participar en el mismo *swap*.

Si sólo hay una fecha de terminación, un *swap* cancelable es igual a un *swap* regular más una posición en una opción europea sobre un *swap*. Por ejemplo, considere un *swap* a 10 años en el que Microsoft recibirá 6% y pagará la tasa LIBOR. Suponga que Microsoft tiene la opción de cancelarlo al término de seis años. El *swap* es un *swap* regular a 10 años para recibir 6% y pagar la tasa LIBOR más una posición larga en una opción europea a seis años para participar en un *swap* a cuatro años en el que se paga 6% y se recibe la tasa LIBOR. (Esto último se conoce como opción europea 6×4). En el capítulo 19 se describió el modelo de mercado estándar para valuar opciones europeas sobre *swaps*.

Cuando el *swap* puede cancelarse en distintas fechas de pago, es una opción regular sobre un *swap* más una opción sobre un *swap* bermuda. Por ejemplo, considere una situación en la que Microsoft participa en un *swap* a cinco años con pagos semestrales en el que recibe 6% y paga la tasa LIBOR. Suponga que la contraparte tiene la opción de cancelar el *swap* en varias fechas de pago entre el año 2 y el año 5. El *swap* es un *swap* regular más una posición corta en una opción sobre un *swap* bermuda en la que ésta es una opción para participar en un *swap* que vence en cinco años, que recibe pagos fijos a 6% y realiza pagos variables a la tasa LIBOR. La opción sobre el *swap* se ejerce en cualquier fecha de pago entre el año 2 y el año 5.

En ocasiones, los *swaps* de composición son cancelables. Comúnmente, el acuerdo de confirmación establece que, al cancelar el *swap*, el pagador de la tasa variable paga el valor compuesto de los montos variables hasta la fecha de terminación y el pagador de la tasa fija paga el valor compuesto de los pagos fijos hasta esta misma fecha.

Swaps amortizables indexados

Un *swap* que fue muy popular en Estados Unidos de América a mediados de la década de 1990 es el *swap amortizable indexado* (denominado también *swap de principal indexado*). Con este *swap*, el principal se reduce dependiendo del nivel de las tasas de interés. Cuanto menor sea la tasa de interés, mayor será la reducción del principal. La parte fija de un *swap* amortizable indexado se diseñó originalmente para reflejar, por lo menos de manera aproximada, el rendimiento que un inversionista obtiene de un título respaldado por hipotecas. En este caso, para un inversionista, el *swap* tiene el efecto de intercambiar el rendimiento sobre un título respaldado por hipotecas por un rendimiento de tasa variable.

Swaps de commodities

Actualmente, los *swaps de commodities* se vuelven cada vez más populares. Una empresa que consume 100 mil barriles de petróleo al año podría acordar el pago de $5 millones cada año durante los próximos 10 años y recibir a cambio 100,000S, donde S es el precio de mercado vigente del barril de petróleo. De hecho, el acuerdo aseguraría el costo de petróleo para la empresa en $50 por barril. Un productor de petróleo podría acordar el intercambio opuesto, asegurando así el precio que obtendría por su petróleo en $50 por barril.

Otros *swaps*

Los *swaps* pueden diseñarse en muchas otras formas. En el capítulo 21 analizaremos los *swaps* de incumplimiento de crédito. Una innovación reciente en los mercados de *swaps* es un *swap de volatilidad*. En este *swap* los pagos dependen de la volatilidad de una acción (o de otro activo). Su-

Panorámica de negocios 20.4 Extraño acuerdo de Procter & Gamble

Un *swap* particularmente extraño es el denominado *swap* “5/30” realizado entre Bankers Trust (BT) y Procter & Gamble (P&G) el 2 de noviembre de 1993. Éste fue un *swap* a cinco años con pagos semestrales. El principal nocional fue de $200 millones. BT pagó a P&G 5.30% anual. P&G pagó a BT la tasa promedio del papel comercial (PC) a 30 días menos 75 puntos base más una diferencia. La tasa promedio PC se calculó tomando las observaciones de la tasa PC a 30 días, cada día durante el periodo de acumulación previo, y promediándolas.

El margen fue de cero para la primera fecha de prepago (2 de mayo de 1994). Para las nueve fechas de pago restantes, fue de

$$\text{máx}\left[0, \frac{98.5\left(\dfrac{\%\text{CMT a 5 años}}{5.78\%}\right) - (\text{Precio TSY a 30 años})}{100}\right]$$

En esta expresión, CMT a cinco años es el rendimiento de los valores del Tesoro a vencimiento constante (es decir, el rendimiento sobre una letra del Tesoro a cinco años, según lo reporta la Reserva Federal). El precio TSY a 30 años es el punto medio entre los precios en efectivo de demanda y oferta del bono del Tesoro a 6.25% que vence en agosto de 2023. Observe que el margen calculado con la fórmula es una tasa de interés decimal. No se mide en puntos base. Si la fórmula da como resultado 0.1 y la tasa PC es de 6%, P&G paga una tasa de 15.25%.

P&G esperaba un margen de cero y que el acuerdo le permitiera intercambiar un financiamiento a tasa fija de 5.30% por un financiamiento a 75 puntos base menos que la tasa del papel comercial. De hecho, las tasas de interés se dispararon a principios de 1994, los precios de los bonos cayeron y el *swap* resultó ser demasiado costoso. (Vea el problema 20.20).

ponga que el principal es L. En cada fecha de pago, una de las partes paga $L\sigma$, donde σ es de la volatilidad histórica calculada de manera usual, observando diariamente la acción durante el periodo de acumulación anterior inmediato, y la otra parte paga $L\sigma_K$, donde σ_K es un nivel de volatilidad constante predeterminado. Los *swaps* de varianza, de correlación y de covarianza se definen de modo semejante.

Algunos *swaps* tienen pagos que se calculan en forma bastante extraña. Un ejemplo es el acuerdo que establecieron Procter & Gamble y Bankers Trust en 1993 (vea la Panorámica de negocios 20.4). Los detalles de esta transacción son del dominio público porque posteriormente ésta se convirtió en un asunto contencioso.[5]

RESUMEN

Las opciones exóticas son opciones con reglas que determinan los pagos, no tan sencillas como las reglas para las opciones estándar. Proporcionan a los tesoreros corporativos y administradores de fondos una amplia gama de alternativas para lograr sus objetivos. Algunas opciones exóticas no son

[5] Vea D.J. Smith, “Aggressive Corporate Finance: A Close Look at the Procter and Gamble-Bankers Trust Leveraged Swap”, *Journal of Derivatives* 4, no. 4 (verano de 1997), pp. 67-79.

más que carteras de opciones de compra y de venta europeas y americanas regulares. Otras son mucho más complejas.

Los títulos respaldados por hipotecas se crean cuando una institución financiera decide vender parte de su cartera de hipotecas residenciales a inversionistas. Las hipotecas se colocan en un fondo y los inversionistas adquieren una participación en el fondo por medio de la compra de unidades. Las hipotecas están garantizadas contra incumplimientos por una agencia gubernamental, aunque los inversionistas están sujetos a riesgo de prepago. Con frecuencia, el rendimiento obtenido de un fondo de hipotecas se divide en varios componentes con distintas propiedades con la intención de satisfacer las necesidades de diferentes tipos de inversionistas.

Los *swaps* han demostrado ser instrumentos financieros muy versátiles, por lo que actualmente existen muchas variantes del contrato *plain vanilla* fijo por variable. Algunos *swaps* como los *swaps step-up*, amortizables, de composición, LIBOR *in arrears*, diferenciales y CMS, requieren cambios en la forma de calcular los pagos o las fechas de éstos. Otros, como los *swaps* acumulados y los *swaps* cancelables, tienen opciones intercaladas.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Boyle, P.P. y S.H. Lau. “Bumping Up against the Barrier with the Binomial Method”, *Journal of Derivatives*, 1, 4 (verano de 1994), pp. 6-14.

Broadie, M.P. Glasserman y S.G. Kou. “A Continuity Correction for Discrete Barrier Options”, *Mathematical Finance*, 7, 4 (octubre de 1997), pp. 325-49.

Broadie, M., P. Glasserman y S.G. Kou. “Connecting Discrete and Continuous Path-Dependent Options”, *Finance and Stochastics*, 2 (1998), pp. 1-28.

Chance, D. y D. Rich. “The Pricing of Equity Swap and Swaptions”, *Journal of Derivatives*, 5, 4 (verano de 1998), pp. 19-31.

Clewlow, L. y C. Strickland. *Exotic Options: The State of the Art*. Londres: Thomson Business Press, 1997.

Conze, A. y S. Viswanathan. “Path Dependent Options: The Case of Lookback Options”, *Journal of Finance*, 46 (1991), pp. 1893-1907.

Demeterfi, K., E. Derman, M. Kamal y J. Zou. “A Guide to Volatility and Variance Swaps”, *Journal of Derivatives*, 6, 4 (verano de 1999), pp. 9-32.

Forster, D.M. “The State of the Law after Procter & Gamble vs Bankers Trust”, *Derivatives Quarterly*, 3, 2 (1996), pp. 8-17.

Geske, R. “The Valuation of Compound Options”, *Journal of Financial Economics*, 7 (1979), pp. 63-81.

Goldman B., H. Sosin y M.A. Gatto. “Path Dependent Options: Buy at the Low, Sell at the High”, *Journal of Finance*, 34 (diciembre de 1979), pp. 1111-27.

Hull, J.C. *Options, Futures, and Other Derivatives*, 6a. ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006.

Hull, J.C. y A. White. “Efficient Procedures for Valuing European and American Path-Dependent Options”, *Journal of Derivatives*, (otoño de 1993), pp. 21-31.

Laatch, F.E. “Tax Clienteles, Arbitrage, and the Pricing of Total Return Swaps”, *Journal of Derivatives*, 8, 2 (invierno de 2000), pp. 37-46.

Margrabe, W. “The Value of an Option to Exchange One Asset for Another”, *Journal of Finance*, 33 (marzo de 1978), pp. 177-86.

Rubinstein, M. “Pay Now, Choose Later”, *RISK* (febrero de 1991), pp. 44-47.

Rubinstein, M. “Options for the Undecided”, *RISK* (abril de 1991), pp. 70-73.

Rubinstein, M. “Two in One”, *RISK* (mayo de 1991), p. 49.

Rubinstein, M. “One for Another”, *RISK* (julio/agosto de 1991), pp. 30-32.

Rubinstein, M. "Somewhere Over the Rainbow". *RISK* (noviembre de 1991), pp. 63-66.
Rubinstein, M. "Double Trouble", *RISK* (diciembre de 1991/enero de 1992), pp. 53-56.
Rubinstein, M. y E. Reiner. "Breaking Down the Barriers", *RISK*, (septiembre de 1991), pp. 28-35.
Rubinstein, M. y E. Reiner. "Unscrambling the Binary Code", *RISK* (octubre de 1991), pp. 75-83.
Smith D.J. "Aggressive Corporate Finance: A Close Look at the Procter and Gamble-Bankers Trust Leveraged Swap", *Journal of Derivatives*, 4, 4 (verano de 1997), pp. 67-79.
Stulz, R. "Options on the Minimum or Maximum of Two Assets", *Journal of Financial Economics*, 10 (1982), pp. 161-85.
Turnbull, S.M. y L.M. Wakeman. "A Quick Algorithm for Pricing European Average Options", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 26 (septiembre de 1991), pp. 377-89.
Zhang, P.G. Exotic Options: A Guide to Second Generation Options, 2ª. ed., World Scientific, Singapur, 1998.

Examen (respuestas al final del libro)

20.1. Explique la diferencia entre una opción *forward start* y una opción *chooser*.

20.2. ¿Cuál es el valor de una opción de compra *cash or nothing* que promete pagar $100 si el precio de una acción que no paga dividendos excede a $50 en tres meses? El precio actual de la acción es de $50, la tasa de interés libre de riesgo es de 4% y la volatilidad del precio de la acción es de 20%.

20.3. Enumere ocho tipos de opciones con barrera.

20.4. ¿Cómo funciona un *swap* de acciones?

20.5. Explique por qué los IOs y los POs tienen sensibilidades opuestas a la tasa de prepagos.

20.6. Explique la relación entre un *swap* cancelable y una opción sobre *swap*.

20.7. La tasa LIBOR en dólares canadienses es 2% más alta que la tasa LIBOR en dólares estadounidenses para todos los vencimientos. Un negociante cree que el margen entre estas tasas a tres meses aumentará, pero no está seguro de cómo variará el tipo de cambio entre el dólar estadounidense y el dólar canadiense. Explique de qué manera podría usar el negociante un *swap* diferencial. ¿Por qué el negociante preferiría un *swap* diferencial a un *swap* de divisas variable por variable?

Preguntas y problemas

20.8. Describa el pago de una cartera que consiste en una opción de compra y una opción de venta retroactivas con el mismo vencimiento.

20.9. Considere una opción *chooser* en la que el tenedor tiene el derecho a elegir entre una opción de compra europea y una opción de venta europea en cualquier momento durante un periodo de dos años. Las fechas de vencimiento y los precios de ejercicio de las opciones de compra y de venta son iguales, independientemente del momento en que se realice la elección. ¿Es lo óptimo hacer la elección antes de que finalice el periodo de dos años? Explique su respuesta.

20.10. Suponga que c_1 y p_1 son los precios de una opción de compra y de venta europeas de precio promedio con un precio de ejercicio K y un vencimiento T, c_2 y p_2 son los precios de una opción de compra y de venta europeas con precio de ejercicio promedio y un vencimiento T, y c_3 y p_3 son los precios de una opción de compra y de venta europeas regulares con un precio de ejercicio K y un vencimiento T. Demuestre que $c_1 + c_2 - c_3 = p_1 + p_2 - p_3$.

20.11. El texto infiere una descomposición de un tipo específico de opción *chooser* en una opción de compra que vence en el tiempo T_2 y una opción de venta que vence en el tiempo T_1. Use la paridad entre opciones de venta y de compra para obtener una expresión para c en vez de p y deduzca una descomposición alternativa en una opción de compra que vence en el tiempo T_1 y una opción de venta que vence en el tiempo T_2.

20.12. Explique por qué una opción de venta *down and out* tiene un valor de cero cuando la barrera es mayor que el precio de ejercicio.

20.13. Demuestre que una opción *forward start at the money* sobre una acción que no paga dividendos, que comenzará en tres años y vencerá en cinco, vale lo mismo que una opción *at the money* a dos años, la cual comienza hoy.

20.14. Suponga que el precio de ejercicio de una opción de compra americana sobre una acción que no paga dividendos aumenta a la tasa g. Demuestre que si g es menor que la tasa de interés libre de riesgo, r, nunca es lo óptimo ejercer la opción anticipadamente.

20.15. Responda a las siguientes preguntas sobre las opciones compuestas:

a. ¿Qué relación de paridad entre opciones de venta y de compra existe entre el precio de una opción de compra europea sobre una opción de compra y una opción de venta europea sobre una opción de compra?

b. ¿Qué relación de paridad *put call* hay entre el precio de una opción de compra europea sobre una opción de venta y una opción de venta europea sobre una opción de venta?

20.16. ¿Aumenta o disminuye el valor de una opción de compra retroactiva a medida que aumentamos la frecuencia con que observamos el precio del activo para calcular el precio mínimo?

20.17. ¿Aumenta o disminuye el valor de una opción de compra *down and out* a medida que aumentamos la frecuencia con que observamos el precio del activo para determinar si cruzó la barrera? ¿Cuál es la respuesta a la misma pregunta para una opción de compra *down and in*?

20.18. Explique por qué una opción de compra europea regular es la suma de una opción de compra europea *down and out* y una opción de compra europea *down and in*.

20.19. ¿Cuál es el valor de un derivado que paga \$100 en seis meses si el índice S&P 500 es mayor de 1,000 y paga cero en caso contrario? Asuma que el nivel actual del índice es de 960, la tasa de interés libre de riesgo es de 8% anual, el rendimiento de dividendos sobre el índice es de 3% anual y la volatilidad del índice es de 20%.

20.20. Calcule la tasa de interés que paga P&G sobre el swap 5/30 presentado en la Panorámica de negocios 20.4, si: a) la tasa PC es de 6.5% y la curva de rendimiento del Tesoro es plana en 6%, b) la tasa PC es de 7.5% y la curva de rendimiento del Tesoro es plana en 7%.

Preguntas de tarea

20.21. Use el software DerivaGem para calcular el valor de:

a. Una opción de compra europea regular sobre una acción que no paga dividendos en la que el precio de la acción es de \$50, el precio de ejercicio es de \$50, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual, la volatilidad es de 30% y el tiempo al vencimiento es de un año.

b. Una opción de compra europea *down and out* igual a la opción presentada en el inciso a), con la barrera en \$45.

c. Una opción de compra europea *down and in* igual a la opción presentada en el inciso a), con la barrera en \$45.

Demuestre que la opción en a) es el valor de la suma de los valores en las opciones en b) y c).

20.22. ¿Cuál es el valor en dólares de un derivado que paga £10,000 en un año con la condición de que el tipo de cambio entre el dólar y la libra esterlina sea mayor de 1.5000 en ese momento? El tipo de cambio vigente es de 1.4800. Las tasas de interés en dólares y libras esterlinas son de 4% y 8% anual, respectivamente. La volatilidad del tipo de cambio es de 12% anual.

20.23. Considere una opción de compra con barrera *up and out* sobre una acción que no paga dividendos cuando el precio de la acción es de 50, el precio de ejercicio es de 50, la volatilidad es de 30%, la tasa de interés libre de riesgo es de 5%, el tiempo al vencimiento es de un año, y la barrera es de 80. Use el software DerivaGem para valuar la opción y elabore una gráfica de la relación entre: a) el precio de la opción y el precio de la acción, b) el precio de la opción y el tiempo al vencimiento, y c) el precio de la opción y la volatilidad. Dé una explicación intuitiva de los resultados que obtenga. Muestre que la delta, theta y vega de una opción de compra con barrera *up and out*, pueden ser positivas o negativas.

20.24. Imagine que la tasa cero LIBOR es plana en 5% con una composición anual. En un *swap* a cinco años, la empresa X paga una tasa fija de 6% y recibe la tasa LIBOR anualmente sobre un principal de $100 millones. La volatilidad de la tasa *swap* a dos años en tres años es de 20%.

a. ¿Cuál es el valor del *swap*?
b. Use el software DerivaGem para calcular el valor del *swap* si la empresa X tiene la opción de cancelar el *swap* después de tres años.
c. Use el software DerivaGem para calcular el valor del *swap* si la contraparte tiene la opción de cancelar el *swap* después de tres años.
d. ¿Cuál es el valor del *swap* si cualquiera de las partes puede cancelar el *swap* al término de tres años?

20.25. Muchos bancos europeos ofrecen a inversionistas certificados *outperformance* (llamados también *sprint certificates*, *accelerator certificates* o *speeders*) como una manera de invertir en la acción de una empresa. La inversión inicial es igual al precio de la acción, S_0. Si el precio de la acción sube entre el tiempo 0 y el tiempo T, el inversionista recibe k veces el aumento en el tiempo T, donde k es una constante mayor de 1.0. Sin embargo, el precio de la acción usado para calcular la ganancia en el tiempo T se establece en cierto nivel máximo M. Si el precio de la acción baja, la pérdida para el inversionista es igual a la disminución y no recibe dividendos.

a. Demuestre que un certificado *outperformance* es un paquete.
b. Con el software DerivaGem calcule el valor de un certificado *outperformance* a un año cuando el precio de la acción es de 50 euros, $k = 1.5$, $M = 20$ euros, la tasa de interés libre de riesgo es de 5% y la volatilidad del precio de la acción es de 25%. Se esperan dividendos de 0.5 euros en 2, 5, 8 y 11 meses.

CAPÍTULO 21

Derivados de crédito

Uno de los adelantos más emocionantes que han ocurrido en los mercados de derivados en los últimos años ha sido el crecimiento del mercado de derivados de crédito. En 2000, el principal nocional total de los contratos vigentes de derivados de crédito fue alrededor de $800,000 millones. El Banco de Liquidaciones Internacionales calculó que para junio de 2006 este monto había crecido a más de $20 billones. Los derivados de crédito son contratos en los que el beneficio depende de la solvencia de una o más entidades comerciales o soberanas. En este capítulo explicamos cómo funcionan los derivados de crédito y analizamos algunos asuntos de valuación.

Los derivados de crédito permiten a las empresas negociar riesgos de crédito de manera muy parecida a como negocian riesgos de mercado. Los bancos y otras instituciones financieras estaban usualmente en una posición en la que podían hacer poco una vez que asumían un riesgo de crédito, excepto esperar (y esperar que ocurriera lo mejor). Actualmente pueden administrar de manera activa sus carteras de riesgos de crédito, manteniendo algunos y participando en contratos de derivados de crédito para protegerse de otros. Como se indica en la Panorámica de negocios 21.1, desde finales de la década de 1990 los bancos han sido los mayores compradores de protección de crédito y las empresas de seguros han sido los mayores vendedores.

21.1 *SWAPS* DE INCUMPLIMIENTO DE CRÉDITO

El derivado de crédito más popular es un *swap de incumplimiento de crédito* (CDS, por sus siglas en inglés). Éste es un contrato que proporciona seguro contra el riesgo de incumplimiento de parte de una empresa específica. La empresa se conoce como *reference entity* o *entidad de referencia*, y un incumplimiento de parte de la empresa se denomina *credit event* o *evento de crédito*. El comprador del seguro obtiene el derecho a vender los bonos emitidos por la empresa a su valor nominal, y el vendedor del seguro acuerda comprarlos a su valor nominal si ocurre un evento de crédito.[1] El valor nominal total de los bonos que pueden venderse se conoce como *principal nocional* del *swap* de incumplimiento de crédito.

El comprador del CDS realiza pagos periódicos al vendedor hasta el final de la vida del CDS o hasta que ocurra un evento de crédito. Estos pagos se realizan comúnmente con retraso (*in*

[1] El valor nominal (o valor par) de un bono es el monto del principal que el emisor reembolsará al vencimiento si no incumple.

Panorámica de negocios 21.1 ¿Quién asume el riesgo de crédito?

Tradicionalmente, los bancos han estado en el negocio de realizar préstamos y después asumir el riesgo de crédito de que el prestatario incumpla. Pero esto está cambiando. Durante algún tiempo los bancos se han mostrado renuentes a registrar préstamos en sus balances generales. Esto se debe a que, después de contabilizar el capital que requieren los reguladores, el rendimiento promedio ganado sobre préstamos es con frecuencia menos atractivo que el obtenido sobre otros activos. Durante la década de 1990, los bancos crearon títulos respaldados por activos (parecidos a los títulos respaldados por hipotecas, analizados en la sección 20.2) para transferir préstamos (y su riesgo de crédito) a inversionistas. A fines de la década de 1990 y principios de la de 2000, los bancos han hecho un amplio uso de los derivados de crédito para desplazar el riesgo de crédito de sus préstamos a otras partes del sistema financiero.

Si los bancos han sido compradores netos de protección de crédito, ¿quiénes han sido los vendedores netos? La respuesta es: las compañías de seguros. Éstas no están reguladas de la misma forma que los bancos. Para las compañías de seguros vender protección de crédito es igual a vender protección contra pérdidas ocasionadas por fuego o accidentes, y con frecuencia están más dispuestas a asumir riesgos que los bancos.

El resultado de todo esto es que la institución financiera que asume el riesgo de crédito de un préstamo a menudo es diferente de la institución financiera que realizó las verificaciones de crédito originales. Aún resta ver si esto demuestra ser bueno para la salud general del sistema financiero.

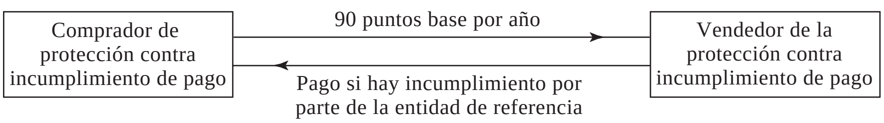
arrears) cada trimestre, semestre o año. En caso de incumplimiento, la liquidación implica la entrega física de los bonos o un pago en efectivo.

Un ejemplo ayudará a ilustrar cómo se estructura un acuerdo típico. Suponga que dos partes participan en un *swap* de incumplimiento de crédito a cinco años el 1 de marzo de 2007. Asuma que el principal nocional es de $100 millones y el comprador acuerda pagar 90 puntos base anualmente para protección contra incumplimiento de parte de la entidad de referencia.

La figura 21.1 muestra el CDS. Si la entidad de referencia no incumple (es decir, no ocurre un evento de crédito), el comprador no recibe ningún beneficio y paga $900,000 cada 1 de marzo de 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012. Si hay un evento de crédito es probable que haya un beneficio importante. Suponga que el comprador notifica al vendedor sobre un acontecimiento de crédito el 1 de junio de 2010 (después de haber transcurrido un trimestre del cuarto año). Si el contrato especifica una liquidación física, el comprador tiene el derecho de vender los bonos emitidos por la entidad de referencia con un valor nominal de $100 millones en este mismo monto. Si el contrato requiere una liquidación en efectivo, un agente de cálculo independiente consultará con negociantes para determinar el valor del mercado medio del bono disponible más barato, un número previamente designado de días después del evento de crédito. Suponga que este bono vale $35 por cada $100 de valor nominal. El beneficio en efectivo sería de 65 millones de dólares.

Los pagos regulares, trimestrales, semestrales o anuales, de parte del comprador de la protección al vendedor de ésta terminan cuando hay un evento de crédito. Sin embargo, como estos pagos se rea-

Figura 21.1 *Swap* de incumplimiento de crédito



lizan con retraso, se requiere un pago acumulado final de parte del comprador. En nuestro ejemplo, el comprador deberá pagar al vendedor el monto del pago anual acumulado entre el 1 de marzo y el 1 de junio de 2010 (aproximadamente $225,000), pero no se requerirán pagos adicionales.

El monto total pagado por año como un porcentaje del principal nocional se conoce como *spread CDS*. Algunos bancos importantes son creadores de mercado en el mercado de *swaps* de incumplimiento de crédito. Al cotizar un nuevo *swap* de incumplimiento de crédito a cinco años sobre una empresa, un creador de mercado podría demandar 250 puntos base y ofrecer 260 puntos base. Esto significa que el creador de mercado está dispuesto a comprar protección pagando 250 puntos base por año (es decir, 2.5% del principal por año) y vender protección en 260 puntos base por año (es decir, 2.6% del principal por año).

Tasa de recuperación

Cuando una empresa quiebra, los prestamistas a quienes la empresa debe dinero reclaman los activos de ésta. En ocasiones hay una reorganización en la que estos acreedores acuerdan un pago parcial de sus reclamaciones. En otros casos, el liquidador vende los activos y los ingresos se usan para satisfacer las reclamaciones tan pronto como sea posible. Por lo general, algunas reclamaciones tienen prioridades sobre otras y se satisfacen de manera más completa.

Por lo común, la tasa de recuperación de un bono se define como el valor del bono inmediatamente después de un incumplimiento, como un porcentaje de su valor nominal. La tabla 21.1 proporciona datos históricos sobre tasas de recuperación para distintas categorías de bonos en Estados Unidos de América. Esta tabla muestra que los tenedores de deuda senior asegurada tuvieron una tasa de recuperación promedio de 51.9 centavos por dólar de valor nominal, en tanto que los tenedores de deuda junior subordinada tuvieron una tasa de recuperación promedio de sólo 23.9 centavos por dólar de valor nominal.

Dada la forma de definir las tasas de recuperación, el beneficio obtenido de un CDS se expresa en términos de la tasa de recuperación. Este beneficio es $L(1 - R)$, donde L es el principal nocional y R es la tasa de recuperación.

Swaps de incumplimiento de crédito y rendimientos de bonos

Un CDS puede utilizarse para cubrir una posición en un bono corporativo. Suponga que un inversionista compra un bono corporativo a cinco años que proporciona un rendimiento de 7% anual sobre su valor nominal y que, al mismo tiempo, participa en un CDS a cinco años para comprar protección contra el incumplimiento del emisor del bono. Suponga que el *spread* CDS es de 200 puntos base por año (es decir, de 2%). El efecto del CDS es convertir el bono corporativo a un

Tabla 21.1 Tasas de recuperación sobre bonos corporativos, ponderadas por emisor, como un porcentaje del valor nominal, 1982-2005 (*Fuente*: Moody's)

Clase	*Tasa de recuperación promedio (%)*
Senior asegurada	51.9
Senior no asegurada	36.0
Senior subordinada	32.4
Subordinada	31.8
Junior subordinada	23.9

bono libre de riesgo (por lo menos aproximadamente). Si el emisor del bono no incumple, el inversionista gana 5% anual cuando el *spread* CDS se deduce del rendimiento del bono corporativo. En este caso, bajo los términos del CDS, el inversionista puede intercambiar el bono por su valor nominal. Este valor nominal se reinvierte a la tasa de interés libre de riesgo durante lo que resta de los cinco años.

El *spread* CDS a *n* años debe ser aproximadamente igual al excedente del rendimiento par sobre un bono corporativo a *n* años por arriba del rendimiento par sobre un bono libre de riesgo a *n* años. Si es mucho menor que este excedente, un inversionista puede ganar más que la tasa de interés libre de riesgo al comprar el bono corporativo y protección. Si es mucho mayor que este excedente, un inversionista puede adquirir un préstamo a una tasa menor que la tasa de interés libre de riesgo al vender en corto el bono corporativo y vender protección CDS. Éstos no son arbitrajes perfectos, pero casi lo son y guían la relación entre los *spreads* CDS y los rendimientos de bonos. En la sección 4.1 argumentamos que la tasa de interés libre de riesgo relevante para el análisis de derivados es una tasa LIBOR, no una tasa del Tesoro. Esto mismo es válido aquí.[2]

El bono cheapest to deliver

Por lo general, un CDS especifica que se pueden entregar diferentes bonos en caso de incumplimiento. Los bonos tienen la misma antigüedad, pero pueden no venderse al mismo porcentaje de su valor nominal inmediatamente después de un incumplimiento.[3] Esto otorga al tenedor de un CDS una opción sobre un bono *cheapest to deliver*. Cuando ocurre el incumplimiento, el comprador de la protección (o el agente de cálculo en caso de una liquidación en efectivo) revisa los bonos alternativos y elige para su entrega el que se adquiera a menor costo.

21.2 ÍNDICES DE CRÉDITO

Los participantes en los mercados de derivados de crédito han desarrollado índices para dar seguimiento a los *spreads* de *swaps* de incumplimiento de crédito. En 2004 se establecieron acuerdos entre diferentes productores de índices. Esto dio lugar a cierta consolidación. Entre los índices usados ahora están:

1. Los índices CDX NA IG a cinco y diez años dan seguimiento al *spread* de crédito (diferencial de crédito) de 125 empresas norteamericanas de grado de inversión
2. Los índices iTraxx Europa a cinco y diez años que dan seguimiento al *spread* de crédito de 125 empresas europeas de grado de inversión

Además de vigilar los *spreads* de crédito, los índices proporcionan a los participantes de mercado una manera de comprar o vender con facilidad una cartera de *swaps* de incumplimiento de crédito. Por ejemplo, un banco de inversión que actúa como creador de mercado podría cotizar el índice CDX NA IG a cinco años como demanda 65 puntos base, y como oferta 66 puntos base. En este caso, un inversionista podría comprar $800,000 de protección CDS a cinco años sobre cada una de

[2] Para un análisis de la tasa de interés libre de riesgo que usan los negociantes en los mercados de crédito, vea J. Hull, M. Predescu y A. White, "The Relationship between Credit Default Swap Spreads, Bond Yields, and Credit Rating Announcements", *Journal of Banking and Finance*, 28 (noviembre de 2004), pp. 2789-2811.

[3] Hay varias razones para esto. En general, la reclamación que se hace en caso de incumplimiento es igual al valor nominal del bono más el interés acumulado. Por lo tanto, los bonos con un interés acumulado alto en el momento del incumplimiento tienen precios más elevados inmediatamente después del incumplimiento. Además, el mercado puede determinar que, en el caso de una reorganización de la empresa, a algunos tenedores de bonos les vaya mejor que a otros.

las 125 empresas subyacentes por $660,000 anuales. (El inversionista también puede vender $800,000 millones de protección CDS sobre cada una de las 125 empresas subyacentes por $650,000 anuales). Cuando una empresa incumple, el pago anual se reduce en $660,000/125 = $5,280.[4]

21.3 DETERMINACIÓN DE SPREADS CDS

Los *spreads* CDS del mercado medio (es decir, el promedio de los *spreads* CDS de demanda y oferta que cotizan los intermediarios) se calculan a partir de las estimaciones de la probabilidad de incumplimiento. Ilustraremos esto con un ejemplo sencillo.

Suponga que la probabilidad de incumplimiento de parte de una entidad de referencia durante un año, con la condición de que no haya ningún incumplimiento previo, es de 2%.5.[5] La tabla 21.2 muestra las probabilidades de supervivencia y las probabilidades incondicionales de incumplimiento (es decir, las probabilidades de incumplimiento observadas en el tiempo cero) para cada uno de los cinco años. La probabilidad de incumplimiento durante el primer año es de 0.02 y la probabilidad de que la entidad de referencia sobreviva hasta el término del primer año es de 0.98. La probabilidad de un incumplimiento durante el segundo año es de $0.02 \times 0.98 = 0.0196$, y la probabilidad de supervivencia hasta el final del segundo año es de $0.98 \times 0.98 = 0.9604$. La probabilidad de incumplimiento durante el tercer año es de $0.02 \times 0.9604 = 0.0192$, etcétera.

Asumiremos que los incumplimientos siempre ocurren a mitad de año y que los pagos sobre el *swap* de incumplimiento de crédito se realizan una vez al año, al final de cada año. Además, asumimos que la tasa de interés libre de riesgo (LIBOR) es de 5% anual con una composición continua y que la tasa de recuperación es de 40%. El cálculo tiene tres partes, que se presentan en las tablas 21.3, 21.4 y 21.5.

La tabla 21.3 muestra el cálculo del valor presente esperado de los pagos sobre el CDS, asumiendo que se realizan a la tasa de s anual y que el principal nocional es de $1. Por ejemplo, hay una probabilidad de 0.9412 de que se realice el tercer pago de s. Por consiguiente, el pago esperado es de $0.9412s$ y su valor presente es $0.9412se^{-0.05\times 3} = 0.8101s$. El valor presente total de los pagos esperados es $4.0704s$.

Tabla 21.2 Probabilidades incondicionales de incumplimiento y probabilidades de supervivencia

Tiempo (años)	*Probabilidad de incumplimiento*	*Probabilidad de supervivencia*
1	0.0200	0.9800
2	0.0196	0.9604
3	0.0192	0.9412
4	0.0188	0.9224
5	0.0184	0.9039

[4] El índice es ligeramente menor que el promedio de los *spreads* de *swaps* de incumplimiento de crédito para las empresas incluidas en la cartera. Para entender la razón de esto, considere dos empresas, una con un *spread* de 1,000 puntos base y la otra con un *spread* de 10 puntos base. La compra de protección sobre ambas empresas costaría un poco menos de 505 puntos base por empresa. Esto se debe a que no se espera que los 1,000 puntos base se paguen durante el mismo tiempo que los 10 puntos base y, por lo tanto, implican menos peso.

[5] Las probabilidades condicionales de incumplimiento se conocen como tasas de riesgo. Aquí, la tasa de riesgo se expresa con una composición anual.

Tabla 21.3 Cálculo del valor presente de los pagos esperados
Pago = s anual

Tiempo (años)	*Probabilidad de supervivencia*	*Pago esperado*	*Factor de descuento*	*Valor presente del pago esperado*
1	0.9800	0.9800s	0.9512	0.9322s
2	0.9604	0.9604s	0.9048	0.8690s
3	0.9412	0.9412s	0.8607	0.8101s
4	0.9224	0.9224s	0.8187	0.7552s
5	0.9039	0.9039s	0.7788	0.7040s
Total				4.0704s

La tabla 21.4 muestra el cálculo del valor presente esperado del beneficio, asumiendo un principal nocional de $1. Como se mencionó anteriormente, asumimos que los incumplimientos siempre ocurren a mitad de año. Por ejemplo, hay una probabilidad de 0.0192 de obtener un beneficio a la mitad del tercer año. Puesto que la tasa de recuperación es de 40%, el beneficio esperado en este momento es de $0.0192 \times 0.6 \times 1 = 0.0115$. El valor presente del beneficio esperado es de $0.0115e^{-0.05\times2.5} = 0.0102$. El valor presente total de los beneficios esperados es de $0.0511.

Como paso final, en la tabla 21.5 evaluamos el pago acumulado realizado en caso de incumplimiento. Por ejemplo, hay una probabilidad de 0.0192 de que se realice un pago acumulado final a la mitad del tercer año. El pago acumulado es de 0.5s. Por consiguiente, en este momento el pago acumulado esperado es de $0.0192 \times 0.5s = 0.0096s$. Su valor presente es de $0.0096se^{-0.05\times2.5} = 0.0085s$. El valor presente total de los pagos acumulados esperados es de 0.0426s.

Con base en las tablas 21.3 y 21.5, el valor presente de los pagos esperados es de

$$4.0704s + 0.0426s = 4.1130s$$

Con base en la tabla 21.4, el valor presente del beneficio esperado es de 0.0511. Si igualamos los dos resultados, el *spread* CDS para un nuevo CDS se obtiene por medio de $4.1130s = 0.0511$ o $s = 0.0124$. El *spread* del mercado medio debe ser 0.0124 veces el principal o 124 puntos base por año. Este ejemplo está diseñado para ilustrar el método de cálculo. En la práctica podemos encontrar que los cálculos son más amplios que los de las tablas 21.3 a 21.5, porque: a) los pagos se rea-

Tabla 21.4 Cálculo del valor presente del beneficio esperado
Principal nocional = $1

Tiempo (años)	*Probabilidad de incumplimiento*	*Tasa de recuperación*	*Beneficio esperado ($)*	*Factor de descuento*	*Valor presente del beneficio esperado ($)*
0.5	0.0200	0.4	0.0120	0.9753	0.0117
1.5	0.0196	0.4	0.0118	0.9277	0.0109
2.5	0.0192	0.4	0.0115	0.8825	0.0102
3.5	0.0188	0.4	0.0113	0.8395	0.0095
4.5	0.0184	0.4	0.0111	0.7985	0.0088
Total					0.0511

Tabla 21.5 Cálculo del valor presente del pago acumulado

Tiempo (años)	*Probabilidad de incumplimiento*	*Pago acumulado esperado*	*Factor de descuento*	*Valor presente del pago acumulado esperado*
0.5	0.0200	0.0100*s*	0.9753	0.0097*s*
1.5	0.0196	0.0098*s*	0.9277	0.0091*s*
2.5	0.0192	0.0096*s*	0.8825	0.0085*s*
3.5	0.0188	0.0094*s*	0.8395	0.0079*s*
4.5	0.0184	0.0092*s*	0.7985	0.0074*s*
Total				0.0426*s*

lizan con más frecuencia que una vez al año, y b) podríamos asumir que los incumplimientos ocurren con más frecuencia que una vez al año.

Valuación de un CDS

Si el *swap* de incumplimiento de crédito de nuestro ejemplo se hubiera negociado hace algún tiempo a un *spread* de 150 puntos base, el valor presente de los pagos realizados por el comprador sería de $4.1130 \times 0.0150 = 0.0617$ y el valor presente del beneficio sería de 0.0511, igual que antes. Por lo tanto, el valor del *swap* para el vendedor sería de $0.0617 - 0.0511$, o 0.0106 veces el principal. Del mismo modo, el valor del *swap* para el comprador de protección sería $-$ 0.0106 veces el principal.

Probabilidades de incumplimiento

Los principales parámetros que se requieren para valuar *swaps* de incumplimiento de crédito son las probabilidades de incumplimiento. En la práctica, éstas se deducen de los precios de CDSs activamente negociados y después se usan para valuar CDSs que se negocian en forma menos activa. Además, a veces se deducen de los precios de bonos.

Suponga que cambiamos el ejemplo de las tablas 21.3, 21.4 y 21.5, de manera que no conozcamos las probabilidades de incumplimiento. En su lugar, sabemos que el *spread* CDS del mercado medio para un CDS a cinco años recién emitido es de 100 puntos base por año. Podemos invertir el planteamiento de nuestros cálculos para concluir que la probabilidad de incumplimiento implícita por año (con la condición de que no haya ningún incumplimiento previo) es de 1.61% anual.[6]

El uso de *spreads* CDS cotizados o precios de bonos cotizados para calcular las probabilidades de incumplimiento implícitas, requiere la estimación de la tasa de recuperación. Por lo general se usa la misma tasa de recuperación para: a) calcular las probabilidades de incumplimiento implícitas y b) valuar *swaps* de incumplimiento de crédito. El resultado neto de esto es que el valor de un CDS (o el cálculo de un *spread* CDS) no es muy sensible a la tasa de recuperación. Esto se debe a que las probabilidades de incumplimiento implícitas son aproximadamente proporcionales a $1/(1 - R)$ y los beneficios obtenidos de un CDS son proporcionales a $1 - R$, de tal modo que el beneficio esperado es casi independiente de R.

Las probabilidades de incumplimiento implícitas de *spreads* CDS o de precios de bonos son *probabilidades de incumplimiento neutrales al riesgo*. Éstas son las probabilidades de incumpli-

[6] En forma ideal, preferiríamos calcular una probabilidad de incumplimiento diferente para cada año en lugar de una sola tasa de incumplimiento. Podríamos hacer esto si tuviéramos *spreads* para *swaps* CDS o precios de bonos a 1, 2, 3, 4 y 5 años.

miento correctas que deben usarse al valuar un derivado de crédito.[7] Es tentador calcular probabilidades de incumplimiento a partir de datos históricos sobre incumplimientos proporcionados por agencias de calificación. Aún así, éstas son probabilidades de incumplimiento históricas del *mundo real* y no son adecuadas para valuar derivados. Las probabilidades de incumplimiento neutrales al riesgo son mucho más altas que las probabilidades de incumplimiento del mundo real. Las empresas que usan datos históricos de incumplimiento para valuar *swaps* de incumplimiento de crédito pueden considerar atractiva la venta de protección.

¿Por qué las probabilidades de incumplimiento del mundo real son inadecuadas para valuar derivados de crédito? Una institución financiera que vende protección de crédito se expone a sí misma a cierto riesgo sistemático (no diversificable). Cuando la economía se deteriora, más empresas incumplen y aumentan los beneficios sobre CDSs. La institución financiera necesita basar sus primas en más que probabilidades de incumplimiento del mundo real para recibir una compensación adecuada por asumir este riesgo sistemático.

Swaps de incumplimiento de crédito binarios

Un *swap* de incumplimiento de crédito binario se estructura de forma semejante a un *swap* de incumplimiento de crédito regular, excepto que el beneficio es un monto fijo en dólares. Suponga que, en el ejemplo presentado en las tablas 21.2 a 21.5, el beneficio es de $1, en vez de $1 - R$ dólares, y que el *spread* del *swap* es s. Las tablas 21.2, 21.3 y 21.5 son iguales. La tabla 21.4 se reemplaza con la tabla 21.6. El *spread* CDS para un nuevo CDS binario se obtiene por medio de

$$4.1130s = 0.0852$$

de modo que el *spread* CDS, s, es de 0.0207 o 207 puntos base.

En el caso de un CDS regular señalamos que hay muy poca sensibilidad a la tasa de recuperación siempre que se usa la misma tasa de recuperación para calcular las probabilidades de incumplimiento y valuar el CDS. Esto no ocurre en el caso de un CDS binario.

Swaps de incumplimiento de crédito de canasta

En un *basket credit default swap* o *swap de incumplimiento de crédito de canasta* hay varias entidades de referencia. Un *add up basket* CDS proporciona un beneficio cuando incumple cualquiera

Tabla 21.6 Cálculo del valor presente del beneficio esperado de un *swap* de incumplimiento de crédito binario. Principal = $1

Tiempo (años)	*Probabilidad de incumplimiento*	*Beneficio esperado ($)*	*Factor de descuento*	*Valor presente del beneficio esperado ($)*
0.5	0.0200	0.0200	0.9753	0.0195
1.5	0.0196	0.0196	0.9277	0.0182
2.5	0.0192	0.0192	0.8825	0.0170
3.5	0.0188	0.0188	0.8395	0.0158
4.5	0.0184	0.0184	0.7985	0.0147
Total				0.0852

[7] Esto se debe a que usamos una valuación neutral al riesgo para valuar el CDS. Calculamos los flujos de efectivo esperados en un mundo neutral al riesgo y los descontamos a la tasa de interés libre de riesgo.

Panorámica de negocios 21.2 ¿Es el mercado CDS un juego limpio?

Hay una diferencia importante entre los *swaps* de incumplimiento de crédito y los demás derivados *over the counter* que hemos abordado en este libro. Los demás derivados *over the counter* dependen de tasas de interés, tipos de cambio, índices de acciones, precios de *commodities*, etc. No hay razón para asumir que algún participante de mercado tenga mejor información sobre estas variables que los demás participantes.

Los *spreads* de *swaps* de incumplimiento de crédito dependen de la probabilidad de que una empresa específica incumpla sus pagos durante determinado periodo. Es discutible que algunos participantes de mercado tengan más información que otros para calcular esta probabilidad. Una institución financiera que trabaja de cerca con una empresa particular proporcionándole asesoría, realizando préstamos y manejando nuevas emisiones de títulos, puede tener más información sobre la solvencia de la empresa que otra institución financiera que no tiene tratos con ella. Los economistas se refieren a esto como un problema de *información asimétrica*.

Aún está por verse si la información asimétrica restringirá la expansión del mercado de *swaps* de incumplimiento de crédito. Las instituciones financieras destacan que la decisión de comprar protección contra el riesgo de incumplimiento de parte de una empresa la toma normalmente un administrador de riesgo, y no se basa en ninguna información especial sobre la empresa que pueda existir en alguna parte de la institución financiera.

de las entidades de referencia. Un CDS *first to default* (primero en incumplimiento) proporciona un beneficio únicamente cuando ocurre el primer incumplimiento. Un CDS *second to default* (segundo en incumplimiento) proporciona un beneficio sólo cuando ocurre el segundo incumplimiento. En términos generales, un CDS *nth to default* proporciona un beneficio sólo cuando ocurre el enésimo incumplimiento. Los beneficios se calculan en la misma forma que los de un CDS regular. Después de que ocurre el incumplimiento relevante, hay una liquidación. En este caso, el *swap* finaliza y ninguna de las partes realiza más pagos.

La correlación de incumplimiento entre ambas empresas es una medida de su tendencia a incumplir aproximadamente al mismo tiempo. Un *swap nth to default* es más difícil de valuar que un *swap* de incumplimiento de crédito regular, porque depende de la correlación de incumplimiento entre las entidades de referencia incluidas en la canasta. Por ejemplo, cuanto mayor sea la correlación de incumplimiento, menor será el *spread* CDS sobre un *swap first to default*.

Futuro del mercado de CDS

El mercado de *swaps* de incumplimiento de crédito creció con rapidez a finales de la década de 1990 y principios de la década de 2000. Los *swaps* de incumplimiento de crédito representan casi todas las transacciones de derivados de crédito y han llegado a ser herramientas importantes para administrar el riesgo de crédito. Una institución financiera puede reducir su exposición de crédito a empresas específicas mediante la compra de protección. Además, puede usar CDSs para diversificar el riesgo de crédito. Por ejemplo, si una institución financiera tiene demasiada exposición de crédito a determinado sector de negocios, puede comprar protección contra el incumplimiento de empresas del sector y, al mismo tiempo, vender protección contra el incumplimiento de empresas de otros sectores no relacionados.

Algunas personas creen que el crecimiento del mercado CDS continuará y que para 2010 será tan grande como el mercado de *swaps* de tasas de interés. Otras son menos optimistas. Como se señaló en la Panorámica de negocios 21.2, hay un posible problema de información asimétrica en el mercado de CDS que no está presente en los demás mercados de derivados *over the counter*.

A continuación, analizaremos otros derivados de crédito.

21.4 *SWAPS* DE RENDIMIENTO TOTAL

Un *total return swap* o *swap de rendimiento (o retorno) total* es un acuerdo para intercambiar el rendimiento total sobre un bono (o cualquier cartera de activos) por la tasa LIBOR más un margen. El rendimiento total incluye cupones, el interés y la ganancia o la pérdida sobre el activo durante la vida del *swap*.

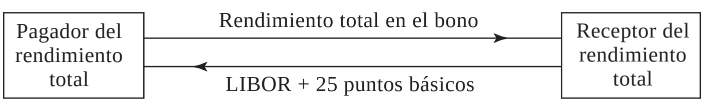
Un ejemplo de un *swap* de rendimiento total es un contrato a cinco años con un principal nocional de $100 millones para intercambiar el rendimiento total sobre un bono corporativo por la tasa LIBOR más 25 puntos base. Esto se ilustra en la figura 21.2. En las fechas de pago de cupón, el pagador paga los cupones obtenidos sobre una inversión de $100 millones en el bono. El receptor paga un interés a la tasa LIBOR más 25 puntos base sobre un principal de $100 millones. (La tasa LIBOR se establece en una fecha cupón y se paga en la siguiente, como en un *swap plain vanilla* de tasas de interés). Al final de la vida del *swap* hay un pago que refleja el cambio en el valor del bono. Por ejemplo, si el valor del bono aumenta 10% durante la vida del *swap*, el pagador debe pagar $10 millones (= 10% de $100 millones) al término de los cinco años. Del mismo modo, si el valor del bono disminuye 15%, el receptor debe pagar $15 millones al final de los cinco años. Si hay un incumplimiento sobre el bono, usualmente el *swap* termina y el receptor realiza un pago final que equivale al excedente de $100 millones sobre el valor de mercado del bono.

Si sumamos el principal nocional a ambas partes al final de la vida del *swap*, describimos el *swap* de rendimiento total de la manera siguiente. El pagador paga los flujos de efectivo sobre una inversión de $100 millones en el bono corporativo a 5%. El receptor paga los flujos de efectivo sobre un bono de $100 millones que paga la tasa LIBOR más 25 puntos base. Si el pagador es propietario del bono, el *swap* de rendimiento total le permite transferir el riesgo de crédito sobre el bono al receptor. Si no es propietario del bono, el *swap* de rendimiento total le permite tomar una posición corta en el bono.

Los *swaps* de rendimiento total se usan con frecuencia como una herramienta financiera. Un escenario que podría dar lugar al *swap* presentado en la figura 21.2 es el siguiente. El receptor desea financiamiento para invertir $100 millones en el bono de referencia. Acude al pagador (que es probablemente una institución financiera) y acuerda participar en el *swap*. Entonces, el pagador invierte $100 millones en el bono. Esto deja al receptor en la misma posición que habría tenido si hubiera adquirido dinero en préstamo a la tasa LIBOR más 25 puntos base para comprar el bono. El pagador mantiene la propiedad del bono durante la vida del *swap* y enfrenta menos riesgo de crédito del que habría asumido si hubiera prestado dinero al receptor para financiar la compra del bono, usando el bono como garantía del préstamo. Si el receptor incumple, el pagador no tiene el problema legal de tratar de recuperar su garantía. Los *swaps* de rendimiento total son similares a *repos* (acuerdos de recompra) (vea la sección 4.1) en cuanto a que están estructurados para minimizar el riesgo de crédito al financiar títulos.

El margen sobre la tasa LIBOR que recibe el pagador es una compensación por asumir el riesgo de que el receptor incumpla. El pagador perderá dinero si el receptor incumple cuando disminu-

Figura 21.2 *Swaps* de rendimiento total



ye el precio del bono de referencia. Por consiguiente, el margen depende de la calidad crediticia del receptor, la calidad crediticia del emisor del bono y la correlación entre ambas.

Hay algunas variaciones del acuerdo estándar que hemos descrito. A veces, en lugar de que haya un pago en efectivo por el cambio en el valor del bono, hay una liquidación física en la que el pagador intercambia el activo subyacente por el principal nocional cuando termina la vida del *swap*. En ocasiones, los pagos por el cambio en el valor del bono se realizan periódicamente, no todos al final. En este caso, el *swap* es semejante a un *swap* de acciones (vea la sección 20.3).

21.5 CDS *FORWARDS* Y OPCIONES SOBRE CDS

Un *swap* de incumplimiento de crédito *forward* es la obligación para comprar o vender un *swap* de incumplimiento de crédito específico sobre cierta entidad de referencia en determinada fecha futura *T*. Si la entidad de referencia incumple antes de la fecha *T*, el contrato de futuros deja de existir. Por consiguiente, un banco podría participar en un contrato de futuros para vender protección a cinco años sobre una empresa por 280 puntos base, la cual empieza en un año. Si la empresa incumple durante el siguiente año, la obligación del banco bajo el contrato de futuros deja de existir.

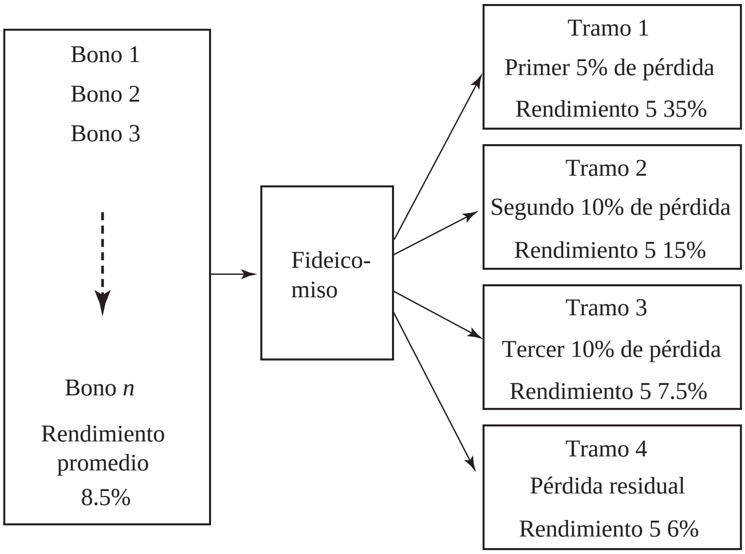
Una opción de *swap* de incumplimiento de crédito es una opción para comprar o vender un *swap* de incumplimiento de crédito en particular sobre una entidad de referencia en particular en un tiempo *T* futuro en particular. Por ejemplo, un inversionista podría negociar el derecho a comprar protección a cinco años sobre una empresa por 280 puntos base, que comienza en un año. Ésta es una opción de compra. Si el *spread* CDS a cinco años para la empresa resulta ser mayor de 280 puntos base dentro de un año, la opción se ejercerá; de lo contrario, no se ejercerá. El costo de la opción se pagaría por adelantado. Del mismo modo, un inversionista podría negociar el derecho a vender protección a cinco años sobre una empresa por 280 puntos base, que comienza en un año. Ésta es una opción de venta. Si el spread CDS a cinco años para la empresa resulta ser menor de 280 puntos base dentro de un año, la opción se ejercerá; de lo contrario, no se ejercerá. De nuevo, el costo de la opción se pagaría por adelantado. Al igual que los CDS *forwards*, las opciones sobre CDS se suelen estructurar de tal modo que dejarán de existir si la entidad de referencia incumple antes del vencimiento de la opción.

Un contrato de opción que se negocia en ocasiones en el mercado de derivados de crédito es una opción de compra sobre una canasta de entidades de referencia. Si hay *m* entidades de referencia en la canasta que no hayan incumplido para el vencimiento de la opción, ésta otorga al tenedor el derecho a comprar una cartera de CDSs sobre los nombres por *mK* puntos base, donde *K* es el precio de ejercicio. Además, el tenedor obtiene el beneficio CDS usual sobre cualquier entidad de referencia que sí incumpla durante la vida del contrato.

21.6 OBLIGACIONES DE DEUDA GARANTIZADAS

Las obligaciones de deuda garantizadas (CDOs, por sus siglas en inglés) han aumentado en popularidad en los últimos años. Una CDO es una manera de crear títulos con diversas características de riesgo a partir de una cartera de instrumentos de deuda. La figura 21.3 ilustra un ejemplo en el que se crean cuatro tipos de títulos (o tramos) a partir de una cartera de bonos. El primer tramo tiene 5% del principal total del bono y absorbe todas las pérdidas de crédito de la cartera durante la vida de la CDO hasta que éstas lleguen a 5% del principal total del bono. El segundo tramo tiene 10% del principal y absorbe todas las pérdidas durante la vida de la CDO que excedan a 5% del princi-

Figura 21.3 Obligación de deuda garantizada



pal, hasta un máximo de 15% de éste. El tercer tramo tiene 10% del principal y absorbe todas las pérdidas que excedan a 15% del principal hasta un máximo de 25% de éste. El cuarto tramo tiene 75% del principal y absorbe todas las pérdidas que excedan al 25% del principal. Los rendimientos presentados en la figura 21.3 son las tasas de interés pagadas a los tenedores de tramos. Estas tasas se pagan sobre el saldo del principal restante en el tramo después de pagar las pérdidas. Considere el tramo 1. Inicialmente, el rendimiento de 35% se paga sobre el monto total que invirtieron los tenedores del tramo 1. No obstante, después de experimentar pérdidas equivalentes a 1% del principal total del bono, los tenedores del tramo 1 han perdido 20% de su inversión y sólo se paga el rendimiento sobre 80% del monto original invertido. En ocasiones, ¡al tramo 1 se le denomina basura tóxica! Una pérdida por incumplimiento de 2.5% sobre la cartera de bonos se traduce en una pérdida de 50% del principal del tramo. En contraste, el tramo 4 recibe generalmente una calificación AAA. Los incumplimientos sobre la cartera de bonos deben exceder a 25% antes de que los tenedores de este tramo sean responsables de cualesquier pérdidas de crédito.

Normalmente, el creador de la CDO mantiene el tramo 1 y vende en el mercado los tramos restantes. Una CDO proporciona una manera de crear una deuda de alta calidad a partir de una deuda de calidad promedio (o incluso de baja calidad). El riesgo para el comprador de los tramos 2, 3 o 4 depende de la correlación de incumplimiento entre los emisores de los instrumentos de deuda que integran la cartera. Cuanto menor sea la correlación, mayor será la calificación otorgada a los tramos 2, 3 y 4.

CDOs sintéticas

La CDO de la figura 21.3 se conoce como CDO en efectivo. Una estructura alternativa es una CDO sintética en la que el creador de la CDO vende una cartera de *swaps* de incumplimiento de crédito a terceras partes y después transfiere el riesgo de incumplimiento a los tenedores de tramos de la

CDO sintética. Como en la figura 21.3, el primer tramo podría ser responsable de los beneficios sobre los *swaps* de incumplimiento de crédito hasta alcanzar 5% del principal nocional total, el segundo tramo podría ser responsable de los beneficios entre 5% y 15% del principal nocional total, etc. El ingreso de los swaps de incumplimiento de crédito se distribuye entre los tramos de manera que refleje el riesgo que asumen. Por ejemplo, el primer tramo podría obtener 3,000 puntos base, el segundo tramo 1,000 puntos base, y así sucesivamente. Al igual que en una CDO en efectivo, éste se pagaría sobre un principal que disminuye a medida que ocurren los incumplimientos que son responsabilidad del tramo.

Negociación de un solo tramo

En la sección 21.2 analizamos las carteras de 125 empresas que se usan para generar los índices CDX e iTraxx. El mercado utiliza estas carteras para definir tramos CDO estándar. La negociación de estos tramos estándar se conoce como *single tranche trading* o *negociación de un solo tramo*. Una negociación de un solo tramo es un contrato en el que una de las partes acuerda vender protección contra pérdidas sobre un tramo y la otra parte acuerda comprarla. El tramo no forma parte de una CDO sintética, pero los flujos de efectivo se calculan cómo si lo fuera. El tramo se denomina “no financiado” porque no se creó por medio de la venta de swaps de incumplimiento de crédito o de la compra de bonos.

En el caso del índice CDX NA IG, el tramo subordinado (*equity tranche*) cubre pérdidas entre 0 y 3% del principal. El segundo tramo, conocido como *tramo mezzanine* o *mezzanine tranche*, cubre pérdidas entre 3 y 7%. Los tramos restantes cubren pérdidas de 7 a 10, 10 a 15 y 15 a 30%. En el caso del índice iTraxx Europa, el tramo subordinado cubre pérdidas entre 0 y 3%. El tramo *mezzanine* cubre pérdidas entre 3 y 6%; los tramos restantes cubren pérdidas de 6 a 9, 9 a 12 y 12 a 22%.

La tabla 21.7 muestra las cotizaciones del mercado medio para tramos CDX e iTraxx a cinco años correspondientes al 30 de agosto de 2005. En esa fecha, el nivel del índice CDX fue de 50 puntos base y el del índice iTraxx fue de 36.375 puntos base. Por ejemplo, el precio de mercado medio de la protección *mezzanine* para el índice CDX IG NA fue de 127 puntos base por año, en tanto que para el índice iTraxx Europa fue de 81 puntos base por año. Observe que el tramo subordinado se cotiza de manera diferente a los demás. La cotización de mercado de 40% para el índice CDX significa que el vendedor de la protección recibe un pago inicial de 40% del principal más un margen de 500 puntos base por año. Del mismo modo, la cotización de mercado de 24% para el índice iTraxx significa que el vendedor de la protección recibe un pago inicial de 24% del principal más un margen de 500 puntos base por año.

Tabla 21.7 Tramos CDX IG NA e iTraxx Europa a cinco años el 30 de agosto de 2005. Las cotizaciones se indican en puntos base, excepto el tramo 0-3% (*Fuente*: Reuters)

CDX IG NA					
Tramo	0–3%	3–7%	7–10%	10–15%	15–30%
Cotización	40%	127	35.5	20.5	9.5
iTraxx Europe					
Tramo	0–3%	3–6%	6–9%	9–12%	12–22%
Cotización	24%	81	26.5	15	9

RESUMEN

Los derivados de crédito permiten que los bancos y otras instituciones financieras administren activamente sus riesgos de crédito. Se usan para transferir el riesgo de crédito de una empresa a otra y diversificarlo al cambiar un tipo de exposición por otro.

El derivado de crédito más común es el *swap* de incumplimiento de crédito. Éste es un contrato en el que una empresa compra un seguro contra el incumplimiento de las obligaciones de otra empresa. Por lo general, el beneficio es la diferencia entre el valor nominal de un bono emitido por la segunda empresa y su valor inmediato después de un incumplimiento. Los *swaps* de incumplimiento de crédito se analizan calculando el valor presente de los pagos esperados y el valor presente del beneficio esperado.

Un *swap* de rendimiento total es un instrumento que intercambia el rendimiento total sobre una cartera de activos crediticios por la tasa LIBOR más un margen. Los swaps de rendimiento total se usan con frecuencia como instrumentos de financiamiento. Una empresa que desea comprar un activo financiero puede recurrir a una institución financiera para comprar el activo a su nombre. Entonces, la institución financiera participa junto con la empresa en un *swap* de rendimiento total en el que paga a la empresa el rendimiento sobre el activo y recibe la tasa LIBOR más un margen. La ventaja de este tipo de acuerdo es que la institución financiera reduce su exposición a incumplimientos de parte de la empresa.

Un *swap* de incumplimiento de crédito *forward* es una obligación para participar en un *swap* de incumplimiento de crédito específico en la fecha de vencimiento. Una opción sobre un *swap* de incumplimiento de crédito es el derecho a participar en un *swap* de incumplimiento de crédito específico a su vencimiento. Ambos instrumentos dejan de existir si la entidad de referencia incumple antes de la fecha de vencimiento.

En las obligaciones de deuda garantizadas se crean diferentes títulos a partir de una cartera de bonos corporativos o préstamos comerciales. Hay reglas que determinan la forma de asignar las pérdidas de crédito a los títulos. El resultado de las reglas es que, a partir de la cartera se crean títulos con calificaciones de crédito tanto muy altas como muy bajas. Una obligación de deuda garantizada sintética crea una serie similar de títulos a partir de *swaps* de incumplimiento de crédito.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Andersen, L., J. Sidenius y S. Basu, "All Your Hedges in One Basket", *Risk*, noviembre de 2003.

Andersen, L. y J. Sidenius, "Extensions to the Gaussian Copula: Random Recovery and Random Factor Loadings", *Journal of Credit Risk*, 1, no. 1 (invierno de 2004), pp. 29-70.

Das, S., *Credit Derivatives: Trading & Management of Credit & Default Risk*. Singapur: Wiley, 1998.

Hull, J.C. y A. White, "Valuation of a CDO and *n*th to Default Swap without Monte Carlo Simulation", *Journal of Derivatives*, 12, No. 2 (invierno de 2004), pp. 8-23.

Hull, J.C. y A. White, "The Perfect Copula", documento de trabajo, Universidad de Toronto.

Laurent, J.P. y J. Gregory, "Basket Default Swaps, CDOs and Factor Copulas", documento de trabajo, ISFA Actuarial School, Universidad de Lyon, 2003.

Li, D. X., "On Default Correlation: A Copula Approach", *Journal of Fixed Income*, marzo de 2000, pp. 43-54.

Tavakoli, J.M., *Credit Derivatives: A Guide to Instruments and Applications*. Nueva York: Wiley, 1998.

Schönbucher, P.J., *Credit Derivatives Princing Models*. Wiley, 2003.

Examen (respuestas al final del libro)

21.1. Explique la diferencia entre un *swap* de incumplimiento de crédito regular y un *swap* de incumplimiento de crédito binario.

21.2. Un *swap* de incumplimiento de crédito requiere un pago semestral a la tasa de 60 puntos base por año. El principal es de $300 millones y el *swap* de incumplimiento de crédito se liquida en efectivo. Ocurre un incumplimiento después de cuatro años y dos meses, y el agente de cálculo estima que el precio del bono disponible más barato equivale a 40% de su valor nominal poco tiempo después del incumplimiento. Enumere los flujos de efectivo y sus tiempos para el vendedor del *swap* de incumplimiento de crédito.

21.3. Explique las dos maneras de liquidar un *swap* de incumplimiento de crédito.

21.4. Explique cómo se crean una CDO en efectivo y una CDO sintética.

21.5. Explique qué es un *swap* de incumplimiento de crédito *first to default*. ¿Aumenta o disminuye su valor a medida que se incrementa la correlación de incumplimiento entre las empresas? Explique por qué.

21.6. Explique la diferencia entre las probabilidades de incumplimiento neutral al riesgo y del mundo real.

21.7. Explique por qué un *swap* de rendimiento total puede ser útil como una herramienta de financiamiento.

Preguntas y problemas

21.8. Suponga que la curva cero libre de riesgo es plana en 7% anual con una composición continua y que es posible que ocurran incumplimientos a mitad de cada año en un nuevo *swap* de incumplimiento de crédito a cinco años. Además, suponga que la tasa de recuperación es de 30% y que la probabilidad de incumplimiento cada año es de 3% con la condición de que no haya ningún incumplimiento previo. Calcule el *spread* del *swap* de incumplimiento de crédito. Asuma que los pagos se realizan anualmente.

21.9. ¿Cuál es el valor del *swap* del problema 21.8 por dólar de principal nocional para el comprador de protección si el *spread* del *swap* de incumplimiento de crédito es de 150 puntos base?

21.10. ¿Cuál es el *spread* del *swap* de incumplimiento de crédito del problema 21.8 si es un CDS binario?

21.11. ¿Cómo funciona un *swap* de incumplimiento de crédito *nth to default* a cinco años? Considere una canasta de 100 entidades de referencia en la que cada una tiene una probabilidad de incumplimiento de 1% anual. A medida que aumenta la correlación de incumplimiento entre las entidades de referencia, ¿qué esperaría que ocurriera con el valor del *swap* cuando a) $n = 1$ y b) $n = 25$? Explique su respuesta.

21.12. ¿Cómo se define generalmente la tasa de recuperación de un bono?

21.13. Demuestre que el *spread* de un CDS *plain vanilla* debe ser $1 - R$ veces el *spread* de un nuevo CDS binario similar, donde R es la tasa de recuperación.

21.14. Compruebe que si el *spread* CDS del ejemplo presentado en las tablas 21.2 a 21.5 es de 100 puntos base, la probabilidad de incumplimiento en un año (con la condición de que no haya ningún incumplimiento previo) sea de 1.61%. ¿Cómo cambia la probabilidad de incumplimiento cuando la tasa de recuperación es de 20% en vez de 40%? Asegúrese de que su respuesta concuerde con que la probabilidad de incumplimiento implícita sea aproximadamente proporcional a $1/(1 - R)$, donde R es la tasa de recuperación.

21.15. Una empresa participa en un *swap* de rendimiento total en el que recibe el rendimiento sobre un bono corporativo con un cupón de 5% y paga la tasa LIBOR. Explique la diferencia entre este *swap* y uno regular que intercambia 5% por la tasa LIBOR.

21.16. Explique cómo se estructuran los contratos a plazo y las opciones sobre *swaps* de incumplimiento de crédito.

21.17. "La posición de un comprador de un *swap* de incumplimiento de crédito es similar a la de alguien que tiene una posición larga en un bono libre de riesgo y una posición corta en un bono corporativo". Explique esta afirmación.

21.18. ¿Por qué hay un posible problema de información asimétrica en los *swaps* de incumplimiento de crédito?

21.19. La valuación de un CDS con el uso de probabilidades de incumplimiento del mundo real en vez de probabilidades de incumplimiento neutrales al riesgo, ¿sobreestima o subestima su valor? Explique su respuesta.

Preguntas de tarea

21.20. Suponga que la curva cero libre de riesgo es plana en 6% anual con una composición continua y que es posible que ocurran incumplimientos en 0.25, 0.75, 1.25 y 1.75 años en un *swap* de incumplimiento de crédito *plain vanilla* a dos años con pagos semestrales. Además, suponga que la tasa de recuperación es de 20% y que las probabilidades incondicionales de incumplimiento (observadas en el tiempo cero) son de 1% en 0.25 años y 0.75 años y de 1.5% en 1.25 años y 1.75 años. ¿Cuál es el *spread* del *swap* de incumplimiento de crédito? ¿Cuál sería el *spread* si el instrumento fuera un *swap* de incumplimiento de crédito binario?

21.21. Asuma que la probabilidad de incumplimiento para una empresa en un año, siempre que no haya ningún incumplimiento previo, es l y que la tasa de recuperación es R. La tasa de interés libre de riesgo es de 5% anual. El incumplimiento siempre ocurre a mitad del año. El spread para un CDS plain vanilla a cinco años en el que los pagos se realizan anualmente es de 120 puntos base y el spread para un CDS binario a cinco años en el que los pagos se realizan anualmente es de 160 puntos base. Calcule R y λ.

21.22. Explique cómo esperaría que cambiaran los rendimientos ofrecidos sobre los diversos tramos de una CDO si aumentara la correlación entre los bonos incluidos en la cartera.

21.23. Suponga que: a) el rendimiento sobre un bono libre de riesgo a cinco años es de 7%; b) el rendimiento sobre un bono corporativo a cinco años emitido por la empresa X es de 9.5%, y c) un swap de incumplimiento de crédito a cinco años que proporciona seguro contra el incumplimiento de la empresa X cuesta 150 puntos base por año. ¿Qué oportunidad de arbitraje hay en esta situación? ¿Qué oportunidad de arbitraje habría si el *spread* de incumplimiento de crédito fuera de 300 puntos base en vez de 150? Ofrezca dos razones que expliquen por qué las oportunidades como las que identificó no son perfectas.

CAPÍTULO 22 Derivados del clima, energía y seguros

En este capítulo examinamos algunas innovaciones recientes en los mercados de derivados. Explicamos los productos que se han desarrollado para administrar los riesgos climáticos, del precio de la energía y los que enfrentan las empresas de seguros. Algunos de los mercados que analizaremos están en las etapas iniciales de su desarrollo. A medida que maduren, podríamos ver cambios significativos tanto en los productos que se ofrecen como en la forma de usarlos.

22.1 DERIVADOS DEL CLIMA

Muchas empresas están en una situación en la que su desempeño es susceptible a los efectos negativos del clima.[1] Para ellas tiene sentido considerar la cobertura de su riesgo climático de manera muy parecida a la cobertura de los riesgos cambiarios o de tasas de interés.

Los primeros derivados del clima *over the counter* se introdujeron en 1997. Para comprender cómo funcionan, explicamos dos variables:

HDD: grados al día de calentamiento

CDD: grados al día de enfriamiento

El HDD de un día se define como

$$\text{HDD} = \text{máx}(0, 65 - A)$$

y el CDD de un día se define como

$$\text{CDD} = \text{máx}(0, A - 65)$$

donde A es el promedio de la temperatura más alta y más baja durante el día en una estación específica, medida en grados Fahrenheit. Por ejemplo, si la temperatura máxima durante un día (de medianoche a medianoche) es de 68° Fahrenheit y la temperatura mínima es de 44° Fahrenheit, $A = 56$. En este caso, el HDD diario es de 9 y el CDD diario es de 0.

[1] El Departamento de Energía de EUA ha estimado que la séptima parte de la economía estadounidense está sujeta al riesgo climático.

Un producto típico *over the counter* es un contrato a plazo o de opciones que proporciona un beneficio que depende del HDD o CDD acumulativo durante un mes. Por ejemplo, un negociante de derivados podría vender a un cliente, en enero de 2008, una opción de compra sobre el HDD acumulativo observado durante febrero de 2009 en la estación meteorológica del Aeropuerto O'Hare de Chicago, con un precio de ejercicio de $700 y una tasa de pago de $10,000 por grado al día. Si el HDD activo real es de 820, el beneficio es de $1.2 millones. Con frecuencia, los contratos incluyen un pago máximo. Si el pago máximo de nuestro ejemplo es de $1.5 millones, el contrato equivale a un *bull spread*. El cliente tiene una posición larga en una opción de compra sobre el HDD acumulativo, con un precio de ejercicio de $700, y una posición corta en una opción de compra con un precio de ejercicio de $850.

El HDD de un día es una medida del volumen de energía requerido para calentamiento durante el día. El CDD de un día es una medida del volumen de energía requerido para enfriamiento durante el día. Los productores y consumidores de energía son quienes participan en la mayoría de los contratos de derivados del clima. Sin embargo, las tiendas al detalle, las cadenas de supermercados, los productores de alimentos y bebidas; empresas como las de servicios de la salud, las agrícolas y las de la industria de la recreación, también son usuarios potenciales de derivados del clima. La Weather Risk Management Association (`www.wrma.org`) se fundó para servir a los intereses de la industria de la administración del riesgo climático.

En septiembre de 1999, la Bolsa Mercantil de Chicago comenzó a negociar futuros del clima y opciones europeas sobre futuros del clima. Los contratos se basan en los HDD y CDD acumulativos durante un mes, observados en una estación meteorológica.[2] Los contratos se liquidan en efectivo justo después de que finaliza el mes, en cuanto se conocen los HDD y CDD. Un contrato de futuros se establece sobre $100 por el HDD o CDD acumulativo. La empresa Earth Satellite Corporation calcula el HDD y el CDD con equipo automatizado de recolección de datos.

En la sección 21.1 señalamos que los beneficios de los derivados de crédito tienen riesgo sistemático y que las probabilidades de incumplimiento calculadas a partir de datos históricos no deben usarse con fines de valuación. No hay ningún riesgo sistemático relacionado con los beneficios de los derivados del clima. Por lo tanto, éstos pueden valuarse usando datos históricos. Por ejemplo, considere la opción de compra sobre el HDD observado durante febrero de 2008 en la estación meteorológica del Aeropuerto O'Hare de Chicago, que se mencionó anteriormente. Podríamos recolectar 50 años de datos y estimar una distribución de probabilidades del HDD. A su vez, ésta podría utilizarse para obtener una distribución de probabilidades del beneficio de la opción. Nuestro cálculo del valor de la opción sería la media de esta distribución descontada a la tasa libre de riesgo. Podríamos ajustar la distribución de probabilidades de las tendencias de la temperatura. Por ejemplo, una regresión lineal podría mostrar que el HDD acumulativo de febrero disminuye a una tasa de 10 por año en promedio. Así, el resultado de la regresión se usaría para estimar una distribución de probabilidades ajustada a la tendencia para el HDD de febrero de 2008.

22.2 DERIVADOS DE ENERGÍA

Las compañías de energía están entre los usuarios de derivados más activos y complejos. Muchos productos de energía se negocian tanto en el mercado *over the counter* como en bolsas. En esta sección examinaremos la negociación de derivados de petróleo crudo, gas natural y electricidad.

[2] La CME ha introducido contratos para 10 estaciones meteorológicas diferentes (Atlanta, Chicago, Cincinnati, Dallas, Des Moines, Las Vegas, Nueva York, Filadelfia, Portland y Tucson).

Petróleo crudo

El petróleo crudo es uno de los *commodities* más importantes del mundo con una demanda global que asciende aproximadamente a 80 millones de barriles diarios. Los contratos de suministro de precio fijo a 10 años han sido comunes en el mercado *over the counter* durante muchos años. Estos contratos son *swaps* que intercambian petróleo a precio fijo por petróleo a precio variable.

En la década de 1970, el precio del petróleo fue altamente volátil. La guerra de 1973 en el Medio Oriente triplicó los precios del petróleo. La caída del Sha de Irán a finales de la década de 1970 incrementó nuevamente los precios. Estos acontecimientos hicieron que los productores y usuarios de petróleo reconocieran la necesidad de herramientas más complejas para administrar el riesgo del precio del petróleo. En la década de 1980, tanto el mercado *over the counter* como el que cotiza en bolsa desarrollaron productos para satisfacer esta necesidad.

En el mercado *over the counter*, casi cualquier derivado que está disponible sobre acciones ordinarias o índices bursátiles lo está ahora sobre el petróleo como el activo subyacente. Los *swaps*, los contratos a plazo y las opciones son populares. Algunas veces, los contratos requieren una liquidación en efectivo y otras una liquidación por medio de la entrega física (es decir, la entrega del petróleo).

También son populares los contratos cotizados en bolsa. La Bolsa Mercantil de Nueva York (NYMEX) y la Bolsa Internacional del Petróleo (IPE) negocian varios contratos de futuros de petróleo y contratos de opciones sobre futuros de petróleo. Algunos de los contratos de futuros se liquidan en efectivo; otros mediante entrega física. Por ejemplo, los futuros de petróleo crudo de Brent que se negocian en IPE tienen una liquidación en efectivo basada en el precio del índice Brent; los futuros de crudo *light sweet* que se negocian en NYMEX requieren una entrega física. En ambos casos, la cantidad de petróleo subyacente a un contrato es de 1,000 barriles. Además, NYMEX negocia contratos populares sobre dos productos refinados: gasóleo de calefacción y gasolina. En ambos casos, un contrato entrega 42,000 galones.

Gas natural

En todo el mundo, la industria del gas natural ha experimentado un periodo de desregulación y de eliminación de monopolios gubernamentales. Actualmente, el proveedor de gas natural no es necesariamente la misma empresa que el productor del gas. Los proveedores se enfrentan al problema de satisfacer la demanda diaria.

Un contrato *over the counter* típico entrega una cantidad específica de gas natural a una tasa más o menos uniforme durante un periodo de un mes. Hay contratos a plazo, opciones y *swaps* disponibles en el mercado *over the counter*. Por lo general, el vendedor de gas es responsable de transportarlo a través de gasoductos hasta el sitio específico.

NYMEX negocia un contrato para la entrega de 10,000 millones de unidades térmicas británicas de gas natural. Si no se liquida, el contrato requiere que se realice la entrega física durante el mes de entrega a una tasa más o menos uniforme a un centro específico de Louisiana. IPE negocia un contrato similar en Londres.

Electricidad

La electricidad es un *commodity* poco usual porque no puede almacenarse fácilmente.[3] En cualquier momento, el suministro máximo de electricidad en una región lo determina la capacidad

[3] Los productores de electricidad con capacidad excesiva la usan a veces para bombear agua hasta lo más alto de sus plantas hidroeléctricas para que se pueda utilizar y producir electricidad en un tiempo posterior. Esto es lo más parecido a almacenar este *commodity*.

máxima de todas las plantas productoras de electricidad de la región. En Estados Unidos de América hay 140 regiones conocidas como *áreas de control*. Primero, la demanda y la oferta se igualan dentro de un área de control y cualquier excedente de electricidad se vende a otras áreas de control. Esta electricidad excedente es la que constituye el mercado mayorista de electricidad. La capacidad de un área de control para vender electricidad a otra área de control depende de la capacidad de transmisión de las líneas eléctricas entre ambas áreas. La transmisión de un área a otra implica un costo de transmisión que cobra el propietario de la línea; por lo general hay algunas pérdidas de transmisión o de energía.

Un uso importante de la electricidad es para el funcionamiento de sistemas de aire acondicionado. En consecuencia, la demanda de electricidad, y por lo tanto su precio, es mucho mayor en los meses de verano que en los de invierno. La dificultad para almacenar la electricidad ocasiona a veces grandes variaciones en el precio *spot*. Se sabe que las ondas cálidas aumentan el precio *spot* hasta 1000% durante periodos cortos.

Al igual que el gas natural, la electricidad ha experimentado un periodo de desregulación y de eliminación de monopolios gubernamentales. Esto ha estado acompañado por el desarrollo de un mercado de derivados de electricidad. En la actualidad, NYMEX negocia un contrato de futuros sobre el precio de la electricidad, y además hay un activo mercado *over the counter* de contratos a plazo, opciones y *swaps*. Un contrato normal (cotizado en bolsa y *over the counter*) permite a una parte recibir un número específico de horas megawatt a cierto precio en un lugar determinado durante un mes específico. En un contrato 5×8, se recibe la electricidad cinco días a la semana (de lunes a viernes), en las horas de menor consumo (de 11 P.M. a 7 A.M.), durante el mes específico. En un contrato 5×16, se recibe la electricidad cinco días a la semana, en las horas de mayor consumo (de 7 A.M. a 11 P.M.), durante el mes específico. En un contrato 7×24, se recibe durante todo el día, todos los días del mes. Los contratos de opciones tienen un ejercicio diario o mensual. En el caso del ejercicio diario, el tenedor de la opción puede elegir recibir cada día del mes (notificando con un día de anticipación) la cantidad de electricidad específica al precio de ejercicio determinado. Cuando el ejercicio es mensual, se toma la decisión, al inicio del mes, de recibir la electricidad de todo el mes al precio de ejercicio determinado.

Un contrato interesante de los mercados de electricidad y gas natural es lo que se conoce como *opción swing* (opción oscilante) u *opción take and pay*. En este contrato, la cantidad mínima y máxima de electricidad que debe comprar el tenedor de la opción a determinado precio se especifica para cada día de un mes y para todo el mes. El tenedor de la opción puede cambiar (hacer oscilar) la tasa a la que se compra la electricidad durante el mes, aunque generalmente hay un límite en el número total de cambios que pueden realizarse.

Características de los precios de la energía

Al igual que los precios de las acciones, los precios de la energía muestran volatilidad. A diferencia de los precios de las acciones, muestran estacionalidad y reversión a la media (vea la sección 19.7 para un análisis de la reversión a la media). La estacionalidad se debe a la demanda temporal de energía y a las dificultades para almacenarla. La reversión a la media surge debido a que los desequilibrios entre la oferta y la demanda a corto plazo hacen que los precios se alejen de su promedio de temporada, pero una vez que se restablecen las condiciones de mercado normales, los precios tienden a regresar al promedio de temporada. En el caso del petróleo crudo, la volatilidad, la estacionalidad y la reversión a la media son relativamente bajas. En el caso del gas natural son un poco altas, y en el caso de la electricidad son mucho mayores. Una volatilidad típica para el petróleo es de 20% anual; para el gas natural es de 40% anual, y para la electricidad está con frecuencia entre 100 y 200% anual.

Cobertura de riesgos por un productor de energía

Los riesgos que enfrenta un productor de energía tienen dos componentes. Uno es el riesgo relacionado con el precio de mercado de la energía (el riesgo de precio); el otro es el riesgo relacionado con la cantidad de energía que se comprará (el riesgo de volumen). Aunque los precios se ajustan para reflejar los volúmenes, hay una relación menos que perfecta entre ambos y los productores de energía deben tomarlos en cuenta al desarrollar una estrategia de cobertura. El riesgo de precio puede cubrirse usando los contratos de derivados de energía analizados en esta sección. Los riesgos de volumen pueden cubrirse utilizando los derivados del clima analizados en la sección anterior. Defina:

Y: utilidad de un mes

P: precios de energía promedio del mes

T: temperatura relevante variable (HDD o CDD) del mes

Un productor de energía puede usar datos históricos para obtener la relación de regresión lineal más adecuada de la fórmula

$$Y = a + bP + cT + \epsilon$$

donde ϵ es el término de error. En este caso, el productor de energía puede cubrir los riesgos del mes tomando una posición de $-b$ en contratos a plazo o de futuros de energía y una posición de $-c$ en contratos a plazo o de futuros del clima. La relación también se usa para analizar la eficacia de estrategias alternativas de opciones.

22.3 DERIVADOS DE SEGUROS

Cuando se usan con fines de cobertura, los contratos de derivados tienen muchas de las características de los contratos de seguros. Ambos tipos de contratos están diseñados para proporcionar protección contra acontecimientos adversos. No es sorprendente que muchas compañías de seguros tengan subsidiarias que negocien derivados ni que muchas de las actividades de estas compañías se estén volviendo muy parecidas a las de los bancos de inversión.

Por tradición, la industria de seguros ha cubierto su exposición a riesgos catastróficos (CAT), como huracanes y terremotos, usando una práctica conocida como reaseguro. Los contratos de reaseguro adquieren muchas formas. Suponga que una compañía de seguros tiene una exposición de $100 millones a terremotos en California y desea limitar esta exposición a $30 millones. Una alternativa es participar en contratos anuales de reaseguro que cubran en forma proporcional 70% de su exposición. Si un terremoto en California reclama $50 millones en un año específico, los costos para la empresa serían únicamente de $15 millones. Otra alternativa más popular, que requiere primas de reaseguro más bajas, consiste en comprar una serie de contratos de reaseguro que cubran lo que se conoce como *capas de exceso de costo*. La primera capa podría proporcionar indemnización por pérdidas entre $30 y $40 millones, la siguiente capa podría cubrir pérdidas entre $40 y $50 millones, etc. Cada contrato de reaseguro se conoce como contrato de reaseguro de *exceso de pérdida*. La reaseguradora expide un *bull spread* sobre las pérdidas totales; mantiene una posición larga en una opción de compra con un precio de ejercicio igual al extremo inferior de la capa y una posición corta en una opción de compra con un precio de ejercicio igual al extremo superior de la capa.[4]

---

[4] Incluso en ocasiones el reaseguro se ofrece en forma de suma global si se llega a cierto nivel de pérdida. En este caso, la reaseguradora expide una opción de compra binaria *cash or nothing* sobre las pérdidas.

Tradicionalmente, los principales proveedores de reaseguro CAT han sido empresas reaseguradoras y consorcios de Lloyds (que son consorcios de responsabilidad limitada de gente adinerada). En los últimos años, la industria ha llegado a la conclusión de que sus necesidades de reaseguro han sobrepasado lo que proporcionan estas fuentes tradicionales, por lo que ha buscado nuevas formas de obtener reaseguro de los mercados de capital. Uno de los acontecimientos que hizo que la industria reconsiderara sus prácticas fue el huracán Andrew en 1992, que generó alrededor de $15,000 millones en costos de seguros en Florida. Esto excedió al total de primas de seguros relevantes recibidas en Florida durante los siete años anteriores. Si el huracán Andrew hubiera afectado a Miami, se estima que las pérdidas aseguradas habrían excedido los $40,000 millones. El huracán Andrew y otras catástrofes han dado lugar a incrementos de las primas de seguro y reaseguro.

La CBOT desarrolló los contratos de futuros de seguros que cotizan en bolsa, pero no han tenido mucho éxito. El mercado *over the counter* ha diseñado varios productos alternativos al reaseguro tradicional. El más popular es el bono CAT. Éste es un bono emitido por una subsidiaria de una empresa de seguros que paga una tasa de interés más alta de lo normal. A cambio del interés adicional, el tenedor del bono acepta participar en un contrato de reaseguro de exceso de pérdida. Dependiendo de los términos del bono CAT, se pueden utilizar los intereses, el principal, o ambos, para satisfacer las reclamaciones. En el ejemplo arriba considerado, en el que una empresa de seguros desea protección contra pérdidas entre $30 y $40 millones por terremotos en California, la empresa de seguros podría emitir bonos CAT con un principal total de $10 millones. En caso de que sus pérdidas por terremotos en California excedieran los $30 millones, los tenedores de bonos perderían parte o todo su principal. Como una alternativa, la empresa de seguros cubriría esta capa de exceso de costo realizando una emisión de bonos mucho mayor en la que únicamente estén en riesgo los intereses de los tenedores de bonos.

En general, los bonos CAT proporcionan una probabilidad alta de una tasa de interés por arriba de lo normal y una probabilidad baja de una pérdida elevada. ¿Por qué se interesarían los inversionistas en estos instrumentos? La respuesta es que no hay correlaciones estadísticamente significativas entre los riesgos CAT y los rendimientos de mercado.[5] Por consiguiente, los bonos CAT son un complemento atractivo para la cartera de un inversionista. No tienen riesgo sistemático, por lo que su riesgo total se puede diversificar totalmente en una cartera grande. Si el rendimiento esperado de un bono CAT es mayor que la tasa de interés libre de riesgo (y comúnmente lo es), tiene la posibilidad de mejorar la relación riesgo/rendimiento.

RESUMEN

Este capítulo ha mostrado que cuando es necesario administrar riesgos, los mercados de derivados han sido muy innovadores al desarrollar productos para satisfacer las necesidades del mercado.

En el mercado de derivados del clima se esrrollaron dos medidas, HDD y CDD, para describir la temperatura durante un mes. Estas medidas se usan para definir los beneficios sobre derivados tanto cotizados en bolsa como *over the counter*. Sin duda, a medida que se desarrolle el mercado de derivados del clima, veremos que los contratos sobre lluvia, nieve y variables similares se harán más comunes.

En los mercados de energía, los derivados de petróleo han sido importantes durante algún tiempo y juegan un rol clave ayudando a los productores y consumidores de petróleo a administrar su riesgo de precio. Los derivados de gas natural y electricidad son relativamente nuevos. Se volvie-

---

[5] Vea R.H. Litzenberger, D.R. Beaglehole y C.E. Reynolds. "Assessing Catastrophe Reinsurance-Linked Securities as a New Asset Class", *Journal of Portfolio Management* (invierno de 1996). pp. 76-86.

ron importantes para la administración de riesgos con la desregulación de estos mercados y la eliminación de los monopolios gubernamentales.

En la actualidad, los derivados de seguros comienzan a ser una alternativa al reaseguro tradicional como una estrategia para que las empresas de seguros administren los riesgos de un acontecimiento catastrófico, como un huracán o terremoto. Probablemente veremos que otros tipos de seguros (por ejemplo, seguros de vida y seguros automotrices) se estabilizarán a medida que se desarrolle este mercado.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Sobre derivados del clima

Arditti, F.L. Cai, M. Cao y R. McDonald. "Whether to Hedge", *RISK*: Supplement on *Weather Risk* (agosto de 1999), pp. 9-12.
Cao, M. y J. Wei. "Weather Derivatives Valuation and the Market Price of Weather Risk", *Journal of Futures Markets*, 24, 11 (noviembre de 2004), pp. 1065-89.
Hunter, R. "Managing Mother Nature", *Derivatives Strategy* (febrero de 1999).

Sobre derivados de energía

Clewlow, L. y C. Strickland. *Energy Derivatives: Pricing and Risk Management*. Lacima Group, 2000.
Eydeland, A. y H. Geman. "Pricing Power Derivatives", *Risk* (octubre de 1998), pp. 71-73.
Joskow, P. "Electricity Sectors in Transition", *The Energy Journal*, 19 (1998), pp. 25-52.
Kendall, R. "Crude Oil: Price Shocking", *Risk Supplement on Commodity Risk* (mayo de 1999).

Sobre derivados de seguros

Canter, M.S., J.B. Cole y R.L. Sandor. "Insurance Derivatives: A New Asset Class for the Capital Markets and a New Hedging Tool for the Insurance Industry", *Journal of Applied Corporate Finance* (otoño de 1997), pp. 69-83.
K.A. Froot. "The Market for Catastrophe Risk: A Clinical Examination", *Journal of Financial Economics*, 60 (2001), pp. 529-71.
K.A. Froot. *The Financing of Catastrophe Risk*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.
Geman, H. "CAT Calls", *Risk* (septiembre de 1994), pp. 86-89.
Hanley, M. "A Catastrophe Too Far", "*Risk Supplement on Insurance* (julio de 1998).
Litzenberger, R.H., D.R. Beaglehole y C.E. Reynolds. "Assessing Catastrophe Reinsurance-Linked Securities as a New Asset Class", *Journal of Portfolio Management* (invierno de 1996), pp. 76-86.

Examen (respuestas al final del libro)

22.1. ¿Qué significan HDD y CDD?

22.2. Suponga que cada día de julio la temperatura mínima es de 68° Fahrenheit y la temperatura máxima es de 82° Fahrenheit. ¿Cuál es el beneficio de una opción de compra sobre el CDD acumulativo durante julio con un precio de ejercicio de $250 y una tasa de pago de $5,000 por grado al día?

22.3. ¿Cómo se estructura un contrato a plazo típico de gas natural?

22.4. ¿Por qué el precio de la electricidad es más volátil que el de otras fuentes de energía?

22.5. ¿Por qué es posible basar la valuación de un contrato de derivados del clima y de un bono CAT en probabilidades calculadas a partir de datos históricos?

22.6. ¿Cómo puede un productor de energía usar los mercados de derivados para cubrir riesgos?

22.7. Explique cómo funcionan los bonos CAT.

Preguntas y problemas

22.8. "El HDD y el CDD se pueden considerar como beneficios obtenidos de opciones sobre la temperatura". Explique esta afirmación.

22.9. Suponga que tiene a su disposición datos sobre la temperatura de 50 años. Explique el análisis que llevaría a cabo para calcular el CDD acumulativo *forward* del próximo mes de julio.

22.10. ¿Esperaría que la reversión a la media ocasionara que la volatilidad del precio *forward* a tres meses de una fuente de energía fuera mayor o menor que la volatilidad del precio *spot*? Explique su respuesta.

22.11. Explique cómo funciona un contrato de opción 5×8 para mayo de 2008 sobre electricidad con un ejercicio diario. Explique cómo funciona un contrato de opción 5×8 para mayo de 2008 sobre electricidad con un ejercicio mensual. ¿Cuál vale más?

22.12. Considere dos bonos que tienen el mismo cupón, tiempo al vencimiento y precio. Uno es un bono corporativo con calificación B. El otro es un bono CAT. Un análisis basado en datos históricos muestra que las pérdidas esperadas sobre los dos bonos en cada año de su vida son iguales. ¿Qué bono aconsejaría comprar a un administrador de cartera y por qué?

Pregunta de tarea

22.13. Las pérdidas de un tipo específico de una empresa de seguros tienen, con una aproximación razonable, una distribución normal, con una media de $150 millones y una desviación estándar de $50 millones. (Asuma que no hay ninguna diferencia entre las pérdidas en un mundo neutral al riesgo y las pérdidas en el mundo real). La tasa libre de riesgo a un año es de 5%. Calcule el costo de lo siguiente:

a. Un contrato que pagará en un año 60% de los costos de la empresa de seguros en forma proporcional.

b. Un contrato que paga $100 millones en un año si las pérdidas exceden a $200 millones.

23 CAPÍTULO

Errores en el uso de derivados y lo que nos enseñan

Desde mediados de la década de 1980 ha habido algunas pérdidas espectaculares en los mercados de derivados. Las Panorámicas de negocios 23.1 y 23.2 enumeran algunas de las pérdidas que han experimentado instituciones financieras y organizaciones no financieras. Lo sorprendente de estas listas es la cantidad de situaciones en que las actividades de un solo empleado han generado pérdidas enormes. En 1995, las negociaciones de Nick Leeson ocasionaron la caída de Barings, un banco británico con 200 años de antigüedad; en 1994, las negociaciones de Robert Citron hicieron que el Condado de Orange, un municipio de California, perdiera alrededor de $2,000 millones. Las negociaciones de Joseph Jett para Kidder Peabody perdieron $350 millones. En 2002 salieron a la luz las pérdidas por $700 millones que John Rusnak generó al Allied Irish Bank. En 2006, el fondo de cobertura Amaranth perdió $6,000 millones, debido a los riesgos comerciales que asumió Brian Hunter. Las cuantiosas pérdidas de Daiwa, Shell y Sumitomo fueron también, en cada caso, el resultado de las actividades de una sola persona.

Estas pérdidas no deben ser vistas como una crítica a toda la industria de derivados. El mercado de derivados es un mercado de muchos billones de dólares que, de acuerdo con la mayoría de las medidas, ha sido sorprendentemente exitoso y ha satisfecho adecuadamente las necesidades de sus usuarios. Citamos a Alan Greenspan (mayo de 2003):

> El uso de una gama cada vez mayor de derivados y la aplicación relacionada de métodos más complejos para medir y administrar el riesgo, son factores clave que respaldan la mejor capacidad de recuperación de nuestros mayores intermediarios financieros.

Los acontecimientos enumerados en las Panorámicas de negocios 23.1 y 23.2 representan una pequeña proporción del total de negociaciones (tanto en cantidad como en valor). Sin embargo, vale la pena analizar cuidadosamente las lecciones que podemos aprender de ellos. Esto es lo que haremos en este capítulo final.

23.1 LECCIONES PARA TODOS LOS USUARIOS DE DERIVADOS

En primer lugar, analizamos las lecciones adecuadas para todos los usuarios de derivados, ya sean empresas financieras o no financieras.

Panorámica de negocios 23.1 Grandes pérdidas de instituciones financieras

Allied Irish Bank
Este banco perdió alrededor de $700 millones debido a las actividades especulativas de uno de sus negociantes de divisas, John Rusnak, las cuales duraron varios años. Rusnak ocultó sus pérdidas mediante la creación de negociaciones de opciones ficticias.

Amaranth
Este fondo de cobertura perdió $6,000 millones al apostar en la dirección futura de los precios del gas natural.

Barings (*vea página 17*)
Este banco británico, con 200 años de antigüedad, desapareció en 1995 debido a las actividades de un negociante, Nick Leeson, en Singapur. El negociante tenía la orden de realizar operaciones de arbitraje entre cotizaciones de futuros sobre el índice Nikkei 225 en Singapur y Osaka. En vez de ello hizo apuestas fuertes sobre la dirección futura de este índice usando futuros y opciones. La pérdida total fue de aproximadamente $1,000 millones.

Daiwa Bank
Un negociante que trabajaba en Nueva York para este banco japonés perdió más de $1,000 millones en la década de 1990.

Kidder Peabody (*vea* página 102)
Las actividades de un solo negociante, Joseph Jett, ocasionaron que este agente de inversiones de Nueva York perdiera $350 millones con la negociación de títulos del gobierno de Estados Unidos de América y sus *strips*. (Los *strips* se crean cuando cada uno de los flujos de efectivo subyacentes a un bono se vende como un título separado). La pérdida se debió a un error en la forma en que el sistema de cómputo de la empresa calculó las utilidades.

Long-Term Capital Management (*vea* página 30)
Este fondo de cobertura perdió alrededor de $4,000 millones en 1998. La estrategia que siguió el fondo fue el arbitraje de convergencia, la cual consistió en tratar de identificar dos títulos casi idénticos cuyos precios estuvieran temporalmente desalineados entre sí. La empresa compraría el título más barato y vendería en corto el más costoso, cubriendo cualquier riesgo residual. A mediados de 1998, la empresa se vio seriamente perjudicada por la ampliación de los *spreads* de crédito como resultado de incumplimientos sobre bonos rusos. El fondo de cobertura se consideraba demasiado grande como para quebrar. La Reserva Federal de Nueva York organizó una operación de rescate de $3,500 millones animando a 14 bancos a invertir en el fondo.

Midland Bank
Este banco británico perdió $500 millones a principios de la década de 1990, debido principalmente a una apuesta equivocada sobre la dirección de las tasas de interés. Más tarde fue adquirido por el Hong Kong and Shangai Bank.

National Westminster Bank
En 1997, este banco británico perdió alrededor de $130 millones por usar un modelo inadecuado para valuar opciones sobre *swaps*.

Defina los límites de riesgo

Es fundamental que todas las empresas definan en forma clara e inequívoca los límites de los riesgos financieros que se pueden asumir, y establecer procedimientos para garantizar que se respeten. Idealmente, los límites de riesgo generales se deben establecer a nivel del consejo administrativo.

Panorámica de negocios 23.2 Grandes pérdidas de organizaciones no financieras

Allied Lyons
El departamento de tesorería de esta empresa de alimentos y bebidas perdió $150 millones en 1991, con la venta de opciones de compra sobre el tipo de cambio entre el dólar estadounidense y la libra esterlina.

Gibson Greetings
El departamento de tesorería de esta fábrica de tarjetas de felicitación de Cincinnati perdió alrededor de $20 millones en 1994, al negociar con Bankers Trust contratos de derivados de tasas de interés excesivamente exóticos. Posteriormente demandó a Bankers Trust y resolvió la disputa de manera extrajudicial.

Hammersmith and Fulham (*vea página 178*)
Esta autoridad local británica perdió alrededor de $600 millones con la negociación de opciones y *swaps* de tasas de interés en libras esterlinas en 1988.Las cortes británicas anularon posteriormente todos sus contratos, para disgusto de los bancos que participaron en las transacciones.

Metallgesellschaft (*vea página 67*)
Esta empresa alemana participó en contratos a largo plazo para suministrar petróleo y gasolina, y los cubrió renovando contratos de futuros a corto plazo. Perdió $1,800 millones cuando fue obligada a interrumpir esta actividad.

Condado de Orange (*vea página 84*)
Las actividades del tesorero, Robert Citron, ocasionaron que este municipio de California perdiera alrededor de $2,000 millones en 1994. El tesorero usaba derivados para especular que las tasas de interés no subirían.

Procter & Gamble (*vea página 456*)
El departamento de tesorería de esta importante empresa estadounidense perdió alrededor de $90 millones en 1994 al negociar con Bankers Trust contratos de derivados de tasas de interés demasiado exóticos. Posteriormente demandó a Bankers Trust y resolvió la disputa fuera de la corte.

Shell
Un empleado que trabajaba en la subsidiaria japonesa de esta empresa perdió $1,000 millones en la negociación no autorizada de futuros sobre divisas.

Sumitomo
Un negociante que trabajaba para esta empresa japonesa perdió alrededor de $2,000 millones en el mercado *spot*, de futuros y de opciones de cobre en la década de 1990.

Estos límites, luego, debieran ser aplicables a los responsables de la administración de riesgos específicos. Los informes diarios deben indicar la ganancia o la pérdida que se experimentará al realizar cambios específicos en las variables de mercado. Estas ganancias o pérdidas deben cotejarse con las ganancias y pérdidas reales obtenidas para asegurar que los procedimientos de valuación en que se basan los informes sean exactos.

Es muy importante que las empresas vigilen detalladamente los riesgos cuando usen derivados. Esto se debe a que, como vimos en el capítulo 1, los derivados se utilizan con fines de cobertura, especulación o arbitraje. Sin una vigilancia cercana, es imposible saber si un negociante de derivados ha dejado de ser coberturista o arbitrajista para convertirse en especulador. Barings es un ejemplo clásico de cómo es posible desviarse. La orden para Nick Leeson era realizar operaciones de arbitraje de bajo riesgo entre los mercados de Singapur y Osaka de futuros sobre el índice

Nikkei 225. Sin saberlo sus superiores en Londres, Leeson dejó de actuar como arbitrajista para hacer grandes apuestas sobre la dirección futura del índice Nikkei 225. Los sistemas de Barings eran tan inadecuados que nadie estaba al tanto de lo que Leeson hacía.

En este caso el argumento no es que no se deban asumir riesgos. Un tesorero que trabaja para una corporación, un negociante de una institución financiera o un administrador de fondos, deben estar autorizados para tomar posiciones sobre la dirección futura de variables de mercado relevantes. No obstante, es necesario limitar los tamaños de las posiciones que pueden tomarse y los sistemas locales deben informar con exactitud los riesgos que se han de asumir.

Tome con seriedad los límites de riesgo

¿Qué ocurre si un individuo excede los límites de riesgo y gana una utilidad? Éste es un asunto complicado para la alta dirección. Es tentador ignorar las violaciones de los límites de riesgo cuando se obtienen utilidades. Sin embargo, ésta no es una actitud con poca visión de futuro, ya que genera una cultura que no toma en serio los límites de riesgo y prepara el camino para un desastre. En muchas de las situaciones enumeradas en las Panorámicas de negocios 23.1 y 23.2, las empresas se volvieron complacientes con relación a los riesgos que asumían porque en años anteriores habían asumido riesgos similares y ganaron utilidades.

Aquí, el ejemplo clásico es el Condado de Orange. Las actividades de Robert Citron en 1991-1993 habían sido muy rentables para el condado y el municipio había llegado a confiar en sus negociaciones para obtener financiamiento adicional. La gente prefirió ignorar los riesgos que tomó Robert debido a que estaban produciendo beneficios. Por desgracia, las pérdidas generadas en 1994 excedieron con mucho las utilidades de años anteriores.

Las sanciones por exceder los límites de riesgo deben ser iguales tanto al obtener utilidades como al sufrir pérdidas. De otro modo, los negociantes que experimentan pérdidas siguen aumentando sus apuestas con la esperanza de que a la larga obtendrán una utilidad y serán perdonados.

No asuma que es posible anticiparse al mercado

Posiblemente algunos negociantes sean mejores que otros, pero no todos obtienen buenos resultados todo el tiempo. Un negociante que predice correctamente la dirección en que cambiarán las variables de mercado 60% de las veces está teniendo un buen desempeño. Si un negociante tiene una trayectoria sorprendente (como ocurrió con Robert Citron a principios de la década de 1990), es probable que esto sea resultado de la suerte, más que de habilidades de negociación superiores.

Suponga que una institución financiera emplea a 16 negociantes y uno de ellos obtiene utilidades cada trimestre de un año. ¿Debe recibir el negociante un buen bono? ¿Debe aumentar la institución financiera los límites de riesgo del negociante? La respuesta a la primera pregunta es que, inevitablemente, el negociante recibirá un buen bono. La respuesta a la segunda pregunta debe ser no. La probabilidad de obtener una utilidad en cuatro trimestres consecutivos de negociaciones al azar es de 0.5^4, o 1 en 16. Esto significa que únicamente por azar uno de los 16 negociantes obtendrá buenos resultados cada trimestre del año. No se debe asumir que la suerte del negociante continuará ni debemos aumentar sus límites de riesgo.

No subestime los beneficios de la diversificación

Cuando un negociante parece ser bueno para predecir una variable de mercado específica, hay una tendencia a aumentar sus límites. Hemos argumentado que ésta es una mala idea porque es muy probable que el negociante haya sido más afortunado que astuto. No obstante, supongamos que estamos realmente convencidos de que el negociante tiene talentos especiales. ¿Qué tan no diversificados debemos volvernos para aprovechar las habilidades especiales del negociante? La respuesta es que los beneficios de la diversificación son enormes y es poco probable que algún negociante sea tan bueno que valga la pena ignorar estos beneficios para especular fuertemente sólo en una variable de mercado.

Un ejemplo ilustrará esta cuestión. Suponga que hay 20 acciones y cada una ellas tiene un rendimiento esperado de 10% anual y una desviación estándar de rendimientos de 30%. La correlación entre los rendimientos de cualquier par de acciones es de 0.2. Al dividir equitativamente una inversión entre las 20 acciones, un inversionista tiene un rendimiento esperado de 10% anual y una desviación estándar de rendimientos de 14.7%. La diversificación permite al inversionista reducir los riesgos en más de la mitad. Otra manera de expresar esto es que también le permite a un inversionista duplicar el rendimiento esperado por unidad de riesgo asumido. El inversionista tendría que ser extremadamente bueno al escoger acciones para obtener una mejor relación riesgo/rendimiento invirtiendo en una sola acción.

Realice análisis de escenarios y pruebas de estrés

El cálculo de medidas de riesgo, como el VaR, debe acompañarse siempre de análisis de escenarios y pruebas de estrés para llegar a entender qué puede fallar. Esto se mencionó en el capítulo 18. Los análisis de escenarios y las pruebas de estrés son muy importantes. Por desgracia, los seres humanos tendemos a aferrarnos a uno o dos escenarios al evaluar decisiones. Por ejemplo, en 1993 y 1994, Procter & Gamble y Gibson Greetings estaban tan convencidas de que las tasas de interés permanecerían bajas que ignoraron la posibilidad de un aumento de 100 puntos base en su toma de decisiones.

Es importante ser creativos en la forma de generar escenarios. Una estrategia consiste en observar los datos de 10 o 20 años y elegir como escenarios los acontecimientos más extremos. En ocasiones hay una escasez de datos sobre una variable clave. Entonces lo práctico es elegir una variable parecida y para la que haya más datos disponibles, además de usar cambios porcentuales diarios históricos de esa variable como un sustituto de posibles cambios porcentuales diarios de la variable clave. Por ejemplo, si hay pocos datos sobre los precios de bonos emitidos por un país específico, podemos buscar datos históricos sobre precios de bonos emitidos por países en igualdad de circunstancias para desarrollar posibles escenarios.

23.2 LECCIONES PARA LAS INSTITUCIONES FINANCIERAS

Ahora analizaremos las lecciones relevantes sobre todo para las instituciones financieras.

Vigile cuidadosamente a los negociantes

En las salas de negociación existe la tendencia a considerar a los negociantes de alto desempeño como “intocables” y no someter sus actividades al mismo escrutinio que a los demás. Aparentemente, Joseph Jett, el negociante estrella de instrumentos de la tesorería de Kidder Peabody, estaba siempre “demasiado ocupado” para responder preguntas y analizar sus posiciones con los administradores de riesgo de la empresa.

Es importante que todos los negociantes rindan cuentas, sobre todo los que obtienen grandes utilidades. Es fundamental para la institución financiera saber si las grandes utilidades se obtienen asumiendo riesgos irracionalmente altos. Además, es conveniente verificar que los sistemas de cómputo y los modelos de valuación de la institución financiera sean correctos y no puedan ser manipulados de algún modo.

Separe el *front, middle* y *back office*

El *front office* de una institución financiera consiste en los negociantes que realizan transacciones, toman posiciones, etc. El *middle office* está integrado por administradores de riesgo que vigilan los riesgos que se asumen. El *back office* es donde se realizan la contabilidad y la gestión de registros. Algunos de los peores desastres relacionados con derivados han ocurrido debido a que estas funciones no se mantuvieron separadas. Nick Leeson controlaba tanto el *front* como el *back office* de Barings en Singapur y, en consecuencia, pudo ocultar durante algún tiempo a sus superiores en Londres la naturaleza desastrosa de sus negociaciones.

No confíe ciegamente en los modelos

Algunas de las grandes pérdidas en las que han incurrido las instituciones financieras surgieron debido a los modelos y sistemas de cómputo que utilizaron. En la Panorámica de negocios 5.1 analizamos cómo Kidder Peabody fue mal informado por sus propios sistemas. Otro ejemplo de un modelo incorrecto que generó pérdidas es el del National Westminster Bank. Este banco tenía un modelo incorrecto para valuar opciones sobre *swaps*, lo cual ocasionó pérdidas significativas.

Si se reportan grandes utilidades al seguir estrategias de negociación relativamente sencillas, hay una buena posibilidad de que los modelos usados para el cálculo de las utilidades sean incorrectos. Del mismo modo, si una institución financiera parece ser particularmente competitiva en sus cotizaciones de un tipo específico de acuerdo, hay una buena posibilidad de usar un modelo diferente obtenido de otros participantes del mercado, por lo que la institución financiera debe analizar con gran cuidado lo que ocurre. Para el jefe de una sala de negociaciones, lograr demasiados negocios de cierto tipo puede ser tan preocupante como tener muy pocos.

Sea conservador al reconocer las ganancias al inicio

Cuando una institución financiera vende un instrumento altamente exótico a una corporación no financiera, la valuación puede depender mucho del modelo subyacente. Por ejemplo, las opciones sobre tasas de interés intercaladas con vencimiento a largo plazo pueden depender mucho del modelo de tasas de interés utilizado. En estas circunstancias, una frase que se usa para describir el ajuste al mercado diario del acuerdo es *marking to model* o *ajuste al modelo*. Esto se debe a que no hay precios de mercado para acuerdos similares que puedan utilizarse como referencia.

Suponga que una institución financiera logra vender un instrumento a un cliente en \$10 millones más de lo que vale, o por lo menos en \$10 millones más de lo que su modelo dice que vale. El monto de \$10 millones se conoce como *inception profit* o *ganancias al inicio*. ¿Cuándo se debe reconocer? Al parecer hay una gran variación en lo que hacen distintos bancos de inversión. Algunos reconocen inmediatamente los \$10 millones, en tanto que otros son mucho más conservadores y los reconocen de manera gradual durante la vida del acuerdo.

El reconocimiento inmediato de las ganancias al inicio es muy peligroso, ya que anima a los negociantes a usar modelos agresivos, recibir sus bonos e irse antes de analizar minuciosamente el modelo y el valor del acuerdo. Es mucho mejor reconocer de manera gradual las ganancias al inicio, de tal manera que los negociantes tengan la motivación de investigar el impacto de diversos modelos y series de supuestos antes de comprometerse con un acuerdo.

No venda a los clientes productos inadecuados

Es tentador vender a los clientes corporativos productos inadecuados, sobre todo cuando parecen tener interés en los riesgos subyacentes. Sin embargo, ésta es una actitud con poca visión de futuro.

El ejemplo más dramático de esto son las actividades de Bankers Trust (BT) en el periodo anterior a la primavera de 1994. A muchos de los clientes se les persuadió a comprar productos de alto riesgo y completamente inadecuados. Un producto típico (por ejemplo, el *swap* 5/30 analizado en el Panorama de negocios 20.4) proporcionaría al cliente una buena oportunidad de ahorrar algunos puntos base sobre sus endeudamientos y una escasa posibilidad de gastar un monto importante de dinero. Los productos funcionaron bien para los clientes de BT en 1992 y 1993, pero explotaron en 1994 cuando las tasas de interés aumentaron abruptamente. La mala publicidad resultante perjudicó en gran manera a BT. Los años que dedicó a fomentar la confianza entre clientes corporativos y a desarrollar una envidiable reputación en la innovación de derivados, se perdieron casi por completo como consecuencia de las actividades de algunos vendedores excesivamente agresivos. BT se vio obligado a pagar enormes cantidades de dinero a sus clientes para resolver las demandas de manera extrajudicial. En 1999 fue adquirido por Deutsche Bank.

No ignore el riesgo de liquidez

Generalmente, la ingeniería financiera basa la valuación de instrumentos exóticos e instrumentos que se negocian relativamente con poca frecuencia en los precios de instrumentos negociados en forma activa. Por ejemplo:

1. Un ingeniero de finanzas suele calcular una curva cero con base en bonos del gobierno que se negocian activamente (conocidos como bonos *on the run*) y la usa para valuar bonos que se negocian con menos frecuencia (bonos *off the run*).
2. Un ingeniero de finanzas deduce frecuentemente la volatilidad de un activo a partir de opciones que se negocian de manera activa y la usa para valuar opciones que se negocian en forma menos activa.
3. Con frecuencia, un ingeniero de finanzas deduce información sobre el comportamiento de las tasas de interés a partir de *caps* de tasas de interés y opciones sobre *swaps* que se negocian de manera activa, y la usa para valuar productos altamente estructurados.

Estas prácticas no son irracionales. Aún así, es peligroso asumir que los instrumentos que se negocian de manera menos activa pueden negociarse siempre a un precio cercano a su precio teórico. Cuando los mercados financieros sufren un impacto de cualquier tipo, se da con frecuencia una “huida hacia la calidad”. La liquidez se vuelve muy importante para los inversionistas y los instrumentos ilíquidos se venden frecuentemente con grandes descuentos respecto de sus valores teóricos. Las estrategias de negociación que asumen que se pueden vender grandes volúmenes de instrumentos relativamente ilíquidos a corto plazo a un precio cercano a sus valores teóricos, son peligrosas.

Un ejemplo de riesgo de liquidez es el de Long-Term Capital Management (LTCM), que analizamos en la sección 2.4. Este fondo de cobertura siguió una estrategia conocida como *arbitraje de convergencia*, con la que intentó identificar dos títulos (o carteras de títulos) que, en teoría, debían venderse al mismo precio. Si el precio de mercado de un título era menor que el del otro, compraría ese título y vendería el otro. La estrategia se basa en la idea de que si dos títulos tienen el mismo precio teórico, en algún momento sus precios de mercado deben ser iguales.

En el verano de 1998, LTCM experimentó una enorme pérdida a causa principalmente de que el incumplimiento de Rusia sobre su deuda ocasionó una huida hacia la calidad. LTCM tendía a mantener una posición larga en instrumentos ilíquidos y una posición corta en los instrumentos líquidos correspondientes (por ejemplo, mantenía una posición larga en bonos *off the run* y una posición corta en bonos *on the run*). Los márgenes de precios entre los instrumentos ilíquidos y los instrumentos líquidos correspondientes se ampliaron en gran manera después del incumplimiento ruso. LTCM estaba altamente apalancada, por lo que tuvo tan grandes pérdidas y tantas demandas de garantía adicional sobre sus posiciones, que fue incapaz de cumplir.

La historia de LTCM reafirma la importancia de llevar a cabo análisis de escenarios y pruebas de estrés para considerar lo que podría ocurrir en la peor de las situaciones. LTCM podría haber tratado de examinar otras épocas pasadas en las que ha habido grandes huidas hacia la calidad, para cuantificar los riesgos de liquidez a que se enfrentaba.

Tenga cuidado cuando todos siguen la misma estrategia de negociación

En ocasiones sucede que muchos participantes de mercado siguen básicamente la misma estrategia de negociación. Esto crea un ambiente peligroso en el que puede haber grandes movimientos del mercado, mercados inestables y enormes pérdidas para los participantes de mercado.

En el capítulo 15 presentamos un ejemplo de esto cuando analizamos el seguro de cartera y el desplome del mercado de octubre de 1987. En los meses anteriores a la caída, un número cada vez mayor de administradores de cartera trataba de asegurar sus carteras creando opciones de venta sintéticas. Compraban acciones o futuros sobre índices bursátiles después de un alza en el mercado y los vendían después de una baja. Esto creó un mercado inestable. Una disminución relativamente pequeña en los precios de las acciones generaba una ola de ventas por los aseguradores de cartera. Esto último ocasionó una disminución todavía mayor en el mercado, que dio lugar a otra ola de ventas, y así sucesivamente. Queda la duda de que sin el seguro de cartera el desplome de octubre de 1987 habría sido mucho menos grave.

Otro ejemplo es el de LTCM en 1998. Su posición se hizo más difícil por el hecho de que muchos otros fondos de cobertura seguían estrategias de arbitraje de convergencia similares. Después del incumplimiento ruso y la huida hacia la calidad, LTCM trató de liquidar parte de su cartera para satisfacer las demandas de garantía adicional. Por desgracia, otros fondos de cobertura enfrentaban problemas semejantes al de LTCM e intentaron realizar negociaciones similares. Esto empeoró la situación, ocasionando que los márgenes de liquidez fueran aún mayores de lo que habrían sido de otro modo, y reforzando la huida hacia la calidad. Por ejemplo, considere la posición de LTCM en bonos del Tesoro de EUA. Mantenía una posición larga en bonos *off the run* ilíquidos y una posición corta en bonos *on the run* líquidos. Cuando una huida hacia la calidad amplió los márgenes entre rendimientos sobre ambos tipos de bonos, LTCM tuvo que liquidar sus posiciones vendiendo los bonos *off the run* y comprando los bonos *on the run*. Otros fondos de cobertura importantes hacían lo mismo. En consecuencia, el precio de los bonos *on the run* aumentó con relación al de los bonos *off the run* y el margen entre ambos rendimientos se ha amplió aún más de lo que ya lo había hecho.

Un ejemplo más es el de las actividades de algunas compañías británicas de seguros a finales de la década de 1990. Dichas compañías participaron en muchos contratos que prometían que la tasa de interés aplicable a una anualidad que recibiría una persona al jubilarse sería la mayor del mercado y estaría garantizada. Al mismo tiempo, todas las compañías de seguros decidieron cubrir parte de sus riesgos sobre estos contratos comprando a instituciones financieras opciones sobre *swaps* con vencimiento a largo plazo. Las instituciones financieras con que negociaron cubrieron sus riesgos comprando una gran cantidad de bonos en libras esterlinas con vencimiento a largo plazo. En consecuencia, los precios de los bonos subieron y las tasas a largo plazo en libras esterlinas disminuyeron. Fue necesario comprar más bonos para mantener la cobertura dinámica, las tasas a largo plazo en libras esterlinas disminuyeron aún más, y así una y otra vez. Las instituciones financieras perdieron dinero y, debido a la disminución de las tasas a largo plazo, las empresas de seguros se encontraron en una peor posición con relación a los riesgos que habían elegido no cubrir.

La lección principal que debemos aprender de estas historias es que debemos ver el panorama completo de lo que ocurre en los mercados financieros, y entender los riesgos inherentes a situaciones en las que muchos participantes de mercado siguen la misma estrategia de negociación.

23.3 LECCIONES PARA LAS CORPORACIONES NO FINANCIERAS

Ahora analizaremos las lecciones que se aplican principalmente a las corporaciones no financieras.

Asegúrese de que entiende perfectamente las negociaciones que está realizando

Las corporaciones nunca deben realizar una transacción o estrategia de negociación que no entiendan cabalmente. Éste es un punto bastante obvio, aunque es sorprendente la frecuencia con que un negociante que trabaja para una corporación no financiera admitirá, después de una gran pérdida, que no sabía lo que ocurría realmente, y argumentará que estaba mal informado por los banqueros de inversión. Robert Citron, el tesorero del Condado de Orange hizo esto, al igual que los negociantes que trabajaban para Hammersmith and Fulham, quienes a pesar de sus enormes posiciones estaban sorprendentemente desinformados sobre el funcionamiento real de los *swaps* y otros derivados de tasas de interés con que negociaban.

Si un director de una corporación no entiende una negociación propuesta por un subordinado, la negociación no debe aprobarse. Una sencilla regla general es que si una negociación y el argumento para participar en ella son tan complicados que el gerente no los puede entender, es prácticamente inadecuada para la corporación. De seguir este criterio, las negociaciones entre Procter & Gamble y Gibson Greetings habrían sido vetadas.

Una manera de asegurarse que entiende totalmente un instrumento financiero es valuarlo. Si la corporación no tiene la capacidad interna para valuar un instrumento, no debe negociarlo. En la práctica, las corporaciones suelen depender de sus agentes de derivados para recibir asesoría en valuación. Esto es peligroso, como se dieron cuenta Procter & Gamble y Gibson Greetings. Cuando quisieron cancelar sus acuerdos descubrieron que se enfrentaban a precios producidos por modelos de propiedad exclusiva de Bankers Trust y no tenían forma de verificarlos.

Asegúrese de que un coberturista no se convierta en especulador

Uno de los hechos desafortunados de la vida es que la cobertura es relativamente tediosa, en tanto que la especulación es emocionante. Cuando una empresa contrata a un negociante para que administre el riesgo cambiario, de precios de *commodities* o de tasas de interés, existe el peligro de que ocurra lo siguiente. Al principio, el negociante realiza el trabajo con gran diligencia y se gana la confianza de la alta dirección. Evalúa las exposiciones de la empresa y las cubre. Conforme pasa el tiempo, el negociante se convence de que puede anticiparse al mercado, y poco a poco se convierte en especulador. Al principio las cosas salen bien, pero entonces se genera una pérdida. Para recuperarla, el negociante duplica las apuestas. Así se generan más pérdidas, y vuelta al principio. El resultado es, probablemente, un desastre.

Como se mencionó anteriormente, la alta dirección debe establecer límites claros a los riesgos que pueden asumirse e implantar controles para garantizar que los límites se respeten. La estrategia de negociación de una corporación debe iniciar con un análisis de los riesgos que ésta enfrenta en los mercados cambiarios, de tasas de interés y de *commodities*, etc. Después debe decidir cómo se reducirán los riesgos a niveles aceptables. Si la estrategia de negociación no surge de manera directa de las exposiciones de la empresa, éste es un signo claro de que algo anda mal en una corporación.

Evite que el departamento de tesorería se convierta en un centro de beneficios

En los últimos 20 años ha habido una tendencia a convertir el departamento de tesorería de una corporación en un centro de beneficios. Al parecer, esto es muy recomendable. El tesorero tiene como tarea reducir los costos de financiamiento y administrar los riesgos de la manera más rentable posible. El problema es que tiene una capacidad limitada para obtener beneficios. Al recaudar fondos e invertir el excedente de caja, el tesorero se enfrenta a un mercado eficiente y, por lo general, tiene la posibilidad de mejorar el balance final asumiendo únicamente riesgos adicionales. El programa de cobertura de la empresa proporciona al tesorero cierta oportunidad para tomar decisiones inteligentes que aumenten los beneficios. No obstante, es necesario recordar que la meta de un programa de cobertura es reducir los riesgos, no aumentar los beneficios esperados. Como se señaló en el capítulo 3, la decisión de cubrir dará un peor resultado aproximadamente 50% de las veces que la de no cubrir. El peligro de convertir al departamento de tesorería en un centro de beneficios es que el tesorero se sentirá motivado a convertirse en especulador. Esto tiende a producir el tipo de resultado que experimentaron el Condado de Orange, Procter & Gamble, o Gibson Greetings.

RESUMEN

Las enormes pérdidas experimentadas con el uso de derivados han vuelto muy cautelosos a muchos tesoreros. Desde la oleada de descalabros de 1994 y 1995, algunas corporaciones no financieras han anunciado planes para reducir, o incluso eliminar, su uso de derivados. Esto es desafortunado porque los derivados proporcionan a los tesoreros formas muy eficientes para administrar los riesgos.

Las historias detrás de las pérdidas destacan el punto, señalado en el capítulo 1, de que los derivados pueden utilizarse con fines de cobertura o especulación; es decir, se usan para reducir o asumir riesgos. Casi todas las pérdidas ocurrieron debido al uso inadecuado de derivados. Los empleados que tenían la orden implícita o explícita de cubrir los riesgos de su empresa, en vez de eso decidieron especular.

La lección clave que debemos aprender de las pérdidas es la importancia de los *controles internos*. La alta dirección de una empresa debe publicar una declaración de política clara e inequívoca sobre la manera de usar los derivados y la medida en que se permitirá a los empleados tomar posiciones con relación a los cambios en las variables de mercado. La gerencia debe establecer controles para garantizar que la política se lleve a cabo. Una receta para el desastre es dar autoridad a los individuos para que negocien derivados sin una vigilancia estrecha de los riesgos que se asumen.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Dunbar, N. *Inventing Money: The Story of Long-Term Capital Management and the Legends Behind It*. Chichester, Reino Unido: Wiley, 2000.

Jorion, P. *Big Bets Gone Bad: Derivatives and Bankruptcy in Orange County*. Nueva York: Academic Press, 1995.

Jorion, P. "How Long-Term Lost Its Capital", *RISK* (septiembre de 1999).

Ju, X., y N. Pearson. "Using Value at Risk to Control Risk Taking: How Wrong Can You Be?" *Journal of Risk*, 1 (1999), pp. 5-36.

Thomson, R. *Apocalypse Roulette: The Lethal World of Derivatives*. Londres: Macmillan, 1998.
Zhang, P. G. *Barings Bankruptcy and Financial Derivatives*. Singapur: World Scientific Publishing, 1995.

Respuestas a las preguntas de examen

CAPÍTULO 1

1.1 Un negociante que toma una posición larga en un contrato de futuros acuerda *comprar* el activo subyacente a cierto precio en una fecha futura específica. Un negociante que toma una posición corta en un contrato de futuros acuerda *vender* el activo subyacente a cierto precio en una fecha futura específica.

1.2 Una empresa realiza una *cobertura* cuando tiene una exposición al precio de un activo y toma una posición en mercados de futuros o de opciones para reducir la exposición. En una *especulación*, la empresa no tiene una exposición que reducir, sino que apuesta sobre los cambios futuros en el precio de un activo. El *arbitraje* implica tomar una posición en dos o más mercados diferentes para asegurar una utilidad.

1.3 En a), el inversionista está obligado a comprar el activo en $50 y no tiene opción. En b), el inversionista tiene la opción de comprar el activo en $50, pero no requiere ejercer la opción.

1.4 a. El inversionista está obligado a vender las libras a 1.9000 cuando valen 1.8900. La ganancia es de $(1.9000 - 1.8900) \times 100{,}000 = \$1{,}000$.
b. El inversionista está obligado a vender las libras a 1.9000 cuando valen 1.9200. La pérdida es de $(1.9200 - 1.9000) \times 100{,}000 = \$2{,}000$.

1.5 Usted vendió una opción de venta. Acordó comprar 100 acciones a $40 por acción si la otra parte del contrato decide ejercer el derecho a vender a este precio. La opción se ejercerá sólo si el precio de la acción es menor a $40. Por ejemplo, suponga que la opción se ejerce cuando el precio es de $30. Usted tiene que comprar, a $40, acciones que valen $30; por lo que pierde $10 por acción, o $1,000 en total. Si la opción se ejerce cuando el precio es de $20, usted pierde $20 por acción, o $2,000 en total. Lo peor que puede ocurrir es que el precio de la acción disminuya casi a cero durante el periodo de tres meses. Este acontecimiento poco probable le costaría $4,000. A cambio de las posibles pérdidas futuras, usted recibe el precio de la opción de parte del comprador.

1.6 Una estrategia consiste en comprar 200 acciones. Otra es comprar 2,000 opciones (20 contratos). Si el precio de la acción sube, la segunda estrategia producirá mayores ganancias. Por ejemplo, si el precio de la acción sube a $40, usted gana $[2{,}000 \times (\$40 - \$30)] - \$5{,}800 = \$14{,}200$ con la segunda estrategia y sólo $200 \times (\$40 - \$29) = \$2{,}200$ con la primera estrategia. Sin embargo, si el precio de la acción baja, la segunda estrategia genera mayores pérdidas. Por ejemplo, si el precio de la acción baja a $25, la primera estrategia da lugar a una pérdida de $200 \times (\$29 - \$25) = \$800$, en tanto que la segunda estrategia ocasiona una pérdida de toda la inversión de $5,800.

1.7 El mercado *over the counter* es una red de instituciones financieras, administradores de fondos y tesoreros corporativos, relacionados por teléfono y computadora, en la que dos participantes pueden establecer cualquier contrato mutuamente aceptable. Un mercado negociado en bolsa es un mercado organizado por una bolsa en la que los negociantes se reúnen físicamente o se comunican por vía electrónica y la bolsa define los contratos que se pueden negociar. Cuando un creador de mercado cotiza una demanda y una oferta, la demanda es el precio al que el creador de mercado está dispuesto a comprar, y la oferta es el precio al que el creador de mercado está dispuesto a vender.

CAPÍTULO 2

2.1 El *interés abierto* de un contrato de futuros en una fecha específica es el total de posiciones largas pendientes. (De igual manera, es el total de posiciones cortas pendientes). El *volumen de transacciones* durante cierto periodo es el número de contratos negociados durante dicho periodo.

2.2 Un *corredor a comisión* negocia a nombre de su cliente y cobra una comisión. Un *local* negocia por su propia cuenta.

2.3 Habrá una demanda de garantía adicional cuando se hayan perdido $1,000 de la cuenta de margen. Esto ocurrirá cuando el precio de la plata aumente 1,000/5,000 = $0.20. Por lo tanto, el precio de la plata debe aumentar a $10.40 por onza para que haya una demanda de garantía adicional. Si no se cumple la demanda de garantía adicional, su corredor cierra su posición.

2.4 La utilidad total es de ($70.50 − $68.30) × 1,000 = $2,200. De esto, ($69.10 − $68.30) × 1,000 = $800 que se obtienen diariamente entre septiembre y el 31 de diciembre de 2007. Se obtienen ($70.50 − $69.10) × 1,000 = $1,400 adicionales diariamente entre el 1 de enero y marzo de 2008. Se gravaría a un coberturista sobre la utilidad total de $2,200 dólares en 2008. A un especulador se gravaría sobre $800 en 2007, y sobre $1,400 en 2008.

2.5 Una *orden con precio tope* para vender a $2 es una orden para vender al mejor precio disponible una vez que se alcanza un precio de $2 o menos. Podría usarse para limitar las pérdidas de una posición larga existente. Una *orden limitada* para vender a $2 es una orden para vender a un precio de $2 o más. Podría usarse para dar instrucciones a un intermediario de que tome una posición corta, a condición de que se haga a un precio más favorable que $2.

2.6 La cuenta de margen que administra la cámara de compensación se ajusta al mercado diariamente y el miembro de la cámara de compensación debe incrementar la cuenta de nuevo al nivel establecido cada día. La cuenta de margen que administra el intermediario también se ajusta al mercado todos los días. Aún así, la cuenta no tiene que incrementarse al nivel del margen inicial diariamente, sino sólo cuando el saldo de la cuenta cae por debajo del nivel del margen de mantenimiento. En general, el margen de mantenimiento es alrededor de 75% del margen inicial.

2.7 En los mercados de futuros, los precios se cotizan como el número de dólares estadounidenses por unidad de moneda extranjera. Las tasas *spot* y a plazo se cotizan de esta manera en el caso de la libra esterlina, el euro, el dólar australiano y el dólar neozelandés. En el caso de otras divisas importantes, las tasas *spot* y a plazo se cotizan como el número de unidades de moneda extranjera por dólar estadounidense.

CAPÍTULO 3

3.1 Una *cobertura corta* es adecuada cuando una empresa posee un activo y espera venderlo en el futuro. También se usa cuando la empresa no posee el activo en ese momento, sino que espera hacerlo en alguna fecha futura. Una *cobertura larga* es apropiada cuando una empresa sabe que deberá comprar un activo en el futuro. También se utiliza para contrarrestar el riesgo de una posición corta existente.

3.2 El *riesgo base* surge debido a la incertidumbre del coberturista en cuanto a la diferencia entre el precio *spot* y el precio de futuros al vencimiento de la cobertura.

3.3 Una *cobertura perfecta* es aquella que elimina por completo el riesgo del coberturista. Una cobertura perfecta no siempre produce un mejor resultado que una cobertura imperfecta, sino que sólo da lugar a un resultado más seguro. Considere una empresa que cubre su exposición al precio de un activo. Suponga que los cambios de precio del activo resultan ser favorables para la empresa. Una cobertura perfecta cancela totalmente la ganancia que la empresa podría obtener de estos cambios de precio favorables. Una cobertura imperfecta, que cancela las ganancias sólo parcialmente, podría dar un mejor resultado.

3.4 Una cobertura de varianza mínima no da lugar a ninguna cobertura cuando el coeficiente de correlación entre los cambios del precio de futuros y los cambios del precio del activo que se cubre es de cero.

3.5 a. Si los competidores de la empresa no están cubriendo, el tesorero podría considerar que la empresa correrá menos riesgo si no cubre (vea la tabla 3.1).
b. Quizá los accionistas no quieran que la empresa cubra.
c. Si se genera una pérdida con la cobertura y una ganancia con la exposición de la empresa al activo subyacente, el tesorero podría considerar que tendrá dificultades para justificar la cobertura ante otros ejecutivos de la organización.

3.6 La razón de cobertura óptima es

$$0.8 \times \frac{0.65}{0.81} = 0.642$$

Esto significa que el tamaño de la posición en los contratos de futuros debe ser igual a 64.2% del tamaño de la exposición de la empresa en una cobertura de tres meses.

3.7 La fórmula del número de contratos que deben venderse en corto da como resultado

$$1.2 \times \frac{20{,}000{,}000}{1080 \times 250} = 88.9$$

Si redondeamos al número entero más cercano, deben venderse en corto 89 contratos. Para reducir la beta a 0.6, se requiere la mitad de esta posición, es decir, una posición corta en 44 contratos.

CAPÍTULO 4

4.1 a.La tasa con una composición continua es

$$4 \ln\left(1 + \frac{0.14}{4}\right) = 0.1376$$

o 13.76% anual.
b. La tasa con una composición anual es

$$\left(1 + \frac{0.14}{4}\right)^4 - 1 = 0.1475$$

o 14.75% anual.

4.2 La tasa LIBOR es la tasa interbancaria de oferta del mercado de Londres. Es la tasa a la que un banco cotiza los depósitos que está dispuesto a realizar en otros bancos. La tasa LIBID es la tasa de demanda interbancaria del mercado de Londres. Es la tasa a la que un banco cotiza los depósitos de otros bancos. La tasa LIBOR es mayor que la tasa LIBID.

4.3 Suponga que el bono tiene un valor nominal de \$100. Su precio se obtiene descontando los flujos de efectivo a 10.4%. El precio es

$$\frac{4}{1.052}+\frac{4}{1.052^2}+\frac{104}{1.052^3}=96.74$$

Si la tasa cero a 18 meses es R, obtenemos

$$\frac{4}{1.05}+\frac{4}{1.05^2}+\frac{104}{(1+R/2)^3}=96.74$$

lo que nos da $R = 10.42\%$.

4.4 a. Con una composición anual, el rendimiento es

$$\frac{1100}{1000}-1=0.1$$

o 10% anual.

b. Con una composición semestral, el rendimiento es R, donde

$$1000\left(1+\frac{R}{2}\right)^2=1100$$

es decir,

$$1+\frac{R}{2}=\sqrt{1.1}=1.0488$$

de modo que $R = 0.0976$. Por consiguiente, el rendimiento porcentual es de 9.76% anual.
c. Con una composición mensual, el rendimiento es R, donde

$$1000\left(1+\frac{R}{12}\right)^{12}=1100$$

es decir,

$$\left(1+\frac{R}{12}\right)=\sqrt[12]{1.1}=1.00797$$

de modo que $R = 0.0957$. Por lo tanto, el rendimiento porcentual es de 9.57% anual.
d. Con una composición continua, el rendimiento es R, donde

$$1000e^R = 1100$$

es decir,

$$e^R = 1.1$$

de modo que $R = 0.0953$. Por consiguiente, el rendimiento porcentual es de 9.53% anual.

4.5 Las tasas a plazo con una composición continua son las siguientes:

Trimestre 2: 8.4%
Trimestre 3: 8.8%
Trimestre 4: 8.8%
Trimestre 5: 9.0%
Trimestre 6: 9.2%

4.6 La tasa a plazo es de 9.0% con una composición continua o de 9.102% con una composición trimestral. Por lo tanto, con base en la ecuación (4.9), el valor del FRA es

$$[1{,}000{,}000 \times 0.25 \times (0.095 - 0.09102)]e^{-0.086 \times 1.25} = 893.56$$

es decir, \$893.56.

4.7 Cuando la estructura temporal es ascendente, $c > a > b$. Cuando es descendente, $b > a > c$.

CAPÍTULO 5

5.1 El corredor del inversionista adquiere en préstamo las acciones de la cuenta de otro cliente y las vende en la forma usual. Para cerrar la posición, el inversionista debe comprar las acciones. Entonces, el corredor las reemplaza en la cuenta del cliente de quien se adquirieron en préstamo. La parte con la posición corta debe remitir al intermediario los dividendos y otros ingresos pagados sobre las acciones. El corredor transfiere estos fondos a la cuenta del cliente de quien se adquirieron las acciones en préstamo. Ocasionalmente, al intermediario se le agotan las acciones prestadas. Entonces, el inversionista está restringido en su operación en corto y debe cerrar la posición inmediatamente.

5.2 El precio a plazo de un activo hoy es el precio al que usted acordaría comprar o vender el activo en una fecha futura. El valor de un contrato a plazo es de cero cuando usted participa en él por primera vez. A medida que el tiempo pasa, el precio del activo subyacente cambia y el valor del contrato puede volverse positivo o negativo.

5.3 El precio a plazo es

$$30e^{0.12 \times 0.5} = \$31.86$$

5.4 El precio de futuros es

$$350e^{(0.08 - 0.04) \times 0.333} = \$354.7$$

5.5 El oro es un activo de inversión. Si el precio de futuros es demasiado alto, los inversionistas encontrarán rentable aumentar sus tenencias de oro y vender en corto contratos de futuros. Si el precio de futuros es demasiado bajo, verán rentable disminuir sus tenencias de oro y tomar una posición larga en el mercado de futuros. El cobre es un activo de consumo. Si el precio de futuros es demasiado alto, funciona la estrategia de comprar cobre y vender futuros en corto. Sin embargo, como los inversionistas generalmente no mantienen el activo, la estrategia de vender cobre y comprar futuros no está disponible para ellos. Por consiguiente, hay un límite superior, pero no uno inferior, para el precio de futuros.

5.6 El *rendimiento de conveniencia* mide el grado en que se obtienen beneficios de la propiedad del activo físico que no obtienen los propietarios de posiciones largas en contratos de futuros. El *costo de mantenimiento* es el costo de los intereses más el costo de almacenamiento, menos el ingreso obtenido. El precio de futuros, F_0, y el precio *spot*, S_0, se relacionan por

$$F_0 = S_0e^{(c - y)T}$$

donde c es el costo de mantenimiento; y es el rendimiento de conveniencia, y T es el tiempo al vencimiento del contrato de futuros.

5.7 Una divisa proporciona una tasa de interés conocida, pero el interés se recibe en la moneda extranjera. Por consiguiente, el valor en moneda doméstica del ingreso proporcionado por la moneda extranjera se conoce como un porcentaje del valor de la moneda extranjera. Esto significa que el ingreso tiene las propiedades de un rendimiento conocido.

CAPÍTULO 6

6.1 Hay 33 días naturales entre el 7 de julio y el 9 de agosto de 2008. Hay 184 días naturales entre el 7 de julio de 2008 y el 7 de enero de 2009. Por lo tanto, el interés obtenido por \$100 de principal es de $3.5 \times 33/184 = \$0.6277$. Para un bono corporativo, asumimos 32 días entre el 7 de julio y el 9 de agosto de 2008, y 180 días entre el 7 de julio de 2008 y el 7 de enero de 2009. El interés obtenido es de $3.5 \times 32/180 = \$0.6222$ dólares.

6.2 Hay 89 días entre el 12 de octubre de 2008 y el 9 de enero de 2009. Hay 182 días entre el 12 de octubre de 2008 y el 12 de abril de 2009. El precio en efectivo del bono se obtiene sumando el interés acumulado al precio cotizado. El precio cotizado es de $102\frac{7}{32}$ o 102.21875. Por consiguiente, el precio en efectivo es de

$$102.21875 + \frac{89}{182} \times 6 = \$105.15$$

6.3 El factor de conversión de un bono es igual al precio cotizado que el bono tendría por dólar de principal el primer día del mes de entrega en el supuesto de que la tasa de interés para todos los vencimientos sea igual a 6% anual (con una composición semestral). El vencimiento del bono y el tiempo a las fechas de pago del cupón se redondean a los tres meses más cercanos con fines de cálculo. El factor de conversión define cuánto recibe un inversionista con una posición corta en un contrato de futuros sobre bonos cuando se entregan los bonos. Si el factor de conversión es de 1.2345, el monto que el inversionista recibe se calcula multiplicando esta cifra por el precio de futuros más reciente y sumando el interés acumulado.

6.4 El precio de futuros sobre eurodólares aumentó 6 puntos base. El inversionista obtiene una ganancia por contrato de $25 \times 6 = \$150$ o \$300 en total.

6.5 Suponga que la cotización de un contrato de futuros sobre eurodólares es de \$95.00. Esto proporciona una tasa de futuros de 5% para el periodo de tres meses cubierto por el contrato. El ajuste por convexidad es el monto en que se debe reducir la tasa de futuros para proporcionar una estimación de la tasa a plazo para el periodo. El ajuste por convexidad es necesario porque: a) los contratos de futuros se liquidan diariamente, en tanto que esto no ocurre con los contratos a plazo, y b) los contratos de futuros se liquidan al final de su vida, en tanto que los contratos a plazo se liquidan cuando se vence el interés.

6.6 La duración proporciona información sobre el efecto de un pequeño desplazamiento paralelo de la curva de rendimiento en el valor de una cartera de bonos. La disminución porcentual en el valor de la cartera es igual a la duración de la cartera multiplicada por la cantidad en que aumentan las tasas de interés en el pequeño desplazamiento paralelo. La medida de duración tiene la siguiente limitación: se aplica únicamente a desplazamientos paralelos en la curva de rendimiento que sean pequeños.

6.7 El valor de un contrato es de $108\frac{15}{32} \times 1{,}000 = \$108{,}468.75$. El número de contratos que se deben vender en corto es

$$\frac{6{,}000{,}000}{108{,}468.75} \times \frac{8.2}{7.6} = 59.7$$

Si redondeamos esta cifra al número entero más cercano, se deben vender en corto 60 contratos. La posición se debe cerrar a fines de julio.

CAPÍTULO 7

7.1 A tiene una ventaja comparativa aparente en los mercados de tasa fija, pero desea adquirir un préstamo de tasa variable. B tiene una ventaja comparativa aparente en los mercados de tasa variable, pero

Swap de la pregunta de examen 7.1

desea adquirir un préstamo de tasa fija. Esto proporciona la base para el *swap*. Hay un diferencial de 1.4% anual entre las tasas fijas ofrecidas a ambas empresas, y un diferencial de 0.5% anual entre las tasas variables que se les ofrecieron. Por lo tanto, la ganancia total obtenida del *swap* para todas las partes es de $1.4 - 0.5 = 0.9\%$ anual. Puesto que el banco obtiene 0.1% anual de esta ganancia, el *swap* debe beneficiar tanto a A como a B con 0.4% anual. Esto significa que el *swap* hace que A adquiera un préstamo a la tasa LIBOR de -0.3% y que B adquiera un préstamo a 6%. Por consiguiente, el acuerdo adecuado se muestra en el diagrama.

7.2 En cuatro meses se recibirán \$3.5 millones ($= 0.5 \times 0.07 \times \$100$ millones) y se pagarán \$2.3 millones ($= 0.5 \times 0.046 \times \$100$ millones). (Ignoramos el cálculo de días). En 10 meses se recibirán \$3.5 millones y se pagará la tasa LIBOR vigente en cuatro meses. El valor del bono de tasa fija subyacente al *swap* es de

$$3.5e^{-0.05\times 4/12} + 103.5e^{-0.05\times 10/12} = \$102.718 \text{ millones}$$

El valor del bono de tasa variable subyacente al *swap* es de

$$(100 + 2.3)e^{-0.05\times 4/12} = \$100.609 \text{ millones}$$

El valor del *swap* para la parte que paga la tasa variable es de $\$102.718 - \$100.609 = \$2.109$ millones. El valor del swap para la parte que paga la tasa fija es de $-\$2.109$ millones. Estos resultados también se obtienen descomponiendo el *swap* en contratos a plazo. Considere la parte que paga la tasa variable. El primer contrato a plazo implica pagar \$2.3 millones y recibir \$3.5 millones en cuatro meses. Este contrato tiene un valor de $1.2e^{-0.05\times 4/12} = \$1.180$ millones. Para valuar el segundo contrato a plazo, observamos que la tasa de interés a plazo es de 5% anual con una composición continua o de 5.063% anual con una composición semestral. El valor del contrato a plazo es de

$$100 \times (0.07 \times 0.5 - 0.05063 \times 0.5)e^{-0.05\times 10/12} = \$0.929 \text{ millones}$$

Por lo tanto, el valor total de los contratos a plazo es de $\$1.180 + \$0.929$ dólares $= \$2.109$ millones.

7.3 X tiene una ventaja comparativa en los mercados de yenes, pero desea adquirir un préstamo en dólares. Y tiene una ventaja comparativa en los mercados de dólares, pero desea adquirir un préstamo en yenes. Esto proporciona la base para el *swap*. Hay un diferencial de 1.5% anual entre las tasas en yenes y un diferencial de 0.4% anual entre las tasas en dólares. Por consiguiente, la ganancia total obtenida del swap para todas las partes es de $1.5 - 0.4 = 1.1\%$ anual. El banco requiere 0.5% anual, dejando 0.3% anual tanto para X como para Y. El *swap* hace que X adquiera un préstamo en dólares a $9.6 - 0.3 = 9.3\%$ anual y que Y adquiera un préstamo en yenes a $6.5 - 0.3 = 6.2\%$ anual. Por lo tanto, el acuerdo adecuado se muestra en el diagrama siguiente. Todo el riesgo cambiario lo asume el banco.

Swap de la pregunta de examen 7.3

7.4 Una tasa *swap* para un vencimiento específico es el promedio de las tasas fijas de demanda y oferta que un creador de mercado está dispuesto a intercambiar por la tasa LIBOR en un *swap plain vanilla* estándar con ese vencimiento. Las frecuencias de los pagos y las convenciones del cálculo de días en el *swap* estándar considerado varían de un país a otro. En Estados Unidos de América, los pagos sobre un *swap* estándar son semestrales y la convención del cálculo de días para cotizar la tasa LIBOR es real/360. La convención del cálculo de días para cotizar la tasa fija es usualmente real/365. La tasa *swap* para un vencimiento específico es el rendimiento a la par LIBOR/*swap* para ese vencimiento.

7.5 El *swap* implica intercambiar el interés en libras esterlinas de $20 \times 0.10 = 2.0$ millones por el interés en dólares de $30 \times 0.06 = \$1.8$ millones. Los montos del principal también se intercambian al final de la vida del *swap*. El valor del bono en libras esterlinas subyacente al *swap* es de

$$\frac{2}{(1.07)^{1/4}} + \frac{22}{(1.07)^{5/4}} = £22.182 \text{ millones}$$

El valor del bono en dólares subyacente al *swap* es de

$$\frac{1.8}{(1.04)^{1/4}} + \frac{31.8}{(1.04)^{5/4}} = \$32.061 \text{ millones}$$

Por consiguiente, el valor del *swap* para la parte que paga en libras esterlinas es de

$$32.061 - (22.182 \times 1.85) = -\$8.976 \text{ millones}$$

El valor del *swap* para la parte que paga en dólares es de $+\$8.976$ millones. Los resultados también se obtienen considerando el *swap* como una cartera de contratos a plazo. Las tasas de interés continuamente compuestas en libras esterlinas y en dólares son de 6.766% y 3.922% anual, respectivamente. Los tipos de cambio a plazo a 3 y 15 meses son de

$$1.85e^{(0.03922-0.06766)\times 0.25} = 1.8369 \text{ y } 1.85e^{(0.03922-0.06766)\times 1.25} = 1.7854.$$

Por lo tanto, los valores de los dos contratos a plazo correspondientes al intercambio del interés para la parte que paga en libras esterlinas son

$$(1.8 - 2 \times 1.8369)e^{-0.03922\times 0.25} = -\$1.855 \text{ millones}$$

$$(1.8 - 2 \times 1.7854)e^{-0.03922\times 1.25} = -\$1.686 \text{ millones}$$

El valor del contrato a plazo correspondiente al intercambio del principal es

$$(30 - 20 \times 1.7854)e^{-0.03922\times 1.25} = -\$5.435 \text{ millones}$$

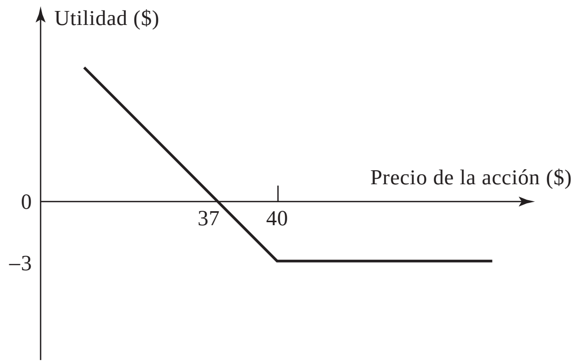
El valor total del *swap* es de $-\$1.855 - \$1.686 - \$5.435 = -\$8.976$ millones.

7.6 El riesgo de crédito surge por la posibilidad de incumplimiento de la contraparte. El riesgo de mercado surge debido a los cambios en las variables de mercado, como las tasas de interés y los tipos de cambio. Una complicación es que el riesgo de crédito en un *swap* depende de los valores de las variables de mercado. La posición de una empresa en un *swap* tiene riesgo de crédito sólo cuando el valor del *swap* es positivo para la empresa.

7.7 La tasa no es verdaderamente fija porque si la calificación de crédito de la empresa disminuye, no podrá renovar sus préstamos de tasa variable a la tasa LIBOR más 150 puntos base. Entonces, aumenta la tasa de endeudamiento fija eficaz. Por ejemplo, suponga que el diferencial del tesorero sobre la tasa LIBOR aumenta de 150 a 200 puntos base. La tasa de endeudamiento aumenta de 5.2% a 5.7%.

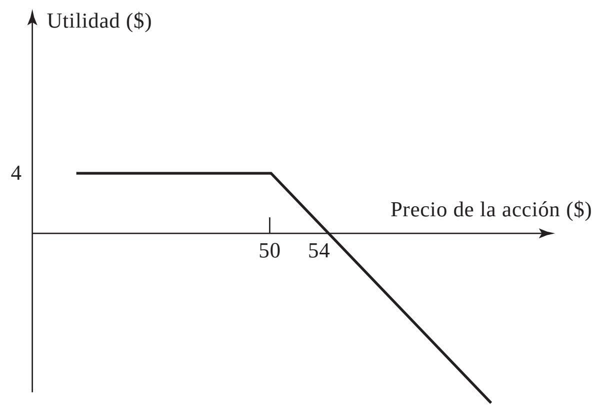
CAPÍTULO 8

8.1 El inversionista obtiene una utilidad si el precio de la acción en la fecha de vencimiento es menor a \$37. En estas circunstancias, la ganancia obtenida por ejercer la opción es mayor a \$3. La opción se ejercerá si el precio de la acción es menor a \$40 al vencimiento de la opción. La variación de la utilidad del inversionista con el precio de la acción se muestra en el diagrama siguiente.



Utilidad del inversionista de la pregunta de examen 8.1

8.2 El inversionista obtiene una utilidad si el precio de la acción es menor a $54 en la fecha de vencimiento. Si el precio de la acción es menor a $50, la opción no se ejercerá y el inversionista obtiene una utilidad de $4. Si el precio de la acción está entre $50 y $54, la opción se ejerce y el inversionista obtiene una utilidad entre $0 y $4. La variación de la utilidad del inversionista con el precio de la acción se muestra en el diagrama siguiente.



Utilidad del inversionista de la pregunta de examen 8.2

8.3 El beneficio para el inversionista es

$$-\text{máx}(S_T - K, 0) + \text{máx}(K - S_T, 0)$$

Éste es $K - S_T$ en cualquier circunstancia. La posición del inversionista es igual a una posición corta en un contrato a plazo con un precio de entrega de K.

8.4 Cuando un inversionista compra una opción, debe pagar en efectivo por adelantado. No hay posibilidad de pasivos futuros y, por consiguiente, no hay necesidad de una cuenta de margen. Cuando un inversionista vende una opción, hay pasivos futuros potenciales, por lo que se requieren márgenes como protección contra el riesgo de incumplimiento.

8.5 El 1 de abril se negocian opciones con meses de vencimiento en abril, mayo, agosto y noviembre. El 30 de mayo se negocian opciones con meses de vencimiento en junio, julio, agosto y noviembre.

8.6 El precio de ejercicio disminuye a $30 y la opción otorga al tenedor el derecho a comprar el doble de acciones.

8.7 Las opciones sobre acciones para directivos duran mucho tiempo (con frecuencia 10 años o más). Hay un periodo de adquisición de derechos durante el cual las opciones no pueden ejercerse. Si el directivo deja la empresa durante el periodo de adquisición de derechos, las opciones se pierden. Si el directivo deja la empresa después de que termina este periodo, se ejercen inmediatamente las opciones *in the money*, en tanto que se pierden las opciones *out of the money*. El directivo no puede vender las opciones a otros.

CAPÍTULO 9

9.1 Los seis factores que afectan los precios de las opciones sobre acciones son el precio de la acción, el precio de ejercicio, la tasa de interés libre de riesgo, la volatilidad, tiempo al vencimiento y dividendos.

9.2 El límite inferior es

$$28 - 25e^{-0.08 \times 0.3333} = \$3.66$$

9.3 El límite inferior es

$$15e^{-0.06 \times 0.08333} - 12 = \$2.93$$

9.4 El retraso del ejercicio retarda el pago del precio de ejercicio. Esto significa que el tenedor de la opción puede ganar intereses sobre el precio de ejercicio durante un periodo más largo. El retraso del ejercicio también proporciona seguro contra la disminución del precio de la acción por debajo del precio de ejercicio para la fecha de vencimiento. Asuma que el tenedor de la opción tiene un monto de efectivo K y que las tasas de interés son de cero. El ejercicio anticipado significa que la posición del tenedor de la opción valdrá S_T al vencimiento. El retraso del ejercicio significa que valdrá $\max(K, S_T)$ al vencimiento.

9.5 Cuando una opción de venta americana se mantiene junto con la acción subyacente proporciona seguro. Garantiza que la acción pueda venderse al precio de ejercicio, K. Si la opción de venta se ejerce de manera anticipada, el seguro termina. No obstante, el tenedor de la opción recibe el precio de ejercicio inmediatamente y puede ganar intereses sobre la opción entre la fecha de ejercicio anticipado y la fecha de vencimiento.

9.6 Una opción de compra americana se ejerce en cualquier momento. Si se ejerce, su tenedor obtiene el valor intrínseco. Se deduce que una opción de compra americana debe valer por lo menos su valor intrínseco. Una opción de compra europea puede valer menos que su valor intrínseco. Por ejemplo, considere una situación en la que se espera que una acción proporcione un dividendo muy alto durante la vida de la opción. El precio de la acción disminuirá como consecuencia del dividendo. Como la opción europea puede ejercerse sólo después de que el dividendo se haya pagado, su valor puede ser menor que su valor intrínseco el día de hoy.

9.7 En este caso, $c = 1$, $T = 0.25$, $S_0 = 19$, $K = 20$ y $r = 0.04$. Con base en la paridad *put call*,

$$p = c + Ke^{-rT} - S_0$$

o

$$p = 1 + 20e^{-0.04 \times 0.25} - 19 = 1.80$$

de tal modo que el precio de la opción de venta europea es de $1.80.

CAPÍTULO 10

10.1 Una opción de venta protectora consiste en una posición larga en una opción de venta combinada con una posición larga en las acciones subyacentes. Equivale a una posición larga en una opción de compra más cierto monto de efectivo. Esto se deduce de la paridad *put call*:

$$p + S_0 = c + Ke^{-rT} + D$$

10.2 Un *bear spread* se crea usando dos opciones de compra con el mismo vencimiento, pero diferentes precios de ejercicio. El inversionista vende en corto la opción de compra con el precio de ejercicio más bajo y adquiere la opción de compra con el precio de ejercicio más alto. Un *bear spread* también se crea usando dos opciones de venta con el mismo vencimiento, pero diferentes precios de ejercicio. En este caso, el inversionista vende en corto la opción de venta con el precio de ejercicio más bajo y compra la opción de venta con el precio de ejercicio más alto.

10.3 Un *butterfly spread* consiste en una posición en opciones con tres diferentes precios de ejercicio (K_1, K_2 y K_3). Un inversionista debe comprar un *butterfly spread* cuando considere que el precio del activo subyacente permanecerá cerca del precio de ejercicio central, K_2.

10.4 Un inversionista puede crear un *butterfly spread* al adquirir opciones de compra con precios de ejercicio de \$15 y \$20, y vender dos opciones de compra con precios de ejercicio de \$17 $\frac{1}{2}$. La inversión inicial es de $(4 + \frac{1}{2}) - (2 \times 2) = \$\,\frac{1}{2}$. La tabla siguiente muestra la variación de las utilidades con el precio final de la acción:

Precio de la acción, S_T	Utilidades
$S_T < 15$	$-\frac{1}{2}$
$15 < S_T < 17\frac{1}{2}$	$(S_T - 15) - \frac{1}{2}$
$17\frac{1}{2} < S_T < 20$	$(20 - S_T) - \frac{1}{2}$
$S_T > 20$	$-\frac{1}{2}$

10.5 Un *spread calendario* inverso se crea al comprar una opción de vencimiento a corto plazo y vender una opción de vencimiento a largo plazo, ambas con el mismo precio de ejercicio.

10.6 Tanto un *straddle* como un *strangle* se crean por la combinación de una posición larga en una opción de compra con una posición larga en una opción de venta. En un *straddle*, ambas opciones tienen el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. En un *strangle*, las dos tienen diferentes precios de ejercicio, pero la misma fecha de vencimiento.

10.7 Un *strangle* se crea mediante la compra de ambas opciones. El patrón de utilidades es el siguiente:

Precio de la acción, S_T	Utilidades
$S_T < 45$	$(45 - S_T) - 5$
$45 < S_T < 50$	-5
$S_T > 50$	$(S_T - 50) - 5$

CAPÍTULO 11

11.1 Considere una cartera que consiste en:

-1: opción de compra
$+\Delta$: acciones
Si el precio de la acción sube a \$42, la cartera vale $42\Delta - 3$. Si el precio de la acción baja a \$38, vale 38Δ. Éstos son iguales cuando

$$42\Delta - 3 = 38\Delta$$

o $\Delta = 0.75$. El valor de la cartera en un mes es de 28.5 para ambos precios de la acción. Su valor el día de hoy debe ser el valor presente de 28.5 o $28.5e^{-0.08\times0.08333} = 28.31$. Esto significa que

$$-f + 40\,\Delta = 28.31$$

donde f es el precio de la opción de compra. Como $\Delta = 0.75$, el precio de la opción de compra es de $40 \times 0.75 - 28.31 = \$1.69$. Como una estrategia alternativa, podemos calcular la probabilidad, p, de un aumento en un mundo neutral al riesgo. Esto debe resolver:

$$42p + 38(1 - p) = 40e^{0.08\times0.08333}$$

de tal manera que

$$4p = 40e^{0.08\times0.08333} - 38$$

o $p = 0.5669$. Entonces, el valor de la opción es su beneficio esperado descontado a la tasa de interés libre de riesgo:

$$[3 \times 0.5669 + 0 \times 0.4331]e^{-0.08\times0.08333} = 1.69$$

o \$1.69. Esto concuerda con el cálculo anterior.

11.2 En la estrategia de no arbitraje, establecemos una cartera libre de riesgo que consiste en una posición en la opción y una posición en la acción. Al establecer el rendimiento sobre la cartera igual a la tasa de interés libre de riesgo, podemos valuar la opción. Cuando usamos la valuación neutral al riesgo, primero elegimos las probabilidades para las ramas del árbol, de modo que el rendimiento esperado sobre la acción sea igual a la tasa de interés libre de riesgo. Después valuamos la opción calculando su beneficio esperado y descontando este beneficio esperado a la tasa de interés libre de riesgo.

11.3 La delta de una opción sobre una acción mide la sensibilidad del precio de la opción al precio de la acción cuando se consideran pequeños cambios. En forma específica, es la relación entre el cambio de precio de la opción sobre una acción y el cambio de precio de la acción subyacente.

11.4 Considere una cartera que consiste en:
-1: opción de venta
$+\Delta$: acciones
Si el precio de la acción sube a \$55, vale 55Δ. Si el precio de la acción baja a \$45 dólares, la cartera vale $45\Delta - 5$. Éstos son iguales cuando

$$45\Delta - 5 = 55\Delta$$

o $\Delta = -0.50$. El valor de la cartera en un mes es de -27.5 para los precios de ambas acciones. Su valor el día de hoy debe ser el valor presente de -27.5 o $-27.5e^{-0.1\times0.5} = -26.16$. Esto significa que

$$-f + 50\Delta = -26.16$$

donde f es el precio de la opción de venta. Como $\Delta = -0.50$, el precio de la opción de venta es de \$1.16. Como estrategia alternativa, podemos calcular la probabilidad, p, de un aumento en un mundo neutral al riesgo. Esto debe resolver

$$55p + 45(1 - p) = 50e^{0.1\times0.5}$$

de modo que

$$10p = 50e^{0.1\times0.5} - 45$$

o $p = 0.7564$. En este caso, el valor de la opción es su beneficio esperado descontado a la tasa de interés libre de riesgo:

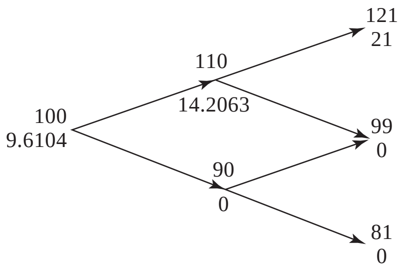
$$[0 \times 0.7564 + 5 \times 0.2436]e^{-0.1\times0.5} = 1.16$$

o \$1.16. Esto concuerda con el cálculo anterior.

11.5 En este caso, $u = 1.10$, $d = 0.90$, $\Delta t = 0.5$ y $r = 0.08$, de tal modo que,

$$p = \frac{e^{0.08\times 0.5} - 0.90}{1.10 - 0.90} = 0.7041$$

El diagrama siguiente muestra el árbol correspondiente a las variaciones en el precio de la acción.



Árbol de la pregunta de examen 11.5

Podemos retroceder desde el final hasta el inicio del árbol, como se indica en el diagrama, para obtener el valor de la opción en \$9.61. El valor de la opción también se calcula directamente con la ecuación (11.10):

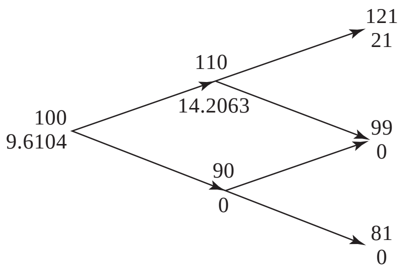
$$[0.7041^2 \times 21 + 2 \times 0.7041 \times 0.2959 \times 0 + 0.2959^2 \times 0]e^{-2\times 0.08\times 0.5} = 9.61$$

o \$9.61.

11.6 El diagrama siguiente muestra cómo podemos valuar la opción de venta usando el mismo árbol de la pregunta de examen 11.5. El valor de la opción es de \$1.92. El valor de la opción también se calcula directamente con la ecuación (11.10):

$$e^{-2\times 0.08\times 0.5}[0.7041^2 \times 0 + 2 \times 0.7041 \times 0.2959 \times 1 + 0.2959^2 \times 19] = 1.92$$

o \$1.92. El precio de la acción más el precio de la opción de venta es de 100 + 1.92 = \$101.92. El valor presente del precio de ejercicio más el precio de la opción de compra es de $100e^{-0.08\times 1} + 9.61$ = \$101.92. Éstos son iguales, lo que verifica que se sostiene la paridad *put call*.



Árbol de la pregunta de examen 11.6

11.7 $u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$ y $d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$

CAPÍTULO 12

12.1 El modelo de valuación de opciones Black-Scholes asume que la distribución de probabilidades del precio de la acción en un año (o en cualquier otra fecha futura) es logarítmica normal. De igual modo, asume que la tasa de rendimiento continuamente compuesta sobre la acción tiene una distribución normal.

12.2 La desviación estándar del cambio porcentual en el precio de la acción en el tiempo Δt es $\sigma\sqrt{\Delta t}$, donde σ es la volatilidad. En este problema, $\sigma = 0.3$ y, si asumimos 252 días de negociación en un año, $\Delta t = 1/252 = 0.003968$, de tal manera que $\sigma\sqrt{\Delta t} = 0.3\sqrt{0.003968} = 0.019$ o 1.9%.

12.3 Si asumimos que el rendimiento esperado de la acción es la tasa de interés libre de riesgo, calculamos el beneficio esperado de una opción de compra. Luego descontamos este beneficio desde el final hasta el inicio de la vida de la opción a la tasa de interés libre de riesgo.

12.4 En este caso, $S_0 = 50$, $K = 50$, $r = 0.1$, $\sigma = 0.3$, $T = 0.25$ y

$$d_1 = \frac{\ln(50/50) + (0.1 + 0.09/2)0.25}{0.3\sqrt{0.25}} = 0.2417$$

$$d_2 = d_1 - 0.3\sqrt{0.25} = 0.0917$$

El precio de la opción de venta europea es de

$$\begin{aligned} 50N(-0.0917)e^{-0.1\times0.25} - 50N(-0.2417) &= 50 \times 0.4634e^{-0.1\times0.25} - 50 \times 0.4045 \\ &= 2.37 \end{aligned}$$

o \$2.37.

12.5 En este caso, debemos restar el valor presente del dividendo del precio de la acción antes de usar el modelo Black-Scholes. Por lo tanto, el valor adecuado de S_0 es de

$$S_0 = 50 - 1.50e^{-0.1\times0.1667} = 48.52$$

Igual que antes, $K = 50$, $r = 0.1$, $\sigma = 0.3$ y $T = 0.25$. En este caso,

$$d_1 = \frac{\ln(48.52/50) + (0.1 + 0.09/2)0.25}{0.3\sqrt{0.25}} = 0.0414$$

$$d_2 = d_1 - 0.3\sqrt{0.25} = -0.1086$$

El precio de la opción de venta europea es de

$$\begin{aligned} 50N(0.1086)e^{-0.1\times0.25} - 48.52N(-0.0414) &= 50 \times 0.5432e^{-0.1\times0.25} - 48.52 \times 0.4835 \\ &= 3.03 \end{aligned}$$

o \$3.03.

12.6 La volatilidad implícita es aquella que hace que el precio Black-Scholes de una opción sea igual a su precio de mercado. Se calcula por ensayo y error, probando de manera sistemática diferentes volatilidades hasta que encontramos la que proporciona el precio de la opción de venta europea al sustituirla en la fórmula de Black-Scholes.

12.7 En la aproximación de Black, calculamos el precio de una opción de compra europea que vence al mismo tiempo que la opción de compra americana y el precio de una opción de compra europea que vence justo antes de la última fecha ex-dividendo. Establecemos el precio de la opción de compra americana igual al mayor de los dos precios.

CAPÍTULO 13

13.1 Cuando el índice S&P 100 baja a 700, es posible esperar que el valor de la cartera sea de $10 \times (700/800) = \$8.75$ millones. (Esto asume que el rendimiento de dividendos sobre la cartera es igual al rendimiento de dividendos sobre el índice). Por consiguiente, la compra de opciones de venta sobre 10,000,000/800 = 12,500 veces el índice, con un precio de ejercicio de 700, proporciona protección contra una disminución en el valor de la cartera por debajo de \$8.75 millones. Como cada contrato se establece sobre 100 veces el índice, se requeriría un total de 125 contratos.

13.2 Un índice bursátil es semejante a una acción que paga un rendimiento de dividendos, y éste es el rendimiento de dividendos sobre el índice. Una divisa es semejante a una acción que paga un rendimiento de dividendos, y éste es la tasa de interés libre de riesgo extranjera.

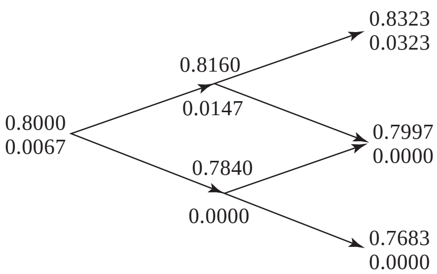
13.3 El límite inferior se obtiene por medio de la ecuación (13.1) de la siguiente manera

$$300e^{-0.03\times 0.5} - 290e^{-0.08\times 0.5} = 16.90$$

13.4 El diagrama siguiente muestra el árbol de las variaciones en el tipo de cambio. En este caso, $u = 1.02$ y $d = 0.98$. La probabilidad de un aumento en un mundo neutral al riesgo es de

$$p = \frac{e^{(0.06-0.08)\times 0.08333} - 0.98}{1.02 - 0.98} = 0.4584$$

El árbol muestra que el valor de una opción para comprar una unidad de la divisa es de \$0.0067.



Árbol de la pregunta de examen 13.4

13.5 Una empresa que sabe que recibirá una divisa en determinada fecha futura puede comprar una opción de venta. Esto garantiza que el precio al que se venderá la divisa estará en cierto nivel o por arriba de éste. Una empresa que sabe que debe pagar una divisa en determinada fecha futura puede adquirir una opción de compra. Esto garantiza que el precio al que comprará la divisa estará en cierto nivel o por debajo de éste.

13.6 En este caso, $S_0 = 250$, $K = 250$, $r = 0.10$, $\sigma = 0.18$, $T = 0.25$, $q = 0.03$ y

$$d_1 = \frac{\ln(250/250) + (0.10 - 0.03 + 0.18^2/2)0.25}{0.18\sqrt{0.25}} = 0.2394$$

$$d_2 = d_1 - 0.18\sqrt{0.25} = 0.1494$$

y el precio de la opción de compra es de

$$\begin{aligned}250N(0.2394)e^{-0.03\times 0.25} - 250N(0.1494)e^{-0.10\times 0.25}\\ &= 250 \times 0.5946e^{-0.03\times 0.25} - 250 \times 0.5594e^{-0.10\times 0.25}\\ &= 11.14\end{aligned}$$

13.7 En este caso, $S_0 = 0.52$, $K = 0.50$, $r = 0.04$, $r_f = 0.08$, $\sigma = 0.12$, $T = 0.6667$ y

$$d_1 = \frac{\ln(0.52/0.50) + (0.04 - 0.08 + 0.12^2/2)0.6667}{0.12\sqrt{0.6667}} = 0.1771$$

$$d_2 = d_1 - 0.12\sqrt{0.6667} = 0.0791$$

y el precio de la opción de venta es de

$$\begin{aligned} &0.50N(-0.0791)e^{-0.04\times0.6667} - 0.52N(-0.1771)e^{-0.08\times0.6667} \\ &\qquad = 0.50 \times 0.4685e^{-0.04\times0.6667} - 0.52 \times 0.4297e^{-0.08\times0.6667} \\ &\qquad = 0.0162 \end{aligned}$$

CAPÍTULO 14

14.1 Una opción de compra sobre yenes otorga al tenedor el derecho a comprar yenes en el mercado *spot* a un tipo de cambio igual al precio de ejercicio. Una opción de compra de futuros sobre yenes otorga al tenedor el derecho a recibir el monto en que el precio de futuros excede al precio de ejercicio. Si se ejerce la opción de futuros sobre yenes, el tenedor también obtiene una posición larga en el contrato de futuros sobre yenes.

14.2 La principal razón es que un contrato de futuros sobre bonos es un instrumento más líquido que un bono. El precio de un contrato de futuros sobre bonos del Tesoro se conoce inmediatamente en las negociaciones de la CBOT. El precio de un bono se obtiene únicamente estableciendo contacto con agentes.

14.3 Un precio de futuros se comporta como una acción que paga un rendimiento de dividendos a la tasa de interés libre de riesgo.

14.4 En este caso, $u = 1.12$ y $d = 0.92$. La probabilidad de un aumento en un mundo neutral al riesgo es de

$$\frac{1 - 0.92}{1.12 - 0.92} = 0.4$$

Con base en la valuación neutral al riesgo, el valor de la opción de compra es de

$$e^{-0.06\times0.5}(0.4 \times 6 + 0.6 \times 0) = 2.33$$

14.5 La fórmula de la paridad *put call* para opciones sobre futuros es la misma que la fórmula de la paridad *put call* para opciones sobre acciones, excepto que el precio de la acción se reemplaza por F_0e^{-rT}, donde F_0 es el precio de futuros actual, r es la tasa de interés libre de riesgo, y T es la vida de la opción.

14.6 La opción de compra americana sobre futuros vale más que la opción americana correspondiente sobre el activo subyacente cuando el precio de futuros es mayor que el precio *spot* antes del vencimiento del contrato de futuros.

14.7 En este caso, $F_0 = 19$, $K = 20$, $r = 0.12$, $\sigma = 0.20$ y $T = 0.4167$. El valor de la opción de venta europea sobre futuros es de

$$20N(-d_2)e^{-0.12\times0.4167} - 19N(-d_1)e^{-0.12\times0.4167}$$

donde

$$d_1 = \frac{\ln(19/20) + (0.04/2)0.4167}{0.2\sqrt{0.4167}} = -0.3327$$

$$d_2 = d_1 - 0.2\sqrt{0.4167} = -0.4618$$

Esto es

$$e^{-0.12\times 0.4167}[20N(0.4618) - 19N(0.3327)] = e^{-0.12\times 0.4167}(20 \times 0.6778 - 19 \times 0.6303)$$
$$= 1.50$$

o $1.50.

CAPÍTULO 15

15.1 Una regla de negociación *stop loss* puede implementarse acordando tener una posición cubierta cuando la opción está *in the money* y una posición descubierta cuando está *out of the money*. Al usar la regla de negociación, el suscriptor de una opción de compra *out of the money* adquiriría el activo subyacente tan pronto como el precio excediera al precio de ejercicio, K, y vendería el activo subyacente tan pronto como el precio disminuyera por debajo de K. En la práctica, cuando el precio del activo subyacente es igual a K, no hay manera de saber si posteriormente excederá a K o disminuirá por debajo de K. Por lo tanto, el activo se comprará en $K + \epsilon$ y se venderá en $K - \epsilon$, para cierta cifra positiva pequeña, ϵ. El costo de la cobertura depende del número de veces que el precio del activo iguala a K. Por consiguiente, la cobertura es relativamente pobre. No costará nada si el precio del activo nunca iguala a K; por otro lado, será muy costosa si el precio del activo iguala muchas veces a K. En una buena cobertura, el costo de ésta se conoce por adelantado con un nivel razonable de exactitud.

15.2 Una delta de 0.7 significa que cuando el precio de la acción aumenta en un monto pequeño, el precio de la opción se incrementa en 70% de este monto. Del mismo modo, cuando el precio de la acción disminuye en un monto pequeño, el precio de la opción disminuye en 70% de este monto. Una posición corta en 1,000 opciones tiene una delta de -700 y puede volverse delta neutral con la compra de 700 acciones.

15.3 En este caso, $S_0 = K$, $r = 0.1$, $\sigma = 0.25$ y $T = 0.5$. Además,

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + [(0.1 + 0.25^2)/2]0.5}{0.25\sqrt{0.5}} = 0.3712$$

La delta de la opción es $N(d_1)$ o 0.64.

15.4 No. Una posición larga o corta en el activo subyacente tiene una vega de cero. Esto se debe a que su valor no cambia al variar la volatilidad.

15.5 La gamma de una posición en una opción es la tasa de cambio de la delta de la posición con respecto al precio del activo. Por ejemplo, una gamma de 0.1 indica que cuando el precio del activo aumenta en cierto monto pequeño, la delta aumenta 0.1 veces este monto. Cuando la gamma de la posición del suscriptor de una opción es grande y negativa y la delta es de cero, el suscriptor de la opción perderá dinero si hay una variación importante (un incremento o una disminución) en el precio del activo.

15.6 Para cubrir la posición en una opción, es necesario crear de manera sintética la posición opuesta en la opción. Por ejemplo, para cubrir una posición larga en una opción de venta, es necesario crear sintéticamente una posición corta en una opción de venta. Se deduce que el procedimiento para crear de manera sintética una posición en una opción es contrario al procedimiento para cubrir la posición en la opción.

15.7 El seguro de cartera por medio de la creación sintética de opciones de venta fue popular en 1987. Funciona de la manera siguiente. Cuando el valor de una cartera disminuye, la cartera se reequilibra: a) vendiendo parte de la cartera o b) vendiendo algunos futuros sobre índices. Si hay suficientes administradores de cartera que estén siguiendo esta estrategia, se crea una situación inestable. Una pequeña disminución da lugar a la venta. A su vez, esto ocasiona una mayor disminución y genera más venta, y así sucesivamente. Se argumenta que este fenómeno tuvo que ver en el desplome bursátil de octubre de 1987.

CAPÍTULO 16

16.1 Delta, gamma y theta se determinan con un solo árbol binomial. Vega se determina realizando un pequeño cambio a la volatilidad y calculando de nuevo el precio de la opción con el uso de un nuevo árbol. Rho se calcula realizando un pequeño cambio a la tasa de interés y calculando de nuevo el precio de la opción a partir de un nuevo árbol.

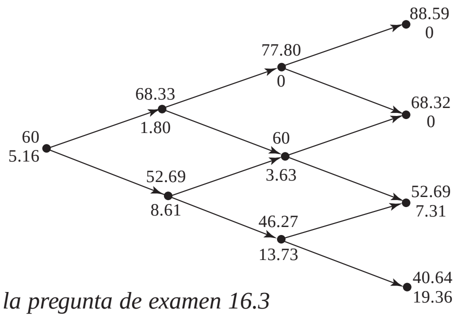
16.2 Con nuestra notación usual las respuestas son: a) $e^{r\Delta t}$, b) $e^{(r-q)\Delta t}$, c) $e^{(r-r_f)\Delta t}$ y d) 1.

16.3 En este caso, $S_0 = 60$, $K = 60$, $r = 0.1$, $\sigma = 0.45$, $T = 0.25$ y $\Delta t = 0.0833$. Además,

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = e^{0.45\sqrt{0.0833}} = 1.1387, \quad d = \frac{1}{u} = 0.8782, \quad a = e^{r\Delta t} = e^{0.1\times 0.0833} = 1.0084,$$

$$p = \frac{a-d}{u-d} = 0.4998, \quad 1-p = 0.5002$$

El árbol se muestra en el diagrama siguiente. El precio calculado de la opción es de \$5.16.



Árbol de la pregunta de examen 16.3

16.4 La técnica de la variable de control se implementa por medio de:

a. La valuación de una opción americana utilizando un árbol binomial de la manera acostumbrada (para obtener f_A)
b. La valuación de la opción europea con los mismos parámetros que la opción americana usando el mismo árbol (para obtener f_E)
c. La valuación de la opción europea usando el modelo Black-Scholes (para obtener f_{BS})

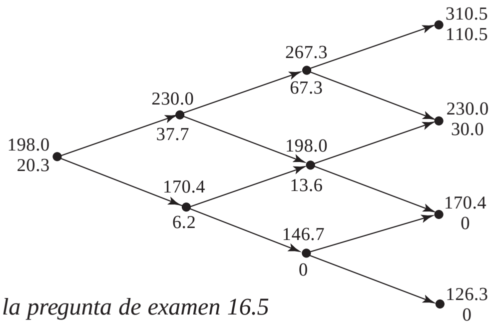
El precio de la opción americana se calcula como: $f_A + f_{BS} + f_E$.

16.5 En este caso, $F_0 = 198$, $K = 200$, $r = 0.08$, $\sigma = 0.3$, $T = 0.75$ y $\Delta t = 0.25$. Además,

$$u = e^{0.3\sqrt{0.25}} = 1.1618, \quad d = \frac{1}{u} = 0.8607, \quad a = 1$$

$$p = \frac{a-d}{u-d} = 0.4626, \quad 1-p = 0.5373$$

El árbol se muestra en el diagrama siguiente. El precio calculado de la opción es de 20.3 centavos de dólar.



Árbol de la pregunta de examen 16.5

16.6 Suponga que se paga un dividendo igual a D durante cierto intervalo. Si S es el precio de la acción al inicio del intervalo, será $Su - D$ o $Sd - D$ al final del intervalo. Al final del siguiente intervalo será $(Su - D)u$, $(Su - D)d$, $(Sd - D)u$ o $(Sd - D)d$. Como $(Su - D)d$ no es igual a $(Sd - D)u$, el árbol no se recombina. Este problema se evita si S es igual al precio de la acción, menos el valor presente de los dividendos futuros.

16.7 En la simulación Monte Carlo hacemos un muestreo de las trayectorias a lo largo del árbol, avanzando de principio a fin. Cuando se alcanza un nodo, no tenemos manera de saber si el ejercicio anticipado es lo óptimo.

CAPÍTULO 17

17.1 Cuando ambas colas de la distribución del precio de la acción son menos pesadas que las de la distribución logarítmica normal, el modelo Black-Scholes producirá precios de alguna manera altos para opciones significativamente *out of the money* o *in the money*. Esto da lugar a un patrón de volatilidad implícita parecido al de la figura 17.7. Cuando la cola derecha es más pesada y la cola izquierda es menos pesada, el modelo Black-Scholes producirá precios relativamente bajos para opciones de compra *out of the money* y opciones de venta *in the money*, y producirá precios en cierto modo altos para opciones de venta *out of the money* y opciones de compra *in the money*. Esto hace que la volatilidad implícita esté en función creciente del precio de ejercicio.

17.2 Por lo común se observa una sonrisa de volatilidad descendente para las acciones.

17.3 Las variaciones súbitas hacen que ambas colas de la distribución del precio de la acción sean más pesadas que las de la distribución logarítmica normal. Esto crea una sonrisa de volatilidad semejante a la de la figura 17.1. Es probable que la sonrisa de volatilidad sea más pronunciada para la opción a tres meses.

17.4 La opción de venta tiene un precio que es demasiado bajo con relación al precio de la opción de compra. La estrategia de negociación correcta es comprar la opción de venta, comprar el activo subyacente y vender la opción de compra.

17.5 La cola izquierda más pesada da lugar a precios altos, y por lo tanto a volatilidades implícitas altas, para opciones de venta *out of the money* (con precio de ejercicio bajo). Del mismo modo, la cola derecha menos pesada da lugar a precios bajos, y por consiguiente a volatilidades bajas, para opciones de compra *out of the money* (con precio de ejercicio alto). Se produce una sonrisa de volatilidad en la cual la volatilidad está en función decreciente del precio de ejercicio.

17.6 Con la notación del texto,

$$c_{bs} + Ke^{-rT} = p_{bs} + Se^{-qT}$$
$$c_{\mathrm{merc}} + Ke^{-rT} = p_{merc} + Se^{-qT}$$

Se deduce que

$$c_{bs} - c_{merc} = p_{bs} - p_{merc}$$

En este caso, $c_{merc} = 3.00$, $c_{bs} = 3.50$ y $p_{bs} = 1.00$. Se deduce que p_{merc} debe ser de 0.50.

17.7 El argumento de la fobia al desplome bursátil trata de explicar la asimetría de volatilidad pronunciada en los mercados de acciones desde 1987. (Éste fue el año en que los mercados de acciones conmocionaron a todos al desplomarse más de 20% en un día). El argumento es que los negociantes están preocupados por otro desplome y, en consecuencia, aumentan el precio de las opciones de venta *out of the money*. Esto crea la asimetría de volatilidad.

CAPÍTULO 18

18.1 El método de simulación histórica consiste en construir N escenarios de lo que podría ocurrir entre hoy y mañana con base en N días de datos históricos. El primer escenario asume que el cambio porcentual en todas las variables de mercado será igual al nivel que tenía entre el primer día (día 0) y el segundo día (día 1); el segundo escenario asume que el cambio porcentual en todas las variables del mercado será igual al nivel que tenía entre el segundo día (día 1) y el tercer día (día 2); y así sucesivamente. El escenario final asume que el cambio porcentual en todas las variables de mercado será igual al nivel que tenía entre ayer (día $N - 1$) y hoy (día N). La cartera se valúa para cada escenario y el VaR se calcula con base en la distribución de probabilidades de los cambios en el valor de la cartera.

18.2 Defina u_i como $(S_i - S_{i-1})/S_{i-1}$, donde S_i es el valor de una variable de mercado en el día i. En el modelo EWMA, la tasa de varianza de la variable de mercado (es decir, el cuadrado de su volatilidad) es un promedio ponderado de u^2_i. Para cierta λ constante ($0 < \lambda < 1$), el peso dado a u^2_{i-1} (que se calcula el día $i - 1$) es λ veces el peso dado a u_i^2 (que se calcula el día i). La volatilidad σ_n calculada al final del día $n - 1$ se relaciona con la volatilidad s_{n-1} calculada al final del día $n - 2$ por medio de

$$\sigma_n^2 = \lambda\sigma_{n-1}^2 + (1 - \lambda)u_{n-1}^2$$

Esta fórmula muestra que el modelo EWMA tiene una característica muy atractiva. Para calcular la volatilidad del día n basta conocer la estimación de la volatilidad para el día $n - 1$ y u^2_{n-1}.

18.3 En este caso, $\sigma_{n-1} = 0.015$ y $u_n = 0.5/30 = 0.01667$, de tal modo la ecuación (18.10) nos da

$$\sigma_n^2 = 0.94 \times 0.015^2 + 0.06 \times 0.01667^2 = 0.0002282$$

Por lo tanto, el cálculo de la volatilidad el día n es $\sqrt{0.0002282}$ o 1.51%.

18.4 Medida en miles de dólares, la varianza de los cambios diarios en el valor de la cartera es

$$300^2 \times 0.018^2 + 500^2 \times 0.012^2 + 2 \times 300 \times 500 \times 0.018 \times 0.012 \times 0.3 = 84.60$$

La desviación estándar de los cambios diarios en la cartera es $\sqrt{84.60} = 9.20$. La desviación estándar de los cambios durante cinco días es $9.20\sqrt{5} = 20.57$. Por consiguiente, el VaR a 95% a 5 días para la cartera es $1.65 \times 20.57 = 33.94$ o $33,940.

18.5 La relación aproximada entre el cambio diario en el valor de la cartera, ΔP, y el cambio diario en el tipo de cambio, ΔS, es

$$\Delta P = 56\Delta S$$

El cambio diario proporcional en el tipo de cambio, Δx, equivale a $\Delta S/1.5$. Se deduce que

$$\Delta P = 56 \times 1.5\Delta x$$

o

$$\Delta P = 84\Delta x$$

La desviación estándar de Δx equivale a la volatilidad diaria del tipo de cambio o 0.7%. Por lo tanto, la desviación estándar de ΔP es $84 \times 0.007 = 0.588$. Se deduce que el VaR a 99% y a 10 días para la cartera es

$$0.588 \times 2.33 \times \sqrt{10} = 4.33$$

18.6 Con base en la ecuación (18.5), la relación es

$$\Delta P = 56 \times 1.5\Delta x + \tfrac{1}{2} \times 1.5^2 \times 16.2 \times \Delta x^2$$

o

$$\Delta P = 84\Delta x + 18.225\Delta x^2$$

18.7 El método de simulación histórica asume que la distribución de probabilidades conjunta de las variables de mercado es la distribución proporcionada por los datos históricos. El método de construcción de modelos asume generalmente que las variables de mercado tienen una distribución normal multivariada. En el método de construcción de modelos, las volatilidades de las variables de mercado y sus correlaciones se suelen calcular con un método, como el de modelo de media móvil ponderada exponencialmente, que asigna más peso a los datos recientes.

CAPÍTULO 19

19.1 Un monto de

$$\$20{,}000{,}000 \times (0.12 - 0.10) \times 0.25 = \$100{,}000$$

se pagaría tres meses después.

19.2 Un bono rescatable es el que permite al emisor readquirir el bono del tenedor en determinadas fechas y a precios previamente especificados. Un bono con opción de venta es aquel que permite al tenedor revender el bono al emisor en ciertas fechas y a precios especificados con antelación.

19.3 Un *swaption* es una opción para participar en un *swap* de tasas de interés en cierta fecha futura, intercambiando una tasa fija por una tasa variable. Un *swap* de tasas de interés se considera como el intercambio de un bono de tasa fija por un bono de tasa variable. Así, un *swaption* es la opción para intercambiar un bono de tasa fija por un bono de tasa variable. El bono de tasa variable tendrá un valor igual a su valor nominal al inicio de la vida del *swap*. Por consiguiente, el *swaption* es una opción sobre un bono de tasa fija, cuyo precio de ejercicio es igual al valor nominal del bono.

19.4 En este caso, $F_0 = (125 - 10)e^{0.1\times 1} = 127.09$, $K = 110$, $r = 0.1$, $\sigma = 0.08$, $T = 1.0$ y

$$d_1 = \frac{\ln(127.09/110) + (0.08^2/2)}{0.08} = 1.8456$$

$$d_2 = d_1 - 0.08 = 1.7656$$

El valor de la opción de venta es de

$$110e^{-0.1}N(-1.7656) - 127.09e^{-0.1\times 1}N(-1.8456) = 0.12$$

o \$0.12.

19.5 El pago es de $25 \times 87 = \$2{,}175$.

19.6 En este caso, $L = 1{,}000$, $\delta_k = 0.25$, $F_k = 0.12$, $R_K = 0.13$, $\sigma_k = 0.12$, $t_k = 1.5$, $e^{-0.115\times 1.75} = 0.8177$ y

$$d_1 = \frac{\ln(0.12/0.13) + 0.12^2 \times 1.5/2}{0.12\sqrt{1.5}} = -0.4711$$

$$d_2 = -0.4711 - 0.12\sqrt{1.5} = -0.6181$$

El valor de la opción es de

$$1000 \times 0.25 \times 0.8177[0.12N(-0.4711) - 0.13N(-0.6181)] = 0.69$$

o \$0.69.

19.7 Los modelos de curvas de rendimientos tienen dos ventajas importantes. En primer lugar, permiten que todos los derivados de tasas de interés se valúen de manera consistente. En segundo lugar, permiten valuar los títulos que no se pueden valuar con el modelo de Black. Un ejemplo de un título que no se puede valuar con este modelo, pero sí con los modelos de curvas de rendimientos, es una opción americana sobre *swap*, de vencimiento a largo plazo.

CAPÍTULO 20

20.1 Una opción *forward start* es la que se otorga ahora, pero que iniciará en alguna fecha futura. Generalmente, el precio de ejercicio es igual al precio del activo al inicio de la opción. Una opción *chooser* es una opción en la que, en alguna fecha futura, el tenedor decide que si la opción es una opción de compra o de venta.

20.2 Con la notación usual, el valor es $100e^{-0.04\times 0.25}\,N(d_2)$. En este caso,

$$d_2 = \frac{\ln(50/50) + (0.04 - 0.2^2/2)0.25}{0.2\sqrt{0.25}} = 0.05$$

y

$$N(d_2) = 0.5199$$

y el valor de la opción es $100e^{-0.04\times 0.25} \times 0.5199 = 51.48$ dólares

20.3 Opción de compra *up and in*, opción de compra *up and out*; opción de venta *up and in*, opción de venta *up and out*; opción de compra *down and in*, opción de compra *down and out*; opción de venta *down and in*, y opción de venta *down and out*.

20.4 En un *swap* de acciones, una parte promete pagar el rendimiento sobre un índice accionario aplicado a un principal nocional y la otra promete pagar un rendimiento fijo o variable sobre el principal nocional.

20.5 Cuando aumentan los prepagos, el principal se recibe antes y esto incrementa el valor de un PO. Cuando aumentan los prepagos, se reciben menos intereses y esto disminuye el valor de un IO.

20.6 Un *swap* cancelable da a la empresa X la opción de finalizar el *swap* anticipadamente. Suponga que el *swap* dura hasta el tiempo T y que la empresa X lo cancela en el tiempo t. Esto equivale a que la empresa X participe en un nuevo *swap* en el tiempo t. Este nuevo *swap* dura hasta el tiempo T y tiene los flujos de efectivo contrarios al *swap* original. Por lo tanto, la opción de cancelación otorga a la empresa X el derecho a participar en un *swap*, es decir, le da una opción sobre un *swap*.

20.7 El negociante podría participar en un *swap* diferencial en el que se paga el interés sobre un principal en dólares estadounidenses a la tasa LIBOR a tres meses en dólares estadounidenses, y se recibe el interés sobre el mismo principal en dólares estadounidenses a la tasa LIBOR a tres meses en dólares canadienses menos un margen de 2%. Esto es mejor que un *swap* regular variable por variable, en el que se aplica la tasa LIBOR en dólares canadienses a un principal en dólares canadienses porque evita cualquier exposición al tipo de cambio entre el dólar canadiense y el dólar estadounidense.

CAPÍTULO 21

21.1 Ambos proporcionan seguro contra el incumplimiento de una empresa específica durante cierto periodo. En un *swap* de incumplimiento de crédito, el beneficio es el monto del principal nocional multiplicado por uno, menos la tasa de recuperación. En un *swap* binario, el beneficio es el principal nocional.

21.2 El vendedor recibe

$$300{,}000{,}000 \times 0.0060 \times 0.5 = \$900{,}000$$

en 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 y 4.0 años. El vendedor también recibe un pago acumulado final de aproximadamente \$300,000 (= \$300,000,000 de dólares × 0.060 × 2/12) al momento del incumplimiento (4 años y 2 meses). El vendedor paga

$$300{,}000{,}000 \times 0.6 = \$180{,}000{,}000$$

al momento del incumplimiento.

21.3 A veces hay una liquidación física y a veces una liquidación en efectivo. En caso de que ocurra un cumplimiento cuando hay una liquidación física, el comprador de protección vende los bonos emitidos por la entidad de referencia a su valor nominal. Puede vender los bonos con un valor nominal total igual al principal nocional. En caso de que ocurra un incumplimiento cuando hay una liquidación en efectivo, un agente de cálculo estima el valor de los bonos *cheapest to deliver* emitidos por la entidad de referencia cierto número de días después del evento de incumplimiento. En este caso, el beneficio en efectivo se basa en el excedente del valor nominal de estos bonos sobre el valor estimado.

21.4 Una CDO en efectivo se crea a partir de una cartera de bonos. Los rendimientos obtenidos de la cartera de bonos fluyen hacia varios tramos (es decir, diferentes categorías de inversionistas). Los tramos difieren en cuanto al riesgo de crédito que asumen. El primer tramo podría tener una inversión de 5% en la cartera de bonos y ser responsable del primer 5% de las pérdidas. El siguiente tramo podría tener una inversión de 10% en la cartera y ser responsable del siguiente 10% de las pérdidas, etc. En una CDO sintética no hay una cartera de bonos; en su lugar, se vende una cartera de *swaps* de incumplimiento de crédito y los riesgos de crédito resultantes se asignan a los tramos de manera semejante a como lo acabamos de describir.

21.5 En un CDS de canasta *first to default*, hay varias entidades de referencia. Cuando la primera incumple, se obtiene un beneficio (calculado en la forma usual para un CDS) y finaliza el CDS de canasta. El valor de un CDS de canasta *first to default* disminuye a medida que aumenta la correlación entre las entidades de referencia incluidas en la canasta.

21.6 Las probabilidades de incumplimiento neutrales al riesgo se deducen de *swaps* de incumplimiento de crédito o de precios de bonos. Las probabilidades de incumplimiento del mundo real se calculan a partir de datos históricos.

21.7 Suponga que una empresa desea comprar algunos activos. Si se usa un *swap* de retorno total, una institución financiera compra los activos y participa en un *swap*, junto con la empresa, en el que le paga el rendimiento sobre los activos y recibe de ésta la tasa LIBOR más un margen. La institución financiera tiene menos riesgo del que tendría si le prestara dinero a la empresa y usara los activos como garantía. Esto porque, en caso de incumplimiento de parte de la empresa, la institución financiera posee los activos.

CAPÍTULO 22

22.1 El HDD de un día es máx$(0, 65 - A)$ y el CDD de un día es máx$(0, A - 65)$, donde A es el promedio de la temperatura más alta y más baja durante el día en una estación meteorológica específica, medida en grados Fahrenheit.

22.2 La temperatura promedio de cada día es 75°. Por consiguiente, el CDD de cada día es de 10 y el CDD acumulativo del mes es de $10 \times 31 = 310$. Por lo tanto, el beneficio obtenido de la opción de compra es de $(310 - 250) \times 5{,}000 = \$300{,}000$.

22.3 Es un acuerdo en el que una parte entrega cierta cantidad de gas a una tasa más o menos uniforme durante un mes a un centro específico a un precio determinado.

22.4 A diferencia de la mayoría de los *commodities*, la electricidad no se almacena fácilmente. Si la demanda de electricidad excede a la oferta, como ocurre en ocasiones durante la temporada de mayor uso de aire acondicionado, el precio de la electricidad se disparará en un ambiente desregulado. Cuando nuevamente la oferta y la demanda se igualan, el precio regresa a los niveles anteriores.

22.5 No hay riesgo sistemático (es decir, el riesgo valuado por el mercado) en derivados del clima y bonos CAT.

22.6 El productor de energía se enfrenta a riesgos de cantidad y de precio. Puede usar derivados del clima para cubrir los riesgos de cantidad y derivados de energía para cubrirse contra los riesgos de precio.

22.7 Los bonos CAT (bonos catastróficos) son una alternativa al reaseguro para una empresa de seguros que ha asumido cierto riesgo catastrófico (por ejemplo, el riesgo de un huracán o terremoto) y desea deshacerse de él. La empresa de seguros emite los bonos CAT, que proporcionan una tasa de interés más alta que los bonos del gobierno. Sin embargo, los tenedores de bonos aceptan renunciar a los intereses, y posiblemente al principal, para satisfacer cualquier reclamación contra la empresa de seguros que esté dentro de un margen predeterminado.

Glosario de términos

Activo de consumo Activo que se mantiene para el consumo más que para la inversión.

Activo de inversión Activo que mantienen por lo menos algunas personas con propósitos de inversión.

Acuerdo de interés futuro (FRA, *Forward Rate Agreement*) Acuerdo que establece que se aplicará cierta tasa de interés a determinado monto de principal durante cierto periodo en el futuro.

Ajuste al mercado Práctica que revalúa un instrumento para que refleje los valores actuales de las variables de mercado relevantes.

Ajuste por convexidad Término muy explotado, el cual se refiere al ajuste necesario para convertir una tasa de interés de futuros en una tasa de interés *forward*.

Análisis de escenarios Análisis de los efectos de posibles cambios futuros alternativos en las variables de mercado sobre el valor de una cartera.

Aproximación de Black Procedimiento aproximado, desarrollado por Fischer Black, para valuar una opción de compra sobre una acción que paga dividendos.

Arbitraje Estrategia de negociación que aprovecha el hecho de que dos o más títulos están mal valuados entre sí.

Arbitraje de índice Arbitraje que implica una posición en las acciones que componen un índice accionario y una posición en un contrato de futuros sobre el índice accionario.

Arbitrajista Persona que participa en el arbitraje.

Árbol Representación de la evolución del valor de una variable de mercado con el propósito de valuar una opción u otro derivado.

Árbol binomial Árbol que representa cómo evoluciona el precio de un activo bajo el modelo binomial.

Asimetría de volatilidad Término que se usa para describir la sonrisa de volatilidad cuando es asimétrica.

Back testing (pruebas retrospectivas) Pruebas del modelo de valor en riesgo o de otro modelo que use datos históricos.

Base Diferencia entre el precio *spot* y el precio de futuros de un *commodity*.

Basilea II Nuevas regulaciones internacionales para calcular el capital bancario, que entrarían en vigor en 2007 y 2008.

Bear spread (*Spread* bajista) Posición corta en una opción de venta con un precio de ejercicio X_1, junto con una posición larga en una opción de venta con un precio de ejercicio X_2, donde $X_2 > X_1$. (También puede crearse un *bear spread* con opciones de compra).

Beta (letra griega) Medida del riesgo sistemático de un activo.

Bono CAT (bono catastrófico) Bono en el que los intereses y posiblemente el principal pagados se reducen si una clase específica de reclamaciones de seguro contra desastres excede un monto determinado.

Bono *cheapest to deliver* Bono más barato a entregar en el contrato de futuros sobre bonos de la Bolsa de Comercio de Chicago.

Bono con opción a venta (*Puttable bond*) Bono en el que el tenedor tiene el derecho de venderlo nuevamente al emisor en ciertas fechas predeterminadas a un precio predefinido.

Bono convertible Bono corporativo que puede convertirse en un monto predeterminado del capital de la empresa en ciertos momentos de la vida del bono.

Bono cupón cero Bono que no proporciona cupones.

Bono de descuento *Vea* Bono cupón cero.

Bono del Tesoro Instrumento a largo plazo con cupón que emite el gobierno de Estados Unidos de América para financiar su deuda.

Bono prorrogable Bono cuya vida puede prolongarse a elección del tenedor.

Bono rescatable Bono que contiene cláusulas que permiten al emisor readquirirlo a un precio predeterminado en ciertas fechas durante la vida del bono.

Bull spread *(Spread* alcista) Posición larga en una opción de compra con un precio de ejercicio X_1, junto con una posición corta en una opción de compra con un precio de ejercicio X_2, donde $X_2 > X_1$. (También puede crearse un *bull spread* con opciones de venta).

Butterfly spread (*Spread* mariposa) Posición creada tomando una posición larga en una opción de compra con un precio de ejercicio X_1; una posición larga en una opción de compra con un precio de ejercicio X_3, y una posición corta en dos opciones de compra con un precio de ejercicio X_2, donde $X_3 > X_2 > X_1$ y $X_2 = 0.5(X_1 + X_3)$.

Calce de duraciones (*Duration matching*) Procedimiento para asegurar el calce de las duraciones de activos y pasivos en una institución financiera.

Cálculo de días (*Day count*) Convención para cotizar tasas de interés.

Calendar spread (*Spread* calendario) Posición creada tomando una posición larga en una opción de compra que vence en una fecha, y una posición corta en una opción de compra similar que vence en una fecha diferente. (Un *calendar spread* también puede crearse usando opciones de venta).

Calendario de festividades Calendario que define los días festivos con el propósito de determinar las fechas de pago en un *swap*.

Calibración Método que sugiere los parámetros de un modelo a partir de los precios de opciones activamente negociadas.

Calificación de crédito Medida de la solvencia de una emisión de bonos.

Cámara de compensación (*Clearinghouse*) Empresa que garantiza el desempeño de las partes en una transacción de derivados que cotizan en bolsa. Se conoce también como *corporación de compensación*.

***Cap* de tasa de interés** Opción que proporciona un pago cuando una tasa de interés específica está por arriba de cierto nivel. La tasa de interés es una tasa variable que se reajusta periódicamente.

Caplet Componente de un *cap* de tasa de interés.

Cartera delta neutral Cartera con una delta de cero de manera que no haya sensibilidad a las pequeñas variaciones de precio del activo subyacente.

Cartera gamma neutral Cartera con un gamma de cero.

Cartera vega neutral Cartera con un vega de cero.

CDD (*Cooling Degree-Days*) Grados al día de enfriamiento. Valor máximo de cero y la cantidad por la cual la temperatura promedio diaria es mayor a 65º Fahrenheit. La temperatura promedio es el término medio entre la temperatura máxima y la mínima (de medianoche a medianoche).

CDO (*Collateralized Debt Obligation*) *Vea* Obligación de deuda garantizada.

CDO sintética CDO creada por la venta de *swaps* de incumplimiento de crédito.

CDS (*Credit Default Swap*) *Vea Swap* de incumplimiento de crédito.

Clase de opción Todas las opciones del mismo tipo (de compra o de venta) sobre una acción específica.

Clase de opciones *Vea* Clase de opciones.

CMO (*Collateralized Mortgage Obligation*) *Vea* Obligación garantizada con hipoteca.

Cobertura Transacción diseñada para reducir el riesgo.

Cobertura corta Cobertura en la que se toma una posición corta sobre futuros.

Cobertura cruzada Cobertura de una exposición al precio de un activo con un contrato sobre otro activo.

Cobertura delta (*Delta hedging*) Esquema de cobertura diseñado para hacer que el precio de una cartera de derivados sea insensible a las pequeñas variaciones de precio del activo subyacente.

Cobertura dinámica Procedimiento para cubrir la posición de una opción cambiando periódicamente la posición mantenida en los activos subyacentes. Por lo general, el objetivo es mantener una posición delta neutral.

Cobertura estática Cobertura que no cambia una vez que se inicia.

Cobertura larga Cobertura que implica una posición de futuros a largo plazo.

Coberturista Persona que participa en transacciones de cobertura.

***Collar* de tasa de interés** Combinación de un *cap* y un *floor* de tasa de interés.

Combinación Posición que incluye opciones tanto de compra como de venta sobre el mismo activo subyacente.

Comisión de Comercio en Futuros sobre Mercancías (*Commodity Futures Trading Commission*) Organismo que regula la negociación de contratos de futuros en Estados Unidos de América.

Comisionistas Individuos que ejecutan transacciones para otras personas y cobran una comisión por hacerlo.

Composición continua Forma de cotizar las tasas de interés. Es el límite a medida que el intervalo de composición asumido se vuelve cada vez menor.

Confirmación Contrato que confirma el contrato verbal entre dos partes de una transacción en el mercado *over the counter*.

Contango Situación en la que el precio de los futuros excede al precio *spot* futuro esperado.

Contraparte Lado contrario en una transacción financiera.

Contrato a plazo (*Forward contract*) Contrato que obliga al tenedor a comprar o vender un activo a un precio de entrega predeterminado en una fecha futura predefinida.

Contrato de *floor* y *ceiling* *Vea Collar* de tasa de interés.

Contrato de futuros Contrato que obliga al tenedor a comprar o vender un activo a un precio de entrega predeterminado durante un periodo futuro específico. El contrato se ajusta diariamente al mercado.

Contrato de futuros sobre eurodólares Contrato de futuros expedido sobre un depósito en eurodólares.

Contrato *range forward* Combinación de una opción de compra larga y una opción de venta corta, o la combinación de una opción de compra corta y una opción de venta larga.

Convexidad Medida de la curvatura en la relación entre los precios y los rendimientos de los bonos.

Corredor a comisión Persona que maneja las órdenes limitadas en algunas bolsas de valores. Pone a disposición de otros negociantes la información sobre las órdenes limitadas pendientes.

Correlación entre incumplimientos Mide la tendencia de dos empresas a incumplir aproximadamente al mismo tiempo.

Costo de mantenimiento Costos de almacenamiento, más el costo de financiamiento de un activo, menos el ingreso ganado sobre el activo.

Costos de almacenamiento Costos de guardado de un *commodity*.

Costos de transacción Costos de llevar a cabo una transacción (comisiones, más la diferencia entre el precio obtenido, y el punto medio del diferencial de compraventa).

Cotización mayor Aumento de precio.

Covarianza Medida de la relación lineal entre dos variables (igual a la correlación entre las variables por el producto de sus desviaciones estándar).

Creador de mercado Comerciante dispuesto a cotizar los precios tanto de demanda como de oferta de un activo.

Cupón Pago de intereses realizados sobre un bono.

Curva cero *Vea* Curva de rendimiento cupón cero.

Curva de rendimiento cupón cero Registro de la tasa de interés cupón cero frente al tiempo al vencimiento.

Curva de rendimiento *Vea* Estructura temporal de las tasas de interés.

Curva LIBOR Tasas de interés cupón cero LIBOR en función del vencimiento.

Decaimiento del tiempo *Vea* Theta.

Déficit esperado Pérdida esperada durante N días, condicionada a que esté en la cola $(100 - X)\%$ de la distribución de ganancias y pérdidas. La variable N días es el horizonte temporal y $X\%$ es el nivel de confianza.

Delta Tasa de cambio del precio de un derivado con respecto al precio del activo subyacente.

Demanda de garantía adicional (*Margin call*) Solicitud de margen adicional cuando el saldo de la cuenta de margen cae por debajo del nivel del margen de mantenimiento.

Densidad de la probabilidad de incumplimiento Mide la probabilidad incondicional de incumplimiento en un periodo corto futuro.

Derivado Instrumento cuyo precio depende o se deriva del precio de otro activo.

Derivado de crédito Derivado cuyo pago depende de la solvencia de una o más entidades.

Derivado del clima Derivado cuyo pago depende del clima.

Derivado sobre tasa de interés Derivado cuyos pagos dependen de las tasas de interés futuras.

DerivaGem Software que acompaña a este libro.

Desplazamiento paralelo Movimiento de la curva de rendimiento en el que cada uno de sus puntos cambia en la misma cantidad.

Diferencial ajustado a la opción Diferencial de la curva del Tesoro que iguala el precio teórico de un derivado de tasas de interés con el precio de mercado.

Diferencial de compraventa (*Bid ask spread*) *Vea* Diferencial de demanda y oferta.

Diferencial de demanda y oferta (*Bid ofer spread*) Monto en el que el precio de oferta excede al precio de demanda.

Distribución implícita Distribución del precio futuro de un activo implícito de los precios de opciones.

Distribución logarítmica normal Una variable tiene una distribución logarítmica normal cuando el logaritmo de la variable tiene una distribución normal.

Distribución normal Distribución estadística estándar en forma de campana.

Dividendo Pago en efectivo realizado al propietario de una acción.

Dividendo en acciones Dividendo pagado en forma de acciones adicionales.

Duración Medida de la vida promedio de un bono. También es una aproximación a la razón entre el cambio proporcional del precio del bono y el cambio absoluto de su rendimiento.

Duración modificada Modificación de la medida de duración estándar, de manera que describa con mayor exactitud la relación entre los cambios proporcionales del precio de un bono y los cambios absolutos de su rendimiento. La modificación toma en cuenta la frecuencia de composición con que se cotiza el rendimiento.

Ejercicio anticipado Ejercicio realizado antes de la fecha de vencimiento.

Emisión con derechos de suscripción Emisión de un título para los accionistas existentes, que les otorga el derecho a comprar nuevas acciones a cierto precio.

Entidad de referencia Empresa por la que se obtiene protección contra el incumplimiento de pago por medio de un CDS.

Especialista Persona responsable de gestionar las órdenes limitadas en algunas bolsas de valores. El especialista no pone a disposición de otros negociantes la información sobre las órdenes limitadas pendientes.

Especulador Comerciante que mantiene posiciones durante un periodo muy corto.

Especulador Persona que toma una posición en el mercado. Por lo general, apuesta a que el precio de un activo subirá o bajará.

Estructura temporal de la volatilidad Variación de la volatilidad implícita en el tiempo al vencimiento.

Estructura temporal de las tasas de interés Relación entre las tasas de interés y sus vencimientos.

Eurodivisa Divisa que está fuera del control formal de las autoridades monetarias del país emisor.

Eurodólar Dólar que se conserva en un banco ubicado fuera de Estados Unidos de América.

EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) Media móvil ponderada exponencialmente.

Expedición de una opción Venta de una opción.

Exposición Pérdida máxima por el incumplimiento de una contraparte.

Factor de conversión Factor que se usa para determinar el número de bonos que se deben entregar en el contrato de futuros sobre bonos de la Bolsa de Comercio de Chicago.

FAS (*Financial Accounting Standard*) Normas de contabilidad financiera.

FASB (*Financial Accounting Standards Board*) Consejo de normas de contabilidad financiera.

Fecha de reajuste Fecha en un *swap*, *cap* o *floor*, en la que se establece la tasa variable para el siguiente periodo.

Fecha de vencimiento Fin de la vida de un contrato.

Fecha ex-dividendo Cuando se declara un dividendo, se especifica una fecha ex-dividendo. Los inversionistas que poseen acciones inmediatamente antes de la fecha ex-dividendo reciben el dividendo.

***Floor* de tasa de interés** Opción que proporciona un pago cuando una tasa de interés está por debajo de cierto nivel. La tasa de interés es una tasa variable que se reajusta periódicamente.

Floorlet Componente de un *floor*.

Frecuencia de composición Define cómo se mide una tasa de interés.

Función de distribución acumulativa Probabilidad de que una variable sea menor que x en función de x.

Función de prepago Función que calcula el prepago del principal sobre una cartera de hipotecas en términos de otras variables.

Funcionario del libro de órdenes *Vea* Corredor a comisión.

Futuros sobre bonos del Tesoro Contrato de futuros sobre bonos del Tesoro.

Futuros sobre índice bursátil Futuros sobre un índice accionario.

Futuros sobre índices Contrato de futuros sobre un índice bursátil o sobre otro índice.

Futuros sobre notas del Tesoro Contrato de futuros sobre notas del Tesoro.

Gamma Tasa de cambio de delta con respecto al precio del activo.

Ganancias al inicio Ganancia generada por la venta de un derivado en un precio mayor a su valor teórico.

HDD (*Heating Degree-Days*) Grados al día de calentamiento. Valor máximo de cero y la cantidad por la cual la temperatura promedio diaria es menor a 65º Fahrenheit. La temperatura promedio es el término medio entre la temperatura máxima y la mínima (de medianoche a medianoche).

Hipótesis de los mercados eficientes Hipótesis según la cual los precios de los activos reflejan la información relevante.

Índice accionario Índice que da seguimiento al valor de una cartera de acciones.

Inducción hacia atrás Procedimiento en el que se trabaja a partir del final y hacia el principio a lo largo de un árbol, para valuar una opción.

Inmunización de cartera Hace que una cartera sea relativamente insensible a las tasas de interés. (También se conoce como *calce de duraciones*).

Instrumento de descuento Instrumento, como una letra del Tesoro, que no proporciona cupones.

Interés abierto Total de posiciones largas abiertas en un contrato de futuros (igual al total de posiciones cortas).

Interés acumulado Interés ganado sobre un bono desde la última fecha de pago de cupón.

Intermediario financiero Banco u otra institución financiera que facilita el flujo de fondos entre diferentes entidades de la economía.

Investigación empírica Investigación basada en datos de mercado históricos.

IO (*Interest Only*) Título respaldado por hipotecas en el que el tenedor recibe únicamente los flujos de efectivo de los intereses sobre el fondo de hipotecas subyacente.

Juego de comodín (*Wild card play*) Derecho a entregar un contrato de futuros al precio de cierre durante cierto periodo después del cierre de la negociación.

Kurtosis Medida de la densidad de las colas de una distribución.

LEAPS (*Long-term Equity Anticipation Securities*) Valores de anticipación de capital a largo plazo. Opciones de plazo relativamente largo sobre acciones individuales o índices accionarios.

Letra del Tesoro Instrumento a corto plazo sin cupón que emite el gobierno de Estados Unidos de América para financiar su deuda.

Letras griegas Parámetros de cobertura como delta, gamma, vega, theta y rho.

LIBID (*London Interbank Bid rate*) Tasa demandada por los bancos sobre depósitos en eurodivisas (es decir, tasa a la que un banco está dispuesto a pedir prestado a otros bancos).

LIBOR (*London Interbank Offered Rate*) Tasa ofrecida por los bancos sobre depósitos en eurodivisas (es decir, tasa a la que un banco está dispuesto a prestar a otros bancos).

Límite de ejercicio Número máximo de opciones que pueden ejercitarse en una bolsa de valores en un periodo de cinco días.

Límite de posición Posición máxima que un comerciante (o grupo de comerciantes que actúan juntos) tiene permitido mantener.

Liquidación en efectivo Procedimiento para liquidar un contrato de futuros en efectivo, en vez de entregar el activo subyacente.

Locales Operadores de piso de una bolsa de valores que negocian por su propia cuenta en vez de hacerlo para alguien más.

Mapeo de flujos de efectivo Procedimiento para representar un instrumento como una cartera de bonos cupón cero, con el propósito de calcular el valor en riesgo.

Margen Saldo de caja (o depósito de garantía) requerido a un comerciante de futuros u opciones.

Margen de compensación Margen anunciado por un miembro de una cámara de compensación.

Margen de mantenimiento Cuando el saldo de la cuenta de margen de un comerciante cae por debajo del nivel del margen de mantenimiento, el comerciante recibe una demanda de garantía adicional que requiere que la cuenta se incremente al nivel del margen inicial.

Margen de variación Margen adicional requerido para que el saldo de una cuenta de margen se incremente al nivel del margen inicial cuando haya una demanda de garantía adicional.

Margen inicial Efectivo que un comerciante de futuros requiere al momento de la transacción.

Media geométrica Raíz enésima del producto de *n* números.

Mercado inverso normal (*Normal backwardation*) Situación en la que el precio de futuros está por debajo del precio *spot* futuro esperado.

Mercado invertido Mercado en el que los precios de los futuros disminuyen con su vencimiento.

Mercado normal Mercado en el que los precios de futuros aumentan con su vencimiento.

Mercado *over the counter* (Mercado no inscrito en la bolsa) Mercado en que los comerciantes negocian por teléfono. Por lo común, los comerciantes son instituciones financieras, corporaciones y administradores de fondos.

Método *bootstrap* (método de remuestreo) Procedimiento para calcular la curva de rendimiento cupón cero a partir de datos de mercado.

Método de varianza covarianza Método que muestra las varianzas y covarianzas entre diversas variables de mercado.

Modelo binomial Modelo en el que se vigila el precio de un activo durante cortos periodos sucesivos. En cada periodo corto se asume que únicamente pueden ocurrir dos variaciones de precio.

Modelo Black-Scholes Modelo para valuar opciones europeas sobre acciones, desarrollado por Fischer Black, Myron Scholes y Robert Merton.

Modelo de Black Ampliación del modelo Black-Scholes para valuar opciones europeas sobre contratos de futuros.

Modelo de media móvil ponderada exponencialmente Modelo que usa la ponderación exponencial para proporcionar pronósticos de una variable a partir de datos históricos. En ocasiones se aplica a la varianza diaria en los cálculos del valor en riesgo.

Modelo de mercado Modelo usado comúnmente por los comerciantes.

Modelo de valuación de activos de capital Modelo que relaciona el rendimiento esperado sobre un activo con su beta.

Movimiento límite Cambio de precio máximo que permite la bolsa de valores en una sola sesión de negociación.

Mundo neutral al riesgo Mundo en el que se supone que los inversionistas no requieren un rendimiento adicional en promedio para aceptar riesgos.

Negociación electrónica Sistema de negociación en el que se usa una computadora para relacionar a compradores y vendedores.

Nivel de reversión Nivel al que el valor de una variable de mercado (por ejemplo, una tasa de interés) tiende a revertirse.

Nota del Tesoro *Vea* Bono del Tesoro. (Las notas del Tesoro tienen vencimientos menores a 10 años).

Obligación de deuda garantizada Forma de empaquetar el riesgo de crédito. Se crean varias clases de títulos a partir de una cartera de bonos y hay reglas que determinan cómo se asignan los incumplimientos a las clases.

Obligación garantizada con hipoteca (CMO) Título respaldado por una hipoteca en el cual los inversionistas se dividen en clases; existen reglas para determinar cómo se canalizan los pagos del principal a las clases.

OCC (*Options Clearing Corporation*) *Vea* Cámara de compensación.

Opción Derecho a comprar o vender un activo.

Opción americana Opción que se ejecuta en cualquier momento de la vida de la opción.

Opción arco iris (*Rainbow option*) Opción cuyo pago depende de dos o más variables subyacentes.

Opción *as you like it* *Vea* Opción *chooser* (opción de elección).

Opción asiática Opción cuyo pago depende del precio promedio del activo subyacente durante un periodo específico.

Opción *at the money* Opción en la que el precio de ejercicio es igual al precio del activo subyacente.

Opción bermuda Opción que puede ejercitarse en fechas específicas durante la vida de la opción.

Opción binaria Opción con un pago discontinuo; por ejemplo, una opción *cash or nothing* o *asset or nothing*.

Opción *chooser* Opción en la que el tenedor tiene el derecho a elegir si es una opción de compra o de venta, en algún momento durante la vida de la opción.

Opción compuesta Opción sobre una opción.

Opción con barrera Opción cuyo pago depende de si la trayectoria del activo subyacente ha alcanzado cierto valor (es decir, un nivel predeterminado).

Opción de canasta Opción que proporciona un pago que depende del valor de una cartera de activos.

Opción de compra Opción para comprar un activo a cierto precio en una fecha específica.

Opción de compra *asset or nothing* Opción que proporciona un pago igual al precio del activo si éste excede al precio de ejercicio; de lo contrario, el pago es igual a cero.

Opción de compra *cash or nothing* Opción que proporciona un pago fijo predeterminado si el precio final del activo excede el precio de ejercicio; de lo contrario, el pago es igual a cero.

Opción de compra cubierta Posición corta en una opción de compra sobre un activo, junto con una posición larga en el activo.

Opción de compra de precio promedio Opción que proporciona un pago igual a cero, o al monto en el que el precio promedio del activo exceda al precio de ejercicio; cualquiera que sea mayor.

Opción de divisas Opción sobre un tipo de cambio.

Opción de precio de ejercicio promedio Opción que proporciona un beneficio, el cual depende de la diferencia entre el precio final del activo y el precio promedio del mismo.

Opción de venta Opción para vender un activo a cierto precio en una fecha específica.

Opción de venta *asset or nothing* Opción que proporciona un pago igual al precio del activo si éste está por debajo del precio de ejercicio; de lo contrario, el pago es igual a cero.

Opción de venta *cash or nothing* Opción que proporciona un pago fijo predeterminado si el precio final del activo está por debajo del precio de ejercicio; de lo contrario, el pago es igual a cero.

Opción de venta de precio promedio Opción que proporciona un pago igual a cero, o al monto en el que el precio de ejercicio exceda al precio promedio del activo; cualquiera que sea mayor.

Opción de venta de protección Opción de venta combinada con una posición larga en el activo subyacente.

Opción *down and in* Opción que se crea cuando el precio del activo subyacente disminuye a un nivel predefinido.

Opción *down and out* Opción que deja de existir cuando el precio del activo subyacente disminuye a un nivel predefinido.

Opción europea Opción que puede ejercitarse únicamente al final de la vida de la opción.

Opción exótica Opción que no es estándar.

Opción flexible Opción que se negocia en una bolsa de valores en términos diferentes a los de las opciones estándar negociadas en esa bolsa.

Opción *forward start* Opción diseñada de tal manera que esté *at the money* en algún momento futuro.

Opción *in the money* a) Opción de compra en la que el precio del activo es mayor que el precio de ejercicio o b) Opción de venta en la que el precio del activo es menor que el precio de ejercicio.

Opción intercalada Opción que es una parte inseparable de otro instrumento.

Opción *lookback* (Retroactiva) Opción cuyo pago depende del precio máximo o mínimo del activo que se logró durante cierto periodo.

Opción oscilante (*Swing option*) Opción de energía en la que la tasa de consumo debe estar entre un nivel mínimo y máximo. Por lo general hay un límite en las veces que el tenedor de la opción puede cambiar la tasa de consumo de la energía.

Opción *out of the money* a) Opción de compra en la que el precio del activo es menor que el precio de ejercicio o b) Opción de venta en la que el precio del activo es mayor que el precio de ejercicio.

Opción *path dependent* Opción cuyo pago depende de toda la evolución de la variable subyacente, no sólo de su valor final.

Opción real Opción que involucra bienes inmuebles (en contraposición a activos financieros). Los bienes inmuebles incluyen la tierra, la planta y la maquinaria.

Opción *shout* Opción en la que el tenedor tiene el derecho de asegurar un valor mínimo del pago en algún momento de su vida.

Opción sintética Opción creada por la negociación del activo subyacente.

Opción sobre acción Opción sobre una acción ordinaria.

Opción sobre bono Opción en la que un bono es el activo subyacente.

Opción sobre futuros Opción sobre un contrato de futuros.

Opción sobre índice bursátil Opción sobre un índice accionario.

Opción sobre índices Contrato de opciones sobre un índice bursátil o sobre otro índice.

Opción sobre *spread* de crédito Opción cuyo pago depende de la diferencia entre los rendimientos ganados sobre dos activos.

Opción sobre tasas de interés Opción en la que el pago depende del nivel de las tasas de interés.

Opción *take and pay* *Vea* Opción oscilante.

Opción *up and in* Opción que se crea cuando el precio del activo subyacente aumenta a un nivel predefinido.

Opción *up and out* Opción que deja de existir cuando el precio del activo subyacente aumenta a un nivel predefinido.

Opciones sobre acciones para directivos Opción sobre acciones que emite una empresa sobre su propia acción y que proporciona a sus directivos como parte de su remuneración.

Orden limitada Orden que se ejecuta únicamente a un precio específico o a uno más favorable para el inversionista.

Pago (Beneficio) Efectivo que recibe el tenedor de una opción o de otro derivado al final de la vida de éste.

Paquete Derivado que es una cartera de opciones estándar de compra y de venta, combinada posiblemente con una posición en contratos a plazo y el activo mismo.

Paridad *put-call* Relación entre el precio de una opción de compra europea y el precio de una opción de venta europea cuando tienen el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento.

Pérdida en la cola *Vea* Déficit esperado.

Piso *Vea Floor* de tasa de interés.

Plain vanilla Término que se usa para describir una negociación estándar.

PO (*Principal Only*) Título respaldado por hipotecas en que el tenedor recibe sólo los flujos de efectivo del principal sobre la cartera de hipotecas subyacente.

Ponderación exponencial Modelo de ponderación en el que el peso dado a una observación depende de qué tan reciente sea ésta. El peso dado a una observación hace i periodos es λ veces el peso dado a una observación hace i - 1 periodos, donde $\lambda < 1$.

Posición corta Posición que implica la venta de un activo.

Posición descubierta Posición corta en una opción de compra que no se combina con una posición larga en el activo subyacente.

Posición larga Posición que implica la compra de un activo.

Precio a plazo Precio de entrega en un contrato a plazo que hace que el contrato tenga un valor de cero.

Precio de demanda (precio de compra) Precio que un agente está dispuesto a pagar por un activo.

Precio de ejercicio Precio al que el activo subyacente puede comprarse o venderse en un contrato de opciones. También se denomina *precio strike*.

Precio de entrega Precio acordado (posiblemente en algún momento pasado) en un contrato a plazo.

Precio de futuros Precio de entrega aplicable actualmente a un contrato de futuros.

Precio de liquidación Promedio de los precios en que se negocia un contrato de futuros inmediatamente antes de que la campana indique el cierre de las negociaciones de un día. Se usa en los cálculos de ajuste al mercado.

Precio de oferta Precio que un agente ofrece para vender un activo.

Precio de venta (*Ask price, Asked price*) *Vea* Precio de oferta.

Precio limpio del bono Precio cotizado de un bono. El precio en efectivo que se paga por el bono (o precio sucio) se calcula sumando el interés acumulado al precio limpio.

Precio *spot* Precio para entrega inmediata.

Precio *strike* Precio al que se compra o vende el activo en un contrato de opciones. Se conoce también como *precio de ejercicio*.

Precio sucio del bono Precio en efectivo de un bono.

Prima Precio de una opción.

Prima de liquidez Monto en que las tasas de interés a plazo exceden a las tasas de interés de contado futuras esperadas.

Principal Valor a la par o nominal de un instrumento de deuda.

Principal nocional (Principal ficticio) Principal que se usa para calcular los pagos en un *swap* de tasas de interés. El principal es "nocional" (ficticio) porque no se paga ni se recibe.

Procedimiento numérico Método para valuar una opción cuando no hay una fórmula disponible.

Pruebas de estrés Pruebas del impacto de los movimientos extremos del mercado en el valor de un cartera.

Punto base Cuando se usa para describir una tasa de interés, un punto base es la centésima parte de un punto porcentual (= 0.01 por ciento).

Quanto Derivado cuyo pago lo definen las variables relacionadas con una divisa, pero que se realiza en otra divisa.

Razón de cobertura Razón entre el tamaño de una posición en un instrumento de cobertura y el tamaño de la posición que se está cubriendo.

Reequilibrio Proceso que consiste en ajustar una posición de negociación periódicamente. Por lo general, el propósito es mantener la neutralidad delta.

Rendimiento Ganancia que proporciona un instrumento.

Rendimiento a la par Cupón de un bono que iguala su precio con el principal.

Rendimiento de conveniencia Medida de los beneficios de la propiedad de un activo que no obtiene el tenedor de un contrato de futuros largo sobre el activo.

Rendimiento de dividendos El dividendo, como un porcentaje del precio de una acción.

Rendimiento del bono Tasa de descuento que, cuando se aplica a todos los flujos de efectivo de un bono, hace que el valor presente de los flujos de efectivo sea igual al precio de mercado del bono.

Repo (Acuerdo de recompra) Procedimiento para adquirir dinero en préstamo por medio de la venta de títulos a una contraparte, acordando readquirirlos después a un precio ligeramente más alto.

Resultado analítico Resultado cuya respuesta tiene la forma de una ecuación.

Retroceso *Vea* Inducción hacia atrás.

Reversión a la media (*Mean reversion*) Tendencia de una variable de mercado (como una tasa de interés) a regresar a cierto nivel promedio a largo plazo.

Rho (letra griega) Tasa de cambio del precio de un derivado con respecto a la tasa de interés.

Riesgo asistemático *Vea* Riesgo no sistemático.

Riesgo de base Riesgo para un coberturista que surge de la incertidumbre acerca de la base en un momento futuro.

Riesgo de crédito Riesgo de sufrir una pérdida debido al incumplimiento de la contraparte en una transacción de derivados.

Riesgo de liquidez Riesgo de que no sea posible vender una tenencia de un instrumento específico a su precio teórico.

Riesgo no sistemático Riesgo que puede diversificarse.

Riesgo sistemático Riesgo que no puede diversificase.

SEC (*Securities and Exchange Commission*) Comisión de Valores y Bolsa.

Seguro de cartera Realización de transacciones para asegurar que el valor de una cartera no disminuya por debajo de cierto nivel.

Serie de opciones Todas las opciones de cierta clase con igual precio de ejercicio y fecha de vencimiento.

Simulación *Vea* Simulación Monte Carlo.

Simulación histórica Simulación basada en datos históricos.

Simulación Monte Carlo Procedimiento para realizar un muestreo aleatorio de los cambios de las variables de mercado con el propósito de valuar un derivado.

Sonrisa de volatilidad Variación de la volatilidad implícita en el precio de ejercicio.

Split Conversión de cada acción ordinaria existente en más de una nueva acción.

***Spread* diagonal** Posición en dos opciones de compra en las que tanto los precios de ejercicio como los tiempos al vencimiento son diferentes (También puede crearse un *spread* diagonal con opciones de venta).

Straddle Posición larga en una opción de compra y una opción de venta con el mismo precio de ejercicio.

Strangle Posición larga en una opción de compra y una opción de venta con diferentes precios de ejercicio.

Strap Posición larga en dos opciones de compra y una opción de venta con el mismo precio de ejercicio.

Strip Posición larga en una opción de compra y dos opciones de venta con el mismo precio de ejercicio.

Subasta a viva voz Sistema de negociación en el que los comerciantes se reúnen en el piso de la bolsa de valores.

Superficie de volatilidad Tabla que muestra la variación de la volatilidad implícita en el precio de ejercicio y el tiempo al vencimiento.

Supuesto de no arbitraje Supuesto de que no hay oportunidades de arbitraje en los precios de mercado.

Swap Contrato para intercambiar flujos de efectivo en el futuro de acuerdo con una fórmula preestablecida.

***Swap* a plazo** *Vea Swap* diferido.

***Swap* acumulado** (*Accrual swap*) *Swap* de tasas de interés en el que el interés se acumula en un lado sólo si se cumple cierta condición.

***Swap* amortizable** *Swap* cuyo principal nocional (ficticio) disminuye de manera predeterminada con el paso del tiempo.

***Swap* amortizable indexado** *Vea Swap* de principal indexado.

***Swap* cancelable** *Swap* que puede ser cancelado por una de las partes en fechas predefinidas.

***Swap* de acciones** (*equity swap*) *Swap* en el que el retorno sobre una cartera de acciones se intercambia por una tasa de interés fija o variable.

***Swap* de base** *Swap* en el que los flujos de efectivo determinados por una tasa de referencia flotante se intercambian por flujos de efectivo determinados por otra tasa de referencia flotante.

Swap* de *commodity *Swap* en el que los flujos de efectivo dependen del precio de un *commodity*.

***Swap* de composición** *Swap* en el que el interés se compone en vez de pagarlo.

***Swap* de divisas** *Swap* en el que el interés y el principal en una divisa se intercambian por el interés y el principal en otra divisa.

***Swap* de incumplimiento de crédito** Instrumento que da al tenedor el derecho a vender un bono a su valor nominal, en caso de incumplimiento de parte del emisor.

***Swap* de incumplimiento de crédito binario** Instrumento que tiene un pago fijo en dólares en caso de incumplimiento de una empresa específica.

***Swap* de incumplimiento de crédito de canasta** *Swap* de incumplimiento de crédito en el que hay varias entidades de referencia.

***Swap* de principal indexado** *Swap* en el que el principal disminuye con el paso del tiempo. La disminución del principal en una fecha de pago depende del nivel de las tasas de interés.

***Swap* de rendimiento total** *Swap* en el que el rendimiento sobre un activo, como un bono, se intercambia por la tasa LIBOR más un *spread*. El rendimiento sobre el activo incluye ingresos, como cupones y el cambio en el valor del activo.

***Swap* de tasas de interés** Intercambio de una tasa de interés fija sobre cierto principal nocional (ficticio) por una tasa de interés variable sobre el mismo principal nocional (ficticio).

***Swap* de vencimiento constante** (CMS, *Constant Maturity Swap*) *Swap* en el que se intercambia una tasa *swap* por una tasa fija o una tasa variable en cada fecha de pago.

***Swap* de volatilidad** *Swap* en el que la volatilidad producida durante un periodo de acumulación se intercambia por una volatilidad fija. Ambas volatilidades porcentuales se aplican a un principal nocional (ficticio).

***Swap* diferencial** *Swap* en el que una tasa variable en una divisa se intercambia por una tasa variable en otra divisa, y ambas tasas se aplican al mismo principal.

***Swap* diferido** Contrato para ingresar en un *swap* en algún momento futuro. También se le denomina *forward swap*.

Swap* LIBOR *in arrears *Swap* en el que la tasa LIBOR observada en una fecha se paga en esa fecha, en vez de hacerlo en un periodo de acumulación posterior.

***Swap* prorrogable** *Swap* cuya vida puede prolongarse a elección de una de las partes del contrato.

***Swap* redimible** (*Puttable swap*) *Swap* en el que una de las partes tiene el derecho de concluirlo antes de su vencimiento.

Swap step up *Swap* en el que el principal aumenta de manera predeterminada con el paso del tiempo.

Swaption Opción para entrar en un *swap* de tasas de interés en el que se intercambia una tasa fija específica por una tasa variable.

Tasa a corto plazo Tasa de interés que se aplica a un periodo muy corto.

Tasa a plazo (*Forward rate*) Tasa de interés para un periodo futuro que está implícita en las tasas cero de hoy.

Tasa cero *Vea* Tasa de interés cupón cero.

Tasa de descuento Rendimiento anualizado en dólares sobre una letra del Tesoro o un instrumento similar, expresado como un porcentaje del valor nominal final.

Tasa de interés a plazo (*Forward interest rate*) Tasa de interés para un periodo futuro que está implícita en las tasas de mercado vigentes el día de hoy.

Tasa de interés cupón cero Tasa de interés que se ganaría sobre un bono que no proporciona cupones.

Tasa de interés sobre eurodólares Tasa de interés sobre un depósito en eurodólares.

Tasa de interés *spot* *Vea* Tasa de interés cupón cero.

Tasa de riesgo (*Hazard rate*) Mide la probabilidad de incumplimiento en un periodo corto con la condición de que no haya un incumplimiento anterior.

Tasa de varianza El cuadrado de la volatilidad.

Tasa fija Tasa que permanece constante con el paso del tiempo.

Tasa libre de riesgo a corto plazo *Vea* Tasa a corto plazo.

Tasa libre de riesgo Tasa de riesgo que se gana sin asumir ningún riesgo.

Tasa máxima Tasa que determina los pagos en un *cap* de tasa de interés.

Tasa mínima Tasa de un contrato *floor* de tasa de interés.

Tasa *swap* Tasa fija en un *swap* de tasas de interés que hace que el *swap* tenga un valor de cero.

Tasa variable Tasa que cambia con el paso del tiempo.

Técnica de la variable de control Técnica que se usa en ocasiones para mejorar la exactitud de un procedimiento numérico.

Teoría de la preferencia por la liquidez Teoría que lleva a la conclusión de que las tasas de interés a plazo exceden a las tasas de interés de contado futuras esperadas.

Teoría de la segmentación del mercado Teoría que establece que el mercado determina las tasas de interés a corto plazo de manera independiente respecto de las tasas de interés a largo plazo.

Teoría de las expectativas Teoría según la cual las tasas de interés a plazo equivalen a las tasas de interés de contado futuras esperadas.

Theta (letra griega) Tasa de cambio del precio de una opción o de otro derivado con el paso del tiempo.

Tipo de cambio a plazo (*Forward exchange rate*) Precio a plazo de una unidad de divisa.

Título respaldado por hipotecas Título que da derecho al propietario de participar en los flujos de efectivo obtenidos de una cartera de hipotecas.

Tramo Uno de varios títulos que tienen diferentes características de riesgo. Como ejemplos están los tramos de una CDO o de una CMO.

Transacción de *spread* Posición en dos o más opciones del mismo tipo.

Transacción en el mismo día (*Day trade*) Transacción que se inicia y se cierra en el mismo día.

Transacción por computadora Procedimiento en el que las transacciones se generan automáticamente por medio de una computadora, y se transmiten al piso de operaciones de una bolsa de valores.

Valor a la par Monto principal de un bono.

Valor condicional en riesgo (C-VaR) *Vea* Déficit esperado.

Valor en riesgo Pérdida que no excederá a cierto nivel de confianza específico.

Valor esperado de una variable Valor promedio de la variable que se obtiene ponderando los valores alternativos por sus probabilidades.

Valor intrínseco En el caso de una opción de compra, el valor que sea mayor entre el excedente del precio del activo sobre el precio de ejercicio y cero. En el caso de una opción de venta, el valor que sea mayor entre el excedente del precio de ejercicio sobre el precio del activo y cero.

Valor temporal Valor de una opción que se origina del tiempo que le resta al vencimiento (igual al precio de una opción menos su valor intrínseco).

Valor terminal Valor al vencimiento.

Valuación neutral al riesgo Valuación de una opción o de otro derivado, asumiendo que el mundo es neutral al riesgo. La valuación neutral al riesgo proporciona el precio correcto de un derivado en todos los mundos, no sólo en un mundo neutral al riesgo.

Variable determinística Variable cuyo valor futuro se conoce.

Variable estocástica Variable cuyo valor futuro es incierto.

Variable subyacente Variable de la que depende el precio de una opción o de otro derivado.

Vega Tasa de cambio del precio de una opción o de otro derivado con volatilidad.

Venta en corto Venta en el mercado de acciones tomadas en préstamo de otro inversionista.

Volatilidad *flat* Nombre dado a la volatilidad que se usa para valuar un *cap* cuando se utiliza la misma volatilidad para cada *caplet*.

Volatilidad histórica Volatilidad estimada a partir de datos históricos.

Volatilidad implícita Volatilidad implícita del precio de una opción usando el modelo Black-Scholes o uno semejante.

Volatilidad Medida de la incertidumbre del rendimiento obtenido sobre un activo.

Volatilidades *spot* Volatilidades que se usan para valuar un *cap* cuando se utiliza una volatilidad diferente para cada *caplet*.

Warrant Opción emitida por una empresa o una institución financiera. Con frecuencia, las empresas emiten *warrants* de compra sobre su propia acción.

Software DerivaGem

El software que acompaña a este libro es DerivaGem para Excel, versión 1.51.01. Requiere Microsoft Windows 98, 2,000, Windows NT 4, Windows ME, Windows XP o versiones posteriores, y Excel 2000, 2002, 2003 o versiones más recientes. El software contiene tres archivos: DG151.dll, DG151.01.xls y DG151.01 functions.xls. Para instalarlo, cree una carpeta con el nombre DerivaGem (o algún otro nombre de su elección) y guarde en ella los archivos DG151.01.xls y DG151.01 functions.xls. Guarde el archivo DG151.dll en la carpeta Windows\Systems, WINNT\System32, o Windows\System32.[1]

Los usuarios de Excel 2000 deben asegurarse que el nivel de Seguridad de macros esté instalado en *Medio* o *Bajo*. En Excel, haga click en *Tools* (Herramientas), después en *Macros* y posteriormente en *Security* (Seguridad) para cambiar el nivel. Al usar el software, puede tener la opción de habilitar macros. Haga clic en *Enable Macros* (Habilitar macros).

Las actualizaciones del software se pueden descargar del sitio Web del autor:

`http://www.rotman.utoronto.ca/_hull`

El software consta de dos partes: la Calculadora de opciones (DG151.01.xls) y el Creador de aplicaciones (DG151.01 functions.xls). Ambas partes requieren que DG151.dll se cargue en el directorio Windows\Systems, WINNT\System32 o Windows\System32.

A los nuevos usuarios se les aconseja inciar con la Calculadora de Opciones.

CALCULADORA DE OPCIONES

DG151.01.xls es una calculadora de opciones fácil de usar que consta de tres hojas de cálculo. La primera se usa para realizar cálculos de opciones sobre acciones, opciones sobre divisas, opciones sobre índices y opciones sobre futuros; la segunda se utiliza para opciones europeas y americanas sobre bonos, y la tercera se emplea para opciones europeas sobre *caps*, *floors* y *swaps*.

[1] Observe que no es raro que Windows Explorer se instale sin que se muestren los archivos *.dll. Para cambiar la instalación de modo que se muestren estos archivos, proceda de la manera siguiente. En Windows 98 y ME, haga clic en *View* (Ver), luego en *File Options* (Opciones de archivo); a continuación haga clic en *View* (Ver), y luego en *Show All Files* (Ver todos los archivos). En Windows 2000, XP y NT, haga clic en *Tools* (Herramientas), luego en *Folder Options* (Opciones de carpeta); después haga clic en *View* (Ver), y finalmente en *Show Hidden Files and Folders* (Ver archivos y carpetas ocultos). Si enfrenta algún tipo de problemas, consulte la ayuda de su explorador.

El software genera precios, letras griegas y volatilidades implícitas para una amplia gama de diversos instrumentos. Presenta gráficas que muestran cómo los precios de opciones y las letras griegas dependen de los datos de entrada. También presenta árboles binomiales y trinomiales que muestran cómo se realizan los cálculos.

Operación general

Para usar la calculadora de opciones selecciones una hoja de cálculo y haga clic en los botones adecuados para seleccionar *Option Type* (Tipo de opción), *Underlying Type* (Tipo subyacente), etc. Después introduzca los parámetros de la opción que está considerando; teclee *Enter* (Intro) y haga clic en *Calculate* (Calcular). DerivaGem mostrará el precio o la volatilidad implícita de la opción que está considerando, junto con letras griegas. Si el precio se calculó desde un árbol y está usando la primera o segunda hoja de cálculo, puede hacer clic en *Display Tree* (Mostrar árbol) para ver el árbol. Los capítulos 11 y 16 muestran representaciones del árbol. Las tres hojas de trabajo presentan diversas gráficas. Para obtener una gráfica, primero elija la variable que requiere en el eje vertical, luego la variable que requiere en el eje horizontal y el intervalo de valores a considerar en el eje horizontal. Después de eso teclee *Enter* y haga clic en *Draw Graph* (Dibujar gráfica). Observe que al cambiar los valores en una o más celdas, se requiere teclear *Enter* antes de hacer clic en uno de los botones.

Es posible que se le dé la opción de actualizar a una nueva versión al guardar el software por primera vez; para esto, elija el botón *Yes* (Sí).

Opciones sobre acciones, divisas, índices y futuros

La primera hoja de cálculo (Equity_FX-Index_Futures) se usa para opciones sobre acciones, divisas, índices y futuros. Para utilizarla seleccione primero *Underlying Type* (Acción, Divisa, Índice o Futuros). Luego seleccione *Option Type* (Analítica europea, Binomial europea, Binomial americana, Asiática, Con barrera *up and in*, Con barrera *up and out*, Con barrera *down and in*, Con barrera *down and out*, Binaria *cash or nothing*, Binaria *asset or nothing*, *Chooser*, Opción compuesta sobre una opción de compra, Opción compuesta sobre una opción de venta o Retroactiva). Introduzca los datos sobre el activo subyacente y los datos sobre la opción. Observe que todas las tasas de interés se expresan con una composición continua.

En el caso de las opciones sobre acciones europeas y americanas, aparece una tabla que le permite introducir dividendos. Introduzca el tiempo de cada fecha *ex-dividendo* (en años) en la primera columna y el monto del dividendo en la segunda. Los dividendos se deben introducir en orden cronológico.

Para elegir una opción de compra o de venta, o si desea calcular una volatilidad implícita, haga clic en los botones correspondientes. Si lo que quiere es calcular una volatilidad implícita, introduzca el precio de la opción en la celda denominada *Price* (Precio).

Una vez que haya introducido todos los datos, teclee *Enter* y haga clic en *Calculate*. Si se ha seleccionado *Implied Volatility* (Volatilidad implícita), DerivaGem muestra la volatilidad implícita en la celda *Volatility* (Volatilidad) (% anual); pero si no se seleccionó *Implied Volatility*, entonces utiliza la volatilidad que introdujo en esta celda y muestra el precio de la opción en la celda *Price*.

Habiendo terminado los cálculos, se puede revisar el árbol (si se usó) y desplegar las gráficas.

Cuando se selecciona Analítica europea, DerivaGem utiliza las ecuaciones de los capítulos 12, 13 y 14 para calcular precios y las ecuaciones del capítulo 15 para calcular letras griegas. Cuando se selecciona Binomial europea o Binomial americana, se construye un árbol binomial, como se describe en el capítulo 16, hasta con 500 intervalos.

Los datos de entrada se explican por sí mismos en su mayor parte. En el caso de una opción asiática, el *Current Average* (Promedio actual) es el precio promedio desde el inicio. Si la opción asiática es nueva (Tiempo desde el inicio igual a cero), entonces la celda *Current Average* es irrelevante y se deja en blanco. En el caso de una *Opción lookback*, o retroactiva, se usa *Minimum to Date* (Mínimo a la fecha) cuando se valúa una opción de compra, y *Maximum to Date* (Máximo a la fecha) al valuar una opción de venta. En el caso de un contrato nuevo, estos precios deben ser iguales al precio actual del activo subyacente.

Opciones sobre bonos

La segunda hoja de cálculo (Bond_Options) se usa para opciones europeas y americanas sobre bonos. Primero debe seleccionar un modelo de valuación (Black-Europea, Normal-Analítica-Europea, Normal-Árbol-Europea, Normal-Americana, Logarítmica normal-Europea o Logarítmica normal-Americana). De todos ellos, este libro sólo aborda el modelo Black-Europea (vea la sección 19.4). Después introduzca los *Bond Data* (Datos del bono) y los *Option Data* (Datos de la opción). El cupón es la tasa que se paga por año y la frecuencia de los pagos se selecciona como *Quarterly* (Trimestral), *Semi-annual* (Semestral) o *Annual* (Anual). La curva de rendimiento cupón cero se introduce en la tabla denominada *Term Structure* (Estructura temporal). Introduzca los vencimientos (medidos en años) en la primera columna, y las tasas continuamente compuestas correspondientes en la segunda. Los vencimientos se deben introducir en orden cronológico. DerivaGem asume una curva cero lineal, integrada por secciones, semejante a la que se ilustra en la figura 4.1. Observe que al valuar derivados de tasas de interés, DerivaGem redondea todas las fechas al número entero de días más cercano.

Después de introducir todos los datos, teclee *Enter*. Al término de los cálculos, se muestra el precio cotizado del bono por $100 de principal, calculado con base en la curva cero. Indique si es una opción de compra o de venta y si el precio de ejercicio es un precio cotizado (limpio) o un precio en efectivo (sucio). (Vea el análisis y el ejemplo de la sección 19.4 para entender la diferencia entre ambos). Observe que el precio de ejercicio se introduce como el precio por $100 de principal. Indique si está considerando una opción de compra o de venta y si desea calcular una volatilidad implícita. Si seleccionó volatilidad implícita y usa el modelo normal o logarítmico normal, DerivaGem deduce la volatilidad de la tasa a corto plazo, manteniendo fija la tasa de reversión.

Al finalizar todas las entradas de datos, teclee *Enter* y haga clic en *Calculate*. Después de eso puede revisar el árbol (si se usó) y las gráficas. Observe que el árbol desplegado dura hasta el final de la vida de la opción. En sus cálculos, DerivaGem usa un árbol mucho mayor para valuar el bono subyacente.

Tenga presente que cuando se selecciona el modelo de Black, DerivaGem aplica las ecuaciones presentadas en la sección 19.3. Además, utiliza el procedimiento de la sección 19.4 para convertir la volatilidad de rendimientos registrada en una volatilidad de precios.

Opciones sobre *caps* y *swaps*

La tercera hoja de cálculo (Caps_and_Swap_Options) se usa para opciones sobre *caps* y *swaps*. Primero seleccione *Option Type* (Opción sobre *Swap* o *Cap*/*Floor*) y *Pricing Model* (Black-Europea, Normal-Europea o Logarítmica normal/Americana). De todas ellas, este libro sólo aborda el modelo Black-Europea (vea las secciones 19.5 y 19.6). Entonces, introduzca los datos sobre la opción que está considerando. La Settlement Frequency indica la frecuencia de pagos, que puede ser Anual, Semestral, Trimestral o Mensual. El software calcula las fechas de pago en forma regresiva a partir del final de la vida de la opción sobre los *cap* o *swap*. El periodo acumulado inicial puede tener una duración no estándar entre 0.5 y 1.5 veces un periodo acumulado normal. El software se puede utilizar para deducir tanto una volatilidad como una tasa máxima/tasa *swap* a partir del precio. Cuando se utiliza un modelo normal o un modelo logarítmico normal, DerivaGem deduce la volatilidad de la tasa a corto plazo, manteniendo fija la tasa de reversión. La curva de rendimiento cupón cero se introduce en la tabla denominada *Term Structure*. Introduzca los vencimientos (medidos en años) en la primera columna y las tasas continuamente compuestas correspondientes en la segunda. Los vencimientos se deben introducir en orden cronológico. DerivaGem asume una curva cero lineal, integrada por secciones, semejante a la de la figura 4.1. Después de introducir todos los datos, haga clic en *Calculate*. Después de eso aparecen las gráficas. Observe que cuando se usa el modelo de Black, DerivaGem utiliza las ecuaciones de las secciones 19.5 y 19.6.

Letras griegas

En la hoja de cálculo Equity_FX_Index_Futures, las letras griegas se calculan de la manera siguiente.

Delta: cambio en el precio de la opción por dólar de incremento en el activo subyacente.

Gamma: cambio en delta por dólar de incremento en el activo subyacente.

Vega: cambio en el precio de la opción por 1% de incremento en la volatilidad (por ejemplo, la volatilidad aumenta de 20 a 21%).

Rho: cambio en el precio de la opción por 1% de incremento en la tasa de interés (por ejemplo, el interés aumenta de 5 a 6%).

Theta: cambio en el precio de la opción por día natural transcurrido.

En las hojas de cálculo Bond_Options y Caps_and_Swap_Options, las letras griegas se calculan de la manera siguiente:

DV01: cambio en el precio de la opción por un punto base de desplazamiento paralelo ascendente de la curva cero.

Gamma01: cambio en DV01 por un punto base de desplazamiento paralelo ascendente de la curva cero, multiplicado por 100.

Vega: cambio en el precio de la opción cuando el parámetro de volatilidad aumenta 1% (por ejemplo, la volatilidad aumenta de 20 a 21%)

CREADOR DE APLICACIONES

El Creador de aplicaciones es DG151.01 functions.xls. Consiste en un conjunto de 21 funciones y siete aplicaciones de muestra con base en los cuales los usuarios pueden construir sus propias aplicaciones.

Funciones

La siguiente es una lista de las 21 funciones incluidas en el Creador de aplicaciones. Los detalles completos se presentan en la primera hoja de cálculo (FunctionSpecs).

1. Black_Scholes. Realiza cálculos de Black-Scholes para una opción europea sobre una acción, índice bursátil, divisa o contrato de futuros.

2. TreeEquityOpt. Realiza cálculos de un árbol binomial para una opción europea o americana sobre una acción, índice bursátil, divisa o contrato de futuros.
3. BinaryOption. Realiza cálculos para una opción binaria sobre una acción, índice bursátil, divisa o contrato de futuros.
4. BarrierOption. Realiza cálculos para una opción con barrera sobre una acción que no paga dividendos, índice bursátil, divisa o contrato de futuros.
5. AverageOption. Realiza cálculos para una opción asiática sobre una acción que no paga dividendos, índice bursátil, divisa o contrato de futuros.
6. ChooserOption. Realiza cálculos para una opción *chooser* sobre una acción que no paga dividendos, índice bursátil, divisa o contrato de futuros.
7. CompoundOption. Realiza cálculos para opciones compuestas sobre acciones que no pagan dividendos, índices bursátiles, divisas y futuros.
8. LookbackOption. Realiza cálculos para una opción retroactiva sobre una acción que no paga dividendos, índice bursátil, divisa o contrato de futuros.
9. EPortfolio. Realiza cálculos para una cartera de opciones sobre una acción, índice bursátil, divisa o contrato de futuros.
10. BlackCap. Realiza cálculos para un *cap* o *floor* utilizndo el modelo de Black.
11. HullWhiteCap. Realiza cálculos para un *cap* o *floor* utilizando el modelo Hull-White.
12. TreeCap. Realiza cálculos para un *cap* o *floor* utilizando un árbol trinomial.
13. BlackSwapOption. Realiza cálculos para una opción sobre swap utilizando el modelo de Black.
14. HullWhiteSwap. Realiza cálculos para una opción sobre *swap* utilizando el modelo Hull-White.
15. TreeSwapOption. Realiza cálculos para una opción sobre *swap* utilizando un árbol trinomial.
16. BlackBondOption. Esta función realiza cálculos para una opción sobre un bono utilizando el modelo de Black.
17. HullWhiteBondOption. Realiza cálculos para una opción sobre un bono utilizando el modelo Hull-White.
18. TreeBondOption. Realiza cálculos para una opción sobre un bono utilizando un árbol trinomial.
19. BondPrice. Valúa un bono.
20. SwapPrice. Valúa un *swap plain vanilla* de tasas de interés. Observe que ignora los flujos de efectivo generados a partir de fechas de reajuste previas al tiempo de inicio.
21. IPortfolio. Realiza cálculos para una cartera de derivados de tasas de interés.

Aplicaciones de muestra

DG151functions.xls incluye siete hojas de cálculo con aplicaciones de muestra:

A. Convergencia binomial. Investiga la convergencia del modelo binomial presentado en los capítulos 11 y 16.

B. Letras griegas. Proporciona gráficas que muestran las letras griegas abordadas en el capítulo 15.

C. Cobertura delta. Investiga el desempeño de la cobertura delta como en las tablas 15.2 y 15.3.

D. Cobertura delta y gamma. Investiga el desempeño de la cobertura delta más gamma para una posición en una opción binaria.

E. Valor en riesgo. Calcula el Valor en riesgo de una cartera integrada por tres opciones sobre una sola acción utilizando tres métodos diferentes.

F. Duplicación de barrera. Realiza cálculos para la duplicación estática de opciones (no analizada en este libro).

G. Convergencia trinomial. Investiga la convergencia de un árbol trinomial (no analizada en este libro).

Principales bolsas que negocian futuros y opciones

Bolsa de Valores Americana	AMEX	www.amex.com
Bolsa de Valores Australiana	ASX	www.asx.com.au
Bolsa de Mercaderías y Futuros, Brasil	BM&F	www.bmf.com.br
Bolsa de Malasia	BM	www.bursamalasya.com
Bolsa de Comercio de Chicago	CBOT	www.cbot.com
Bolsa de Opciones de Chicago	CBOE	www.cboe.com
Bolsa Mercantil de Chicago	CME	www.cme.com
Eurex	EUREX	www.eurexchange.com
Euronext	EURONEXT	www.euronext.com
Bolsa de Futuros de Hong Kong	HKFE	www.hkex.com.hk
Bolsa Intercontinental	ICE	www.theice.com
Bolsa Internacional del Petróleo, Londres	IPE	www.ipe.uk.com
Bolsa de Valores Internacional	ISE	www.iseoptions.com
Bolsa de Comercio de Kansas City	KCBT	www.kcbt.com
Bolsa de Metales de Londres	LME	www.lme.co.uk
MEFF Renta Fija y Variable, España	MEFF	www.meff.es
Bolsa Mexicana de Derivados	MEXDER	www.mexder.com
Bolsa de Granos de Minneapolis	MGE	www.mgex.com
Bolsa de Montreal	ME	www.me.org
Bolsa de Comercio de Nueva York	NYBOT	www.nybot.com
Bolsa Mercantil de Nueva York	NYMEX	www.nymex.com
Bolsa de Valores de Nueva York	NYSE	www.nyse.com
Bolsa Nórdica	OMX	www.omxgroup.com
Bolsa de Valores de Osaka	OSE	www.ose.or.jp
Bolsa de Valores de Filadelfia	PHLX	www.phlx.com
Bolsa de Singapur	SGX	www.ses.com.sg
Bolsa de Futuros de Sydney	SFE	www.sfe.com.au
Bolsa de Granos de Tokio	TGE	www.tge.or.jp
Mercado Financiero de Tokio	TFX	www.tfx.co.jp
Bolsa de Commodities de Winnipeg	WCE	www.wce.ca

En los últimos años ha habido una gran consolidación internacional de las bolsas de derivados.Por ejemplo, en octubre de 2006, CBOT y CME anunciaron su intención de fusionarse para formar la mayor bolsa de derivados del mundo; EURONEXT y NYSE hicieron lo mismo en junio de 2006; ASX se fusionó con SFE en julio de 2006; ICE acordó adquirir NYBOT en septiembre de 2006 e IPE en junio de 2001; EUREX es una operación conjunta de Deutsche Börse AG y la Bolsa Suiza SWX; EURONEXT es propietaria de la Bolsa Internacional de Futuros Financieros de Londres (LIFFE), así como de dos bolsas francesas; NYSE adquirió la Bolsa del Pacífico en septiembre de 2005. Sin duda, la consolidación ha sido motivada principalmente por economías de escala que dan lugar a menores costos de transacción.

Tabla de valores de $N(x)$ cuando $x \leqslant 0$

Esta tabla muestra los valores de $N(x)$ cuando $x \leqslant 0$. La tabla debe usarse con interpolación. Por ejemplo,

$$\begin{aligned} N(-0.1234) &= N(-0.12) - 0.34[N(-0.12) - N(-0.13)] \\ &= 0.4522 - 0.34 \times (0.4522 - 0.4483) \\ &= 0.4509 \end{aligned}$$

x	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	. 09
−0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
−0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
−0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
−0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
−0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
−0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
−0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
−0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
−0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
−0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
−1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
−1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
−1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
−1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
−1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
−1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
−1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
−1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
−1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
−1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
−2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
−2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
−2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
−2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
−2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
−2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
−2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
−2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
−2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
−2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
−3.0	0.0014	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
−3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
−3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
−3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
−3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
−3.5	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
−3.6	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
−3.7	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
−3.8	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
−3.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
−4.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla de valores de $N(x)$ cuando $x \geqslant 0$

Esta tabla muestra los valores de $N(x)$ cuando $x \geqslant 0$. La tabla debe usarse con interpolación. Por ejemplo,

$$\begin{aligned} N(0.6278) &= N(0.62) + 0.78[N(0.63) - N(0.62)] \\ &= 0.7324 + 0.78 \times (0.7357 - 0.7324) \\ &= 0.7350 \end{aligned}$$

x	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9986	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Índice

Las referencias a los términos del glosario se presentan en **negritas**.

D

CONVENIO DE LICENCIA DE DISCO DE DATOS Y GARANTÍA LIMITADA

LEA ESTA LICENCIA DETENIDAMENTE ANTES DE USAR ESTE PAQUETE. AL USARLO, USTED ACEPTA LOS TÉRMINOS Y LAS CONDICIONES DE ESTA LICENCIA. SI NO ESTÁ DE ACUERDO, NO USE EL PAQUETE. DEVUELVA LO ANTES POSIBLE EL PAQUETE SIN USAR, Y TODOS LOS ARTÍCULOS QUE LO ACOMPAÑAN, AL LUGAR DONDE LOS OBTUVO. *ESTOS TÉRMINOS SON VÁLIDOS PARA TODO EL SOFTWARE CUBIERTO POR LA LICENCIA QUE VIENE EN EL DISCO, EXCEPTO QUE LOS TÉRMINOS PARA EL USO DE CUALQUIER* SHAREWARE *O* FREEWARE *DE LOS DISQUETES SON LOS ESTABLECIDOS EN LA LICENCIA ELECTRÓNICA CONTENIDA EN EL DISCO*:

1. OTORGAMIENTO DE LICENCIA y PROPIEDAD: Pearson Education, Inc., que publica como Prentice Hall ("Nosotros" o la "Empresa"), proporciona para su uso bajo licencia, no vende, el disco de datos incluido ("Software") con fines académicos, y en consideración a su compra o adopción de los libros de la empresa, así como de otros materiales complementarios, siempre que usted esté de acuerdo con estos términos. Esta licencia permite a profesores y estudiantes inscritos en el curso y que usan el libro de la empresa, en el que se incluye este *Software* (el "Curso") utilizar, mostrar y manejar los datos exclusivamente con fines académicos, en tanto cumpla con los términos de este Convenio. Nos reservamos todos los derechos que no se le otorguen a usted. Usted sólo posee el o los discos, pero nosotros y nuestros licenciantes somos los dueños del *Software* en sí.

2. RESTRICCIONES DE USO Y TRANSFERENCIA: Usted no puede transferir, distribuir o hacer asequible el *Software* ni la Documentación, excepto a profesores y estudiantes de su escuela y relacionados con el Curso. No debe someter el *Software* a ingeniería inversa, desensamblarlo, descompilarlo, modificarlo, adaptarlo o traducirlo, ni crear obras que se deriven o basen en el Software o en la Documentación. Se le puede hacer responsable ante la ley por cualquier reproducción indebida o violación a los derechos de autor, como consecuencia de no haber cumplido con los términos de estas restricciones.

3. TERMINACIÓN: Esta licencia estará vigente hasta que se dé por terminada automáticamente, sin previo aviso de la Empresa, si usted deja de cumplir con cualquier estipulación o limitación de la misma. Al terminar la licencia, usted debe destruir la Documentación y todas las copias del *Software*. Todas las estipulaciones de este Convenio en cuanto a limitación y renuncia de garantías, limitación de responsabilidad, indemnizaciones, al igual que nuestros derechos de propiedad, se conservarán a la terminación.

4. RENUNCIA DE GARANTÍA: LA EMPRESA Y SUS LICENCIANTES NO GARANTIZAN EL *SOFTWARE*, EL CUAL SE PROPORCIONA "TAL COMO ESTÁ". SI EL DISCO PRESENTA DEFECTOS DE MATERIALES O MANUFACTURA, LA ÚNICA FORMA DE PODER INDEMNIZARLE ES QUE USTED DEVUELVA EL DISCO A LA EMPRESA PARA SU REPOSICIÓN, EN UN PERIODO DE 30 DÍAS, A MENOS QUE LA EMPRESA DETERMINE DE BUENA FE QUE EL DISCO RECIBIÓ UN USO INADECUADO, SE INSTALÓ DE MANERA INCORRECTA, FUE REPARADO, ALTERADO O DAÑADO. LA EMPRESA DESCONOCE CUALQUIER OTRA GARANTÍA, EXPRESA O TÁCITA, INCLUIDAS, SIN LIMITARSE, LAS GARANTÍAS IMPLÍCITAS DE COMERCIABILIDAD E IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO ESPECÍFICO. LA EMPRESA NO GARANTIZA NI OFRECE SEGURIDAD DE NINGÚN TIPO EN CUANTO A LA EXACTITUD, CONFIABILIDAD, VIGENCIA, USO O RESULTADOS DE USO DEL SOFTWARE.

5. LIMITACIÓN DE INDEMNIZACIONES Y DAÑOS: EN NINGÚN CASO, LA EMPRESA O SUS EMPLEADOS, AGENTES, LICENCIANTES O CONTRATISTAS, SERÁN RESPONSABLES DE CUALQUIER PERJUICIO INCIDENTAL, INDIRECTO, ESPECIAL O CONSIGUIENTE QUE SURJA DE, O ESTÉ RELACIONADO CON, ESTA LICENCIA O EL *SOFTWARE*, INCLUIDOS AQUÉLLOS POR PÉRDIDA DE USO, PÉRDIDA DE DATOS, PÉRDIDA DE GANANCIAS O UTILIDADES, U OTRAS PÉRDIDAS SUFRIDAS COMO RESULTADO DE LESIÓN A CUALQUIER PERSONA, O PÉRDIDA DE O DAÑOS A PROPIEDADES, O RECLAMACIONES DE TERCEROS, INCLUSO SI LA EMPRESA O UN REPRESENTANTE AUTORIZADO DE LA EMPRESA HA SIDO AVISADO DE LA POSIBILIDAD DE TALES DAÑOS. ALGUNAS JURISDICCIONES NO PERMITEN LA LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD EN DETERMINADAS CIRCUNSTANCIAS, DE MODO QUE LAS LIMITACIONES ANTERIORES NO SIEMPRE SE PODRÍAN APLICAR.

6. GENERALIDADES: ESTE CONVENIO SE INTERPRETARÁ DE ACUERDO CON LAS LEYES DE ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA Y DEL ESTADO DE NUEVA YORK, APLICABLES A CONTRATOS CELEBRADOS EN NUEVA YORK, Y BENEFICIARÁ A LA EMPRESA, SUS FILIALES Y ASIGNATARIOS. Este Convenio es la expresión completa y exclusiva del convenio entre usted y la Empresa y reemplaza todas las propuestas, acuerdos previos, orales o por escrito, y cualquier otra comunicación entre usted y la empresa o cualquiera de sus representantes con relación al contenido de este convenio. Si usted es un usuario del gobierno de Estados Unidos de América, la licencia de este software se otorga con "derechos restringidos", según se especifica en los subpárrafos (a)-(d) de la cláusula de Derechos Comerciales de Computadora Restringidos de FAR 52.227-19, o en los subpárrafos (c)(1)(ii) de la cláusula de Derechos en Datos Técnicos y Software de Computadora de DFARS 252.227-7013, y cláusulas similares que sean aplicables.

Si usted tiene alguna duda acerca de este convenio, o desea ponerse en contacto con la Empresa por cualquier motivo, sírvase escribir a:
Director, Media Production
Prentice Hall
1 Lake Street
Upper Saddle River, NJ 07458