

# Riesgo cambiario, brecha de madurez y cobertura con futuros: análisis local y de valor en riesgo

Bernardo González-Aréchiga,  
Jaime Díaz Tinoco  
y Francisco Venegas-Martínez\*

Fecha de recepción: 26 de junio de 2000; fecha de aceptación: 21 de febrero de 2001.

**Resumen:** En este trabajo se desarrolla un modelo para cubrir flujos financieros denominados en dólares contra el riesgo cambiario y de tasa de interés mediante el uso de contratos a futuro sobre dólar. La robustez de las estrategias obtenidas se evalúa en términos de su valor en riesgo. Los efectos del riesgo mercado en el valor nominal de los flujos, antes y después de la cobertura, se comparan en términos de: 1) costos, 2) varianza y 3) valor en riesgo. A manera de ilustración, el modelo es aplicado en la cobertura de un conjunto de flujos financieros en dólares.

**Palabras clave:** cobertura de portafolios, riesgo cambiario, futuros, valor en riesgo.

**Abstract:** In this paper, we develop a model to hedge cash flows denominated in dollars against both exchange-rate and interest-rate risks by means of futures contracts on US currency. The robustness of the derived strategies is assessed in terms of their value at risk. The effects of the market risk on the cash flows before and after hedging are compared in terms of: 1) costs, 2) variance, and 3) value at risk. An application to hedge cash flows on US currency is addressed by way of illustration.

**Keywords:** portfolio immunization, exchange-rate risk, futures contracts, value at risk.

---

\* Los autores agradecen los valiosos comentarios de tres dictaminadores anónimos y la labor de Jiyouji Ueda Ordóñez, especialista en riesgos de Asigna (Cámara de Compensación y Liquidación), por las corridas de simulación. Asimismo, se agradecen las sugerencias de José Carlos Ramírez y Fausto Hernández Trillo para mejorar sustancialmente el presente trabajo.

Cualquier correspondencia dirigirla a Av. Paseo de la Reforma 255, 4o. piso, Asigna, Compensación y Liquidación, 06500 México, D. F.

Bernardo González-Aréchiga trabaja en MexDer, Mercado Mexicano de Derivados, S.A. de C.V.; Jaime Díaz Tinoco en Asigna, Compensación y Liquidación e Ineval, S.A. de C.V.; Francisco Venegas-Martínez en Mathematical Finance Group, Oxford University.

## I. Introducción

**E**l tamaño considerable que han alcanzado los mercados de futuros financieros,<sup>1</sup> y en especial los de divisas, se debe en gran medida a la flexibilidad que estos instrumentos proporcionan a sus usuarios para entrar o salir rápidamente del mercado debido al alto grado de liquidez que generan y al alto nivel de apalancamiento que presentan. Los futuros sobre dólar son herramientas que permiten a los agentes económicos controlar el riesgo de mercado con costos bajos de transacción. El riesgo crédito de estos instrumentos es, por supuesto, mínimo debido a la asociación del mercado con una cámara de compensación y liquidación que a cambio de una comisión actúa como contraparte de todas las partes, garantizando el cumplimiento de las obligaciones generadas en los contratos. En conclusión, los futuros sobre dólar son instrumentos que permiten a los agentes planear sus flujos de pasivos y activos en moneda extranjera en respuesta a sus expectativas económicas y financieras, reduciendo el riesgo y la incertidumbre del mercado con costos bajos de transacción.<sup>2</sup>

Para obtener la posición neta en moneda extranjera, una empresa o persona física tiene que sumar todos sus activos denominados en moneda extranjera y debe restar todos los pasivos en moneda extranjera. Si el resultado es una cantidad positiva, ésta corresponde a una posición activa en moneda extranjera y en caso contrario corresponde a una posición pasiva en moneda extranjera. En cualquier caso, se estará sujeto a las variaciones en el tipo de cambio. Si se cuenta con una posición pasiva en moneda extranjera, digamos en dólares, se tendrá un beneficio si ocurre una apreciación del peso frente al dólar y se tendrá una pérdida en caso de una depreciación. En el caso de una posición activa, los efectos por apreciaciones y depreciaciones son, por supuesto, contrarios. Obviamente, se presenta una exposición al riesgo cambiario en ambos casos. Dado que los activos y pasivos esperados en moneda extranjera están sujetos a variaciones en las tasas de interés doméstica y del resto del mundo, una forma de medir la

---

<sup>1</sup> Cabe mencionar que el interés abierto de todas las bolsas de productos derivados, incluyendo futuros, en el mundo fue de 30 trillones de dólares en 1997. En contraste, el valor de capitalización de las 26 principales bolsas de valores del mundo ascendió a 20 trillones de dólares.

<sup>2</sup> Los costos de transacción son fundamentalmente comisiones e impuestos sobre éstas. Los márgenes no representan costos, sino inversiones que pagan intereses del mercado de dinero durante la vigencia del contrato.

exposición al riesgo cambiario y de tasas de interés consiste en cuantificar la brecha de madurez o posición neta de activos y pasivos. Una vez que se ha determinado y cuantificado la posición en moneda extranjera, debe seleccionarse entre las alternativas disponibles en el mercado la más conveniente para cubrir el riesgo cambiario.

La cobertura de un conjunto de flujos esperados en dólares consiste en determinar un portafolio de futuros, que genere los flujos de efectivo que se requieren para compensar las pérdidas en el valor nominal por movimientos adversos en el tipo de cambio. En este caso, la cobertura es fundamentalmente un método local diseñado para protegerse de cambios adversos en el valor nominal, debido a fluctuaciones en el tipo de cambio. Por esta razón, las estrategias de cobertura requieren de actualizaciones periódicas o “rebalanceo”, a fin de proteger en forma efectiva el valor nominal de los flujos de efectivo. Si una estrategia no es rebalanceada atendiendo a las expectativas del mercado, la protección se deteriora progresivamente. La literatura sobre cobertura de riesgo cambiario es extensa y vale la pena destacar, por ejemplo, a Kolb (1998), Wilmott (1998) y Das (1997), entre otros.

El riesgo cambiario que enfrentan las empresas se refleja en la posibilidad de que los flujos que se tienen planeados en dólares no se presenten en la magnitud y en los tiempos que se esperan, lo que a su vez tiene un impacto en el valor nominal de dichos flujos; es decir, en el valor nominal de su brecha de madurez, lo que afecta no sólo la programación de las decisiones de gasto, inversión y financiamiento, sino también al propio valor de mercado de las empresas. Este riesgo puede reducirse si se cubren adecuadamente los flujos tomando posiciones de futuros sobre dólar. En este trabajo damos respuesta a dos preguntas fundamentales: ¿cómo podemos medir el riesgo asociado a diferentes escenarios (estados de la naturaleza)? y ¿cómo podemos cubrir contra este tipo de riesgo el valor nominal de nuestros flujos denominados en dólares?

En la presente investigación se propone un método para inmunizar flujos financieros contra el riesgo cambiario y de tasa de interés (doméstica y del resto del mundo) mediante el uso de contratos a futuro sobre dólar. La principal característica de nuestro método es que la cantidad de contratos futuros se determina con base en la sensibilidad del valor nominal de los flujos a cambios en tres factores de riesgo: el tipo de cambio y las tasas de interés doméstica (TIE) y del resto del mundo (*T-bills*). Otra característica fundamental de nuestro modelo es que no requiere de la convexidad asociada a los *T-bills* ya que

su contribución a la duración es insignificante.<sup>3</sup> Esta propiedad permite diseñar coberturas más confiables en casos de volatilidad extrema. La robustez de las estrategias obtenidas se evalúa en términos del comportamiento histórico del tipo de cambio y de las tasas de interés utilizando la metodología de valor en riesgo. En este caso, se genera la distribución conjunta del valor nominal de los flujos financieros y de los flujos propios que producen los futuros. Posteriormente, se comparan las varianzas de las distribuciones empíricas de los flujos financieros con y sin futuros y se estiman las pérdidas potenciales para distintos niveles de confianza.<sup>4</sup> Otras alternativas disponibles en la literatura para cubrir flujos financieros en divisas son: Bjork (1999) sobre cobertura Delta-Gamma con derivados de divisas; Bjerksund y Stensland (1993) sobre cobertura con opciones americanas de divisas; Reiner y Rubinstein (1991) sobre cobertura de divisas con opciones con barreras; y Turnbull y Wakeman (1991) sobre cobertura de divisas con opciones asiáticas (de media aritmética). Las principales ventajas de nuestra propuesta son: 1) los contratos futuros de divisas permiten a sus usuarios entrar y salir rápidamente del mercado debido a su liquidez y apalancamiento; 2) la metodología considera en forma simultánea todos los factores relevantes de riesgo, a saber: el tipo de cambio y las tasas de interés doméstica y del resto del mundo; 3) el método es simple en su aplicación ya que sólo requiere de sistemas de ecuaciones lineales; 4) el rebalanceo del portafolio se lleva a cabo con modificaciones simples en el sistema de ecuaciones resultante; 5) la estimación de las pérdidas potenciales para distintos niveles de confianza se actualiza en forma inmediata cuando hay más observaciones disponibles; y 6) permite diseñar coberturas con cambios no paralelos en las tasas de interés.

Este trabajo está organizado como sigue. En la siguiente sección, a manera de antecedente, se presenta una breve reseña de la evolución de la política cambiaria en México y del riesgo asociado al tipo de cambio en los diferentes regímenes cambiarios. En la sección III, se describen los contratos futuros sobre dólar y se establece la fórmula de valuación teórica de los mismos. En la sección IV, se estiman las estructuras de plazos de las tasas de interés de TIE y *T-bills* que se

---

<sup>3</sup> La duración de un conjunto de flujos de efectivo se define como el tiempo promedio en que se presentan dichos flujos ponderado por el valor presente de los mismos. La convexidad es simplemente la dispersión de los tiempos en que se presentan dichos flujos con respecto a la duración.

<sup>4</sup> Compárese esta metodología con la propuesta en González-Aréchiga, Venegas-Martínez y Díaz-Tinoco (2000).

utilizarán para calcular el precio teórico del futuro de dólar y otras medidas de sensibilidad del contrato. En la sección V, se determinan las estrategias de cobertura de flujos en dólares. En la sección VI, se desarrolla un método general de cobertura. En la sección VII, se ilustra el método de cobertura propuesto en un conjunto de flujos en dólares. Finalmente, en la sección VIII, se resumen los principales resultados de la investigación, se destacan las limitaciones y ventajas del método empleado y, por último, se mencionan algunas líneas de investigación futura.

## II. Antecedentes

Durante el periodo de la posguerra, la cooperación mundial fomentó el comercio y las finanzas internacionales. Esta cooperación se formalizó mediante el sistema de acuerdos firmados por 44 países en Bretton Woods, New Hampshire, en 1944. El dólar se fijó entonces en términos de onzas de oro y el resto de las monedas se fijaron de acuerdo con el dólar. El sistema Bretton Woods cumplió su objetivo por muchos años, pero a principios de la década de los setenta el déficit fiscal del gobierno estadounidense y la disminución en la demanda internacional de dólares como moneda de reserva ocasionó que las autoridades monetarias estadounidenses ya no pudieran mantener la conversión preestablecida de dólares por onza de oro. En 1972, el sistema Bretton Woods se colapsó debido, fundamentalmente, a la crisis petrolera, la cual provocó un aumento de los precios energéticos y un reajuste importante de los tipos de cambio de las divisas internacionales. Esta nueva situación desencadenó movimientos especulativos de las divisas fuertes y a partir de 1973 muchas de las principales monedas comenzaron a flotar frente al dólar. El proceso de ajuste de los desequilibrios se debía realizar por medio de revaluaciones para los países con superávit en su balanza de pagos o de devaluaciones para los países con déficit. Con este proceso de ajuste simétrico se trató de superar el efecto negativo de la enorme masa de eurodólares que existía en el mercado internacional y que actuaban especulativamente ante cualquier circunstancia que pudiera reportar beneficios. Desde entonces, la volatilidad de los tipos de cambio ha repercutido en un aumento del volumen de las operaciones cambiarias, y en el desarrollo de instrumentos financieros de cobertura contra el riesgo cambiario en mercados organizados, como son los futuros y las opciones.

En México en 1982, ante la restricción del crédito externo, la disminución de ingresos por exportación de petróleo, la falta de control sobre el déficit público y las fugas de capital que ocasionaron problemas en la balanza de pagos, las autoridades financieras decretaron un sistema cambiario dual, con un tipo de cambio preferencial y otro general. Sin embargo, a pesar de esta medida, la inestabilidad cambiaria persistía y a finales de 1982 se decretó el control generalizado de cambios, prohibiendo la importación y exportación de divisas, a excepción de las realizadas por el Banco de México. No obstante, el control generalizado no cumplió con su objetivo de disminuir la fuga de capitales en los siguientes meses. El resultado fue una crisis cambiaria que más tarde condujo a la nacionalización de la banca privada.

A principios de 1983, el tipo de cambio libre sufrió una drástica caída frente al tipo de cambio controlado. Esta caída debilitó las reservas internacionales provocando otro colapso en el régimen cambiario. El sector privado se encontraba entonces expuesto a severos riesgos de tipo de cambio y de tasa de interés. La imposibilidad de controlar dichos riesgos a falta de un mercado de coberturas contra contingencias financieras no permitió a las empresas planear adecuada y oportunamente sus pasivos en el corto plazo y/o la reestructuración de los mismos en el largo plazo, sobre todo cuando los pasivos se contaban en divisas. Entonces, el Banco de México organizó el Fideicomiso para la Cobertura de Riesgos Cambiarios (FICORCA), con el objetivo de renegociar la deuda del sector privado. Por fortuna, poco después, los tipos de cambio libre y controlado se colocaron casi a la par.

Entre 1989 y 1994, México tuvo una intensa apertura comercial combinada con un alto grado de movilidad de capital. Al mismo tiempo, el gobierno acumuló deuda (interna y externa) en forma significativa confiando en un amplio programa de privatización de activos públicos y un plan de estabilización de precios. El plan de estabilización de precios predeterminaba la tasa de depreciación del tipo de cambio como un ancla nominal para contener a la inflación.<sup>5</sup> A partir de 1990, se presentaron algunas modificaciones anunciadas a la política cambiaria, incluyendo un modesto aumento en la tasa de depreciación del tipo de cambio y la adopción de una banda de flotación, esta última gradualmente ampliada. Sin embargo, entre 1993 y 1994, se generó un clima de riesgo e incertidumbre financiera como resultado de acontecimientos singulares, entre los que destacan: la aparición del Ejército Zapatista

---

<sup>5</sup> Véanse, por ejemplo, Venegas-Martínez (2001) y (2000a).

en el estado de Chiapas; el asesinato del candidato presidencial del Partido Revolucionario Institucional; el asesinato del Secretario General del Comité Ejecutivo Nacional del mismo partido; las múltiples recomendaciones de especialistas, como R. Dornbush, para devaluar el peso; el ocaso de un “pacto” desgastado entre los diferentes sectores de la economía; la reducción en la tasa de crecimiento de las exportaciones; el *boom* o auge en el consumo de bienes durables y perecederos; el creciente déficit de la cuenta corriente de la balanza de pagos; la crisis bancaria que se venía gestando tiempo atrás por problemas de cartera vencida; el incremento en las tasas de interés de *T-bills*; y las próximas elecciones de presidente y congreso. Como resultado de estos eventos, los agentes incorporaron en sus expectativas que la política cambiaria sería pronto abandonada. El público se anticipó a costos mayores por el consumo futuro aumentando su consumo en importaciones baratas, lo que llevó al déficit en cuenta corriente de la balanza de pagos a niveles insostenibles. El riesgo cambiario entonces alcanzaba niveles preocupantes sin la posibilidad de controlarlo con instrumentos de cobertura.<sup>6</sup> La consecuencia fue el cataclismo financiero de diciembre de 1994, del que todavía quedan rezagos serios en la banca.<sup>7</sup>

Actualmente, el Banco de México permite la flotación del tipo de cambio en forma administrada. Es decir, el precio de la divisa se determina con base en la oferta y la demanda, y el banco central puede intervenir comprando o vendiendo reservas en forma abierta, o mediante mecanismos de subastas o la venta de opciones de venta. El mercado cambiario en México es parte integral del mercado internacional ya que es descentralizado, continuo y electrónico. Es decir, todos los mexicanos podemos comprar o vender divisas en el mercado al menudeo, las principales instituciones bancarias o cambiarias del país pueden operar en el mercado internacional interbancario. Los extranjeros y sus bancos también pueden comprar y vender dólares con contrapartes mexicanas. Es también importante destacar que en México más de 70 por ciento del comercio exterior se realiza con Estados Unidos y otra parte importante con Europa, Asia y América Latina se

---

<sup>6</sup> Véanse, al respecto, Venegas-Martínez (2000) y Venegas-Martínez y González-Aréchiga (2000).

<sup>7</sup> Para un análisis más detallado sobre el desarrollo de la política cambiaria en México durante los diferentes periodos revisados aquí, es importante mencionar, por ejemplo, los trabajos de: Márquez-Pozos, Islas-Camargo y Venegas-Martínez (2000); Solís (2000); Sachs, Tornell y Velasco (1996); Gil-Díaz y Carstens (1996); Calvo y Mendoza (1996) y (1996a); Edwards (1996); Cárdenas (1996); Feltestein y Shah (1995); Dornbusch, Goldfajn y Valdés (1995); Dornbusch y Werner (1994); y Aspe (1993).

lleva a cabo también en dólares. Hoy, todas las obligaciones indizadas al tipo de cambio controlado o libre se solventan conforme a un tipo de cambio representativo del mercado, que el Banco de México identifica a través de una encuesta entre los principales intermediarios en el mercado cambiario al mayoreo.

Finalmente, es importante mencionar que de 1975 a 1997, el Fondo Monetario Internacional contabilizó 158 crisis monetarias y 54 bancarias; muchas de ellas se suscitaron de manera simultánea (véase Manchón, 1999), la mayoría de las cuales fueron acompañadas de crisis cambiarias. Existen diferentes maneras de definir riesgo cambiario y tres de ellas son: 1) el potencial de enfrentar pérdidas en una inversión en dólares; 2) la posibilidad de que el tipo de cambio no genere los flujos esperados; y 3) la inseguridad de obtener un rendimiento específico en dólares. En cualquier caso, el riesgo cambiario se puede definir como la posibilidad que existe de que los flujos esperados en dólares no se presenten en los montos y tiempos esperados debido a movimientos adversos en el tipo de cambio o en las tasas de interés tanto locales como externas. Estos movimientos dependen de la evolución de las políticas monetaria y fiscal, de las expectativas de los participantes, así como del entorno internacional.

### III. Contratos a futuro sobre dólar

Los precios de los contratos de futuros sobre dólar se establecen bajo condiciones libres de arbitraje que se estiman a partir de los precios y tasas vigentes en los mercados nacional y extranjero de contado (“spot”). Es decir, el precio del contrato a futuro se determina bajo la condición, de equilibrio, de que la misma inversión ya sea en pesos o en dólares debe generar el mismo rendimiento al vencimiento dado el tipo de cambio. Se supone que no hay costos de acarreo distintos al de oportunidad del dinero. La fórmula de valuación teórica de los contratos de futuros en la que se concentra este trabajo se describe a continuación:<sup>8</sup>

$$F_{t,T} = D_t \left( \frac{1 + r_{t,T,M} \left( \frac{T-t}{360} \right)}{1 + r_{t,T,E} \left( \frac{T-t}{360} \right)} \right)$$

<sup>8</sup> Véanse, para más detalles sobre precios teóricos, Díaz-Tinoco y Hernández Trillo (1998) o González-Aréchiga, Díaz-Tinoco y Venegas-Martínez (2000).



aquí  $F_{t,T}$  es el precio, al tiempo  $t$ , del futuro de dólar con vencimiento en  $T$ ;  $D_t$  es el tipo de cambio "spot" (reportado en el FIX de Banco de México);  $r_{t,TM}$  es la tasa anual de interés nominal en el país (expresada como tasa de rendimiento anualizada), la cual se estima con la tasa TIE (tasa de interés interbancaria de equilibrio) de plazo  $T - t$ ; y  $r_{t,TE}$  es la tasa anual de interés nominal en Estados Unidos de América y se estima con la tasa de los *T-bills* (reportada por Reuters en el mercado de dinero estadounidense) de plazo  $T - t$ . Las sensibilidades del futuro de dólar a cambios en  $D_t$ ,  $r_{t,TM}$  y  $r_{t,TE}$  están dadas, respectivamente, por:

$$\frac{\partial F_{t,T}}{\partial D_t} = \frac{1 + r_{t,TM}^{(n)} \left( \frac{T-t}{360} \right)}{1 + r_{t,TE}^{(n)} \left( \frac{T-t}{360} \right)}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial F_{t,T}}{\partial r_{t,TM}} = D_t \frac{\left( \frac{T_i - t}{360} \right)}{1 + r_{t,TE}^{(n)} \left( \frac{T_i - t}{360} \right)} \quad (2)$$

y

$$\frac{\partial F_{t,T}}{\partial r_{t,TE}} = -D_t \frac{\left[ 1 + r_{t,TM}^{(n)} \left( \frac{T_i - t}{360} \right) \right] \left( \frac{T_i - t}{360} \right)}{\left[ 1 + r_{t,TE}^{(n)} \left( \frac{T_i - t}{360} \right) \right]^2}. \quad (3)$$

Estas cantidades son de gran interés en la determinación de estrategias de cobertura, con futuros, del valor nominal de un conjunto de flujos de efectivo en dólares, ya que los riesgos y las coberturas están asociadas a movimientos en el tipo de cambio y en las tasas de interés, como se verá en la siguiente sección.

#### IV. Estimación de las tasas de descuento de TIE y *T-bills*

En esta sección se estiman las estructuras de plazos<sup>9</sup> de las tasas de interés TIE y de *T-bills* que se utilizarán para calcular (1), (2) y (3).

---

<sup>9</sup> Otros modelos alternativos de la estructura de plazos de tasas de interés modelados con procesos de difusión pueden encontrarse en: Vasicek (1977); Rendleman y Bartter (1980); Cox, Ingersoll y Ross (1985); Ho y Lee (1986); Nelson y Siegel (1987); Black, Derman y Toy (1990); Heath, Jarrow y Morton (1992); y Hull y White (1990) y (1993).

Con este propósito, las tasas de rendimiento con diferentes plazos reportadas por los participantes del mercado se convierten en tasas de descuento. Estas tasas de descuento, digamos,  $d_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , se utilizan para calcular el precio de mercado,  $PM_i$ , a través de la siguiente relación:

$$PM_i = Q \left[ 1 - d_i \frac{DP_i}{360} \right], \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

donde  $DP_i$  son los días plazo asociados a  $d_i$  y  $Q$  es un depósito o el valor nominal de un bono. La estructura intertemporal de precios se estima mediante el ajuste de un polinomio de cuarto grado a través de mínimos cuadrados con restricciones. Es decir, se desea estimar un polinomio de cuarto grado para el precio de TIEE y *T-bills* en la variable días plazo anualizado,  $t$ ,

$$p(t) = Q \left[ 1 - (\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3) t \right]$$

de tal manera que se resuelva el problema de minimizar el error cuadrático entre el precio estimado y el precio observado, ponderado por volumen, de la siguiente manera:

$$\min_{\beta_1, \beta_2, \beta_3} \sum_{i=1}^m [PM_i - p(t_i)]^2 \sqrt{V_i} + \left( \frac{1}{5} \sum_{i=1}^m \sqrt{V_i} \right) (d'(t)_{t=t_E})^2.$$

donde  $V_i$  son los volúmenes operados. En este problema de mínimos cuadrados se establecen dos restricciones: 1) la tasa de descuento correspondiente al plazo  $m$  ~~inim~~ o reportado se ancla en  $\beta_0$  y 2) la pendiente de la curva de descuento en el punto final se estima con base en el último día plazo. Aquí,  $m$  es el número de días plazos reportados;  $t_i$  es el  $i$ -ésimo día plazo anualizado ( $t_i = DP_i/360$ );  $PM_i$  es el precio promedio de mercado para el plazo  $i$ ;  $d(t)$  es la función tasa de descuento:  $d(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3$ ;  $d'(t)$  es la derivada de  $d(t)$ , es decir,  $d'(t) = \beta_1 + 2\beta_2 t + 3\beta_3 t^2$ ;  $t_E$  es el último día plazo e igual a 720 días;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  son los parámetros por estimar.<sup>10</sup> Una vez estimados los parámetros, digamos  $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$ , se genera el polinomio estimado

---

<sup>10</sup> Los detalles de esta metodología pueden encontrarse en el documento *Metodologías para la valuación de instrumentos de deuda y capitales*, elaborado por la BMV para el Comité de Valuación, en junio de 1999.

$$\hat{p}(t) = Q \left[ 1 - \left( \beta_0 + \hat{\beta}_1 t + \hat{\beta}_2 t^2 + \hat{\beta}_3 t^3 \right) t \right]$$

el cual define el vector de precios para los días plazo desde 1 hasta 360. La estructura intertemporal de tasas de descuento estimadas,  $d(DP)$ , se obtiene de la siguiente expresión:

$$d(DP) = Q \left( \frac{360}{DP} \right) = \beta_0 + \hat{\beta}_1 \left( \frac{DP}{360} \right) + \hat{\beta}_2 \left( \frac{DP}{360} \right)^2 + \hat{\beta}_3 \left( \frac{DP}{360} \right)^3$$

donde  $DP$ , como antes, son los días plazo (de 1 hasta 360 días).

Dado que, al momento de escribir este documento, no existen CETES con un plazo al vencimiento mayor a 360 días, es necesario extrapolar para obtener tasas de descuento a plazos entre 361 y 720 días, de la siguiente manera:<sup>11</sup>

1. La tasa de descuento de 360 días se convierte en tasa de rendimiento.
2. La tasa de rendimiento de 360 días,  $r_{360}$ , es llevada a plazos mayores, hasta 720 días, mediante:

$$r_{360+i} = \left[ \left( r_{360} + 1 \right)^{\frac{360+i}{360}} - 1 \right] \left( \frac{360}{360+i} \right).$$

3. Finalmente, las tasas de rendimiento de 361 a 720 días se convierten en tasas de descuento.

Con un registro histórico del comportamiento del tipo de cambio y de las curvas de TIE y *T-bills*, es posible generar las distribuciones empíricas del valor nominal de un conjunto de flujos financieros con y sin futuros. Estas distribuciones serán útiles en la estimación del valor en riesgo del valor nominal de dichos flujos.

## V. Determinación del número de contratos

La cobertura es una estrategia que reduce el riesgo que se genera por las fluctuaciones adversas en el tipo de cambio. La pregunta que se responde en esta sección es cómo podríamos cubrir flujos financieros

<sup>11</sup> El plazo de 360 días puede variar en función del último plazo emitido de CETES.

denominados en dólares para evitar que se generen pérdidas en su valor nominal por la exposición al riesgo mercado. Para llevar a cabo la cobertura de flujos de efectivo que se tienen programados podríamos seguir los cuatro principios siguientes:

- 1) Tomar una posición con futuros inversa a la posición que se mantiene sobre el flujo. Es decir, si estamos largos en nuestros flujos, entonces tomamos una posición corta a futuro y viceversa.
- 2) Determinar el número de contratos sobre los que necesitamos abrir posiciones en contratos futuros. Esto lo podríamos llamar “ajuste por volumen”.
- 3) Rebalancear periódicamente las posiciones de los contratos a futuro a medida que se mueve el tipo de cambio.

El valor nominal del portafolio combinado de flujos de efectivo y los futuros utilizados como cobertura en la fecha base, digamos la fecha asociada a  $n$ , está dado por:

$$VN^{(n)}(f, F) = D^{(n)} \sum_{i=1}^m \frac{1 + r_{i,M}^{(n)} \left( \frac{t_i}{360} \right)}{1 + r_{i,E}^{(n)} \left( \frac{t_i}{360} \right)} M_i + \sum_{i=1}^3 MN_i \left[ F_{t_i, T_i}^{(n)} - D^{(n)} \frac{1 + r_{T_i, M}^{(n)} \left( \frac{T_i}{360} \right)}{1 + r_{T_i, E}^{(n)} \left( \frac{T_i}{360} \right)} \right]$$

donde  $f = \{ M_1, M_2, \dots, M_1, \dots, M_m \}$  son flujos de efectivo en dólares, (si  $M_i < 0$  el flujo es un pasivo, si  $M_i > 0$  es un activo). Las fechas en que ocurren los flujos son preestablecidas y se denotan por  $t_1, t_2, \dots, t_1, \dots, t_m$ . Asimismo,  $F = \{ F_{t, T_1}^{(n)}, F_{t, T_2}^{(n)}, F_{t, T_3}^{(n)} \}$  son tres series de DEUA<sup>12</sup> con fechas de vencimiento  $T_1, T_2$  y  $T_3$ . La cantidad  $M$  representa el tamaño del contrato, el cual vamos a considerar igual a 10,000.00 dólares estadounidenses ya que éste es el tamaño de contrato que actualmente se opera en el Mercado Mexicano de Derivados.

Obsérvese que en la primera sumatoria se determina el valor presente de los flujos en dólares, en términos de pesos, llevados a valor futuro (momento en que se dan estos flujos) dado el tipo de cambio y las tasas de interés actuales. En la segunda sumatoria se expresan los flujos que se generan con los contratos futuros en los tiempos  $T_i$ . Es importante destacar que conforme nos aproximamos a  $T_i$  el precio

<sup>12</sup> Clave de los contratos a futuro de dólar que se cotizan en MexDer, Mercado Mexicano de Derivados, S.A. de C.V.

del futuro se aproxima al precio "spot" del dólar. Por esta razón, se presenta un flujo de efectivo por la operación pactada (compra o venta). Nótese que ambos flujos tienen signos contrarios ya que si la operación a futuro es larga (compra) entonces en  $T_i$  se paga el precio pactado del dólar. En el caso de una posición corta (venta), el razonamiento es inverso. Esto es precisamente lo que genera los flujos compensatorios que cubren al portafolio.

Una vez que se ha establecido la manera de cuantificar la magnitud de los cambios en el valor nominal de los flujos de efectivo, en los futuros debidos a variaciones en el tipo de cambio y en las tasas de interés; estamos en condiciones de determinar el número de contratos y la posición que se requiere (larga o corta) para compensar los cambios en el portafolio combinado. El método que se propone para cubrir los flujos financieros denominados en dólares es como sigue: se determinan las sensibilidades del valor nominal del portafolio combinado (flujos y futuros) a variaciones en el tipo de cambio y a cambios en las tasas de interés TIE y *T-bills* y se igualan a cero, de tal manera que los cambios en el valor nominal de los flujos por variaciones en el tipo de cambio y en las tasas TIE y *T-bills* se compensen con los flujos generados por los contratos futuros. El sistema resultante contempla 3 ecuaciones con 3 incógnitas, digamos  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$ , que representan el número de contratos a futuro sobre dólar de tres series. Así, el sistema que se tiene que resolver está dado por:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial D^{(n)}} VN^{(n)}(f) = D^{(n)} \sum_{i=1}^m \frac{1 + r_{i,M}^{(n)} \left( \frac{t_i}{360} \right)}{1 + r_{i,E}^{(n)} \left( \frac{t_i}{360} \right)} M_i - D^{(n)} \sum_{i=1}^3 MN_i \frac{1 + r_{i,M}^{(n)} \left( \frac{T_i}{360} \right)}{1 + r_{i,E}^{(n)} \left( \frac{T_i}{360} \right)} = 0, \\ \frac{\partial}{\partial r_{i,M}^{(n)}} VN^{(n)}(f) = D^{(n)} \sum_{i=1}^m \frac{\left( \frac{t_i}{360} \right)}{1 + r_{i,E}^{(n)} \left( \frac{t_i}{360} \right)} M_i - D^{(n)} \sum_{i=1}^3 MN_i \frac{\left( \frac{T_i}{360} \right)}{1 + r_{i,E}^{(n)} \left( \frac{T_i}{360} \right)} = 0, \\ \frac{\partial}{\partial r_{i,E}^{(n)}} VN^{(n)}(f) = -D^{(n)} \sum_{i=1}^m \frac{\left[ 1 + r_{i,M}^{(n)} \left( \frac{t_i}{360} \right) \right] \left( \frac{t_i}{360} \right)}{\left[ 1 + r_{i,E}^{(n)} \left( \frac{t_i}{360} \right) \right]^2} M_i + D^{(n)} \sum_{i=1}^3 MN_i \frac{\left[ 1 + r_{i,M}^{(n)} \left( \frac{T_i}{360} \right) \right] \left( \frac{T_i}{360} \right)}{\left[ 1 + r_{i,E}^{(n)} \left( \frac{T_i}{360} \right) \right]^2} = 0. \end{array} \right.$$

Obsérvese que  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$  dependen de varios factores: 1) de los montos y fechas de los flujos de efectivo en dólares y 2) de los precios y vencimientos de los contratos futuros. Si  $N_i > 0$ , se genera una posi-

ción larga (posición de compra en contratos), en caso contrario se genera una posición corta (posición de venta en los contratos). El costo de la estrategia de cobertura se calcula multiplicando  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$  por los correspondientes márgenes iniciales (aportaciones iniciales mínimas) y, en su caso, por el margen adicional (aportaciones excedentes) cuando la calidad crediticia del inversionista así lo requiera, considerando los “spreads” o posiciones opuestas que se generen.<sup>13</sup>

Definición 1. Se dice que los contratos futuros  $F = \{F_{t,T_1}^{(n)}, F_{t,T_2}^{(n)}, F_{t,T_3}^{(n)}\}$  con fechas de vencimiento  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ , en cantidades  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$  cubren a  $f$  si  $F = \{F_{t,T_1}^{(n)}, F_{t,T_2}^{(n)}, F_{t,T_3}^{(n)}\}$  y  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$  satisfacen el sistema de ecuaciones previamente establecido.

Es importante señalar algunas limitaciones del método. Primero, cuando un mercado dispone de cuatro o más series de futuros de dólar, se obtendría un sistema de tres ecuaciones con cuatro o más incógnitas. Por lo tanto, existe un número infinito de estrategias de cobertura, de las cuales se pueden escoger algunas que cumplan con atributos deseables como es la liquidez de los futuros. Segundo, el método cubre de manera limitada contra fluctuaciones en el tipo de cambio, el rebalanceo periódico de la estrategia permitirá una mejor protección ante el riesgo. El método supone liquidez infinita (efecto precio despreciable, en el sentido de que se mantienen las relaciones de arbitraje entre futuros y contado aunque se aumente el tamaño de la transacción) y supone además que se pueden vender futuros por cantidades divisibles. Sin embargo, es importante notar que la estandarización de los contratos no permite tomar posiciones sobre nominales distintos a los múltiples generados por el tamaño del contrato.

## VI. Método histórico de cobertura de flujos financieros (valor en riesgo)

Una vez que se han determinado las soluciones locales del problema de cobertura, éstas se evalúan en términos globales, es decir, en términos de las variaciones del tipo de cambio y las tasas de interés, TIEE y *T-bills*, en el escenario del último año. El supuesto básico en la eva-

<sup>13</sup> Para mayor claridad, es importante señalar que el costo al que nos referimos es el costo de oportunidad asociado a las aportaciones y al rendimiento que éstas generarían en una inversión alternativa.

luación de estrategias es que el futuro se comporte como en el pasado. En este caso, se genera la distribución conjunta del valor nominal de los flujos financieros y de los flujos propios que producen los futuros. Se comparan las varianzas de las distribuciones empíricas de los flujos financieros, con y sin futuros, y se estiman pérdidas potenciales en términos del valor en riesgo para distintos niveles de probabilidad.<sup>14</sup>

En esta sección llevaremos a cabo un análisis estadístico del comportamiento histórico del tipo de cambio y de las curvas intertemporales de tasas TIE y *T-bills* a fin de obtener la distribución del valor nominal de un conjunto dado de flujos denominados en dólares. Considérese, como antes, un conjunto de flujos esperados en dólares  $f = \{M_1, M_2, \dots, M_1, \dots, M_m\}$ , tanto de pasivos ( $M_i < 0$ ) como de activos ( $M_i > 0$ ), en fechas preestablecidas  $t_1, t_2, \dots, t_1, \dots, t_m$ . Supóngase que se cuenta con un registro histórico del tipo de cambio y de tasas de rendimiento en fechas  $j=1, 2, \dots, n$ . El valor nominal de los flujos financieros,  $f$ , con base en el tipo de cambio y las tasas de interés asociados a la  $j$ -ésima fecha está dado por:

$$VN^{(j)}(f) = D^{(j)} \sum_{l=1}^m \frac{1 + r_{l,M}^{(j)} \left( \frac{t_l}{360} \right)}{1 + r_{l,E}^{(j)} \left( \frac{t_l}{360} \right)} M_l.$$

En este caso,  $\{VN^{(1)}(f), \dots, VN^{(2)}(f), \dots, VN^{(n)}(f)\}$  puede verse como una muestra proveniente de la distribución del valor nominal de  $f$ , denotado por  $VN(f)$ . La distribución empírica de  $VN(f)$  se define para cualquier  $x \in (-\infty, \infty)$  como:

$$G_m(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x < VN_{(1)}(f), \\ \frac{k}{n}, & \text{si } VN_{(k)}(f) \leq x < VN_{(k+1)}(f) \quad (k = 1, 2, \dots, 1, \dots, n-1), \\ 1, & \text{si } x \geq VN_{(n)}(f), \end{cases}$$

donde  $VN_{(1)}(f), \dots, VN_{(j)}(f), \dots, VN_{(n)}(f)$  son las estadísticas de orden de la muestra  $\{VN^{(1)}(f), \dots, VN^{(2)}(f), \dots, VN^{(n)}(f)\}$ , i.e., los valores muestrales

---

<sup>14</sup> La metodología de Valor en Riesgo (VeR) es una de las herramientas de mayor uso en la administración de riesgos, véanse, por ejemplo, Jorion (1999) y Schwartz y Smith (1993). En nuestro caso, el VeR histórico constituye una de las partes (la evaluación de estrategias) de un método general para cubrir flujos de efectivo en dólares.

ordenados en forma creciente. El percentil (o cuantil de orden  $p$ ) de  $VN(f)$ , denotado por  $x_p$  se define mediante:

$$p \leq G_m(x_p) \leq p + Pr_G\{VN(f) = x_p\}.$$

La distribución empírica nos permite calcular la probabilidad de que el valor nominal de nuestros flujos tome valores menores que un cierto percentil, lo cual es útil para establecer regiones de riesgo, con cierto nivel de confianza, en el contexto de la metodología del valor en riesgo. Es decir, bajo una distribución empírica estimamos el valor en riesgo de nuestro portafolio (flujos de activos y pasivos) para variaciones diarias de tasas con un cierto nivel de confianza. De esta forma, es posible estimar la pérdida potencial que se puede presentar en los flujos de efectivo con un cierto nivel de confianza en un horizonte de planeación dado.

Una vez que se ha calculado el número de contratos futuros de tres series de DEUA, como soluciones locales, se determina la distribución del valor nominal de un conjunto de flujos esperados, incorporando futuros a fin de evaluar las soluciones globalmente y cuantificar el riesgo del portafolio combinado. Considere un conjunto de flujos financieros,  $f = \{f_1, f_2, \dots, f_l, \dots, f_m\}$  en fechas preestablecidas  $t_1, t_2, \dots, t_l, \dots, t_m$ . El valor nominal de los flujos financieros incluyendo los futuros,  $F = \{F_{t,T_1}^{(n)}, F_{t,T_2}^{(n)}, F_{t,T_3}^{(n)}\}$  con fechas de vencimiento  $T_1, T_2$  y  $T_3$ , respectivamente, que cubren dichos flujos con el tipo de cambio y tasas TIEE y *T-bills* asociadas a la  $j$ -ésima fecha está dado por:

$$VN^{(j)}(f, F) = D^{(j)} \sum_{l=1}^m \frac{1 + r_{l,M}^{(j)} \left( \frac{t_l}{360} \right)}{1 + r_{l,E}^{(j)} \left( \frac{t_l}{360} \right)} M_l + \sum_{i=1}^3 MN_i \left[ F_{t,T_i}^{(n)} - D^{(j)} \frac{1 + r_{T_i,M}^{(j)} \left( \frac{T_i}{360} \right)}{1 + r_{T_i,E}^{(j)} \left( \frac{T_i}{360} \right)} \right].$$

En este caso, la distribución empírica de  $VN(f, F)$  se define para cualquier  $z \in (-\infty, \infty)$  como:

$$H_m(z) = \begin{cases} 0, & \text{si } z < VN_{(1)}(f, F), \\ \frac{k}{n}, & \text{si } VN_{(k)}(f, F) \leq z < VN_{(k+1)}(f, F) \quad (k = 1, 2, \dots, l, \dots, n-1), \\ 1, & \text{si } z \geq VN_{(n)}(f, F). \end{cases}$$



donde  $VN_{(1)}(f, F), \dots, VN_{(p)}(f, F), \dots, VN_{(m)}(f, F)$  son las estadísticas de orden de la muestra  $\{VN^{(1)}(f, F), \dots, VN^{(p)}(f, F), \dots, VN^{(n)}(f, F)\}$ , i.e., son los valores muestrales ordenados en forma creciente. El percentil (o cuantil de orden  $p$ ) de  $VN(f, F)$ , denotado por  $z_p$  se define mediante:

$$p \leq H_m(z_p) \leq p + Pr\{VN(f, F) = z_p\}.$$

A continuación se caracterizan las ternas de contratos futuros,  $F = \{F_{t,T_1}^{(n)}, F_{t,T_2}^{(n)}, F_{t,T_3}^{(n)}\}$  que reducen la varianza de  $VN(f)$ .

**Teorema 1.** Supóngase que  $F = \{F_{t,T_1}^{(n)}, F_{t,T_2}^{(n)}, F_{t,T_3}^{(n)}\}$  cubren un flujo  $f$ . Sean  $\overline{VN}(f)$  y  $\overline{VN}(F)$  las medias muestrales de

$$VN^{(j)}(f) = D^{(j)} \sum_{l=1}^m \frac{1 + r_{l,M}^{(j)} \left( \frac{t_l}{360} \right)}{1 + r_{l,E}^{(j)} \left( \frac{t_l}{360} \right)} M_l$$

y

$$WN^{(j)}(F) = \sum_{i=1}^3 MN_i \left[ F_{t,T_i}^{(n)} - D^{(j)} \frac{1 + r_{T_i,M}^{(j)} \left( \frac{T_i}{360} \right)}{1 + r_{T_i,E}^{(j)} \left( \frac{T_i}{360} \right)} \right],$$

respectivamente, y denótese la varianza muestral de  $WN^{(j)}(F)$  por  $\text{Var}[WN(F)]$ , entonces  $F$  reduce la varianza de  $VN(f)$  si, y sólo si

$$\begin{aligned} & \text{Var}[WN(F)] + \sum_{j=1}^n VN^{(j)}(f) WN^{(j)}(F) + n \overline{VN}(f) \overline{WN}(F) \\ & \leq \overline{WN}(F) \sum_{j=1}^n VN^{(j)}(f) + \overline{VN}(f) \sum_{j=1}^n WN^{(j)}(F). \end{aligned}$$

Es importante observar que no siempre existe una terna  $F = \{F_{t,T_1}^{(n)}, F_{t,T_2}^{(n)}, F_{t,T_3}^{(n)}\}$  que reduzca la varianza. Como puede observarse, la existencia depende de los montos y fechas de los flujos, de los precios, del tamaño y fechas de vencimiento de los futuros y del tamaño de la muestra. A este respecto, vale la pena mencionar que si las fechas de vencimiento de los futuros distan en mucho de las fechas de los flujos,

se genera un riesgo adicional, el riesgo base.<sup>15</sup> Sin embargo, dado que el número de ternas  $F = \{F_{t,T_1}^{(n)}, F_{t,T_2}^{(n)}, F_{t,T_3}^{(n)}\}$  es finito, si existe por lo menos una terna que reduzca la varianza, entonces se puede determinar una terna de varianza mínima. Nótese también que  $\overline{VN}(f, F)$  y  $\overline{VN}(f)$  no son, en general, iguales y que una terna  $F$  puede aumentar o disminuir el valor de  $\overline{VN}(f, F)$  con respecto de  $\overline{VN}(f)$ . Nótese también que si las fechas de vencimiento de los futuros están muy alejadas de las fechas de los flujos, entonces puede obtenerse que  $S^2_{VN(f, F)} > S^2_{VN(f)}$ . En este caso, aunque  $F = \{F_{t,T_1}^{(n)}, F_{t,T_2}^{(n)}, F_{t,T_3}^{(n)}\}$  inmunice los flujos de efectivo, la varianza de los mismos aumenta y hace necesario rebalancear periódicamente el portafolio. Otra posibilidad consiste en partir el horizonte de planeación y aplicar el método en los tramos obtenidos, es decir, tratar de cubrir los flujos planeados en intervalos de tiempo en función de la disponibilidad de vencimientos de futuros. Sin embargo, no siempre es posible reducir la varianza en cada tramo, aunque se logra reducir el riesgo base.

## VII. Aplicación del método propuesto

Una vez que se ha descrito en forma analítica el método de cobertura, a continuación se ilustra su aplicación en un conjunto de flujos de efectivo en dólares. Los objetivos específicos de este ejercicio son: 1) evaluar el riesgo a partir de métodos locales (para cambios pequeños en el tipo de cambio y en las tasas de interés TIE y *T-bills*); 2) evaluar la robustez de las estrategias obtenidas en términos del comportamiento histórico del tipo de cambio y de las tasas TIE y *T-bills*; 3) analizar cómo los cambios (paralelos, asimétricos, cuadráticos e incluso catastróficos) en las tasas de interés TIE y *T-bills* afectan adversamente el valor nominal de los flujos; 4) presentar varias estrategias con futuros que cubren los riesgos de un conjunto de flujos y conocer las peculiaridades de cada estrategia en términos de sus costos (aportaciones requeridas), varianzas y valores en riesgo; y 5) evaluar las distintas estrategias con el fin de seleccionar la más adecuada para cubrir los flujos de efectivo en dólares.

---

<sup>15</sup> La base en futuros se define como la diferencia entre el precio a futuro y el precio "spot" del activo subyacente. El riesgo base se presenta cuando por diferencias en la fecha de vencimiento del contrato y la fecha de realización del activo subyacente es necesario rehacer o deshacer la cobertura, lo cual puede generar flujos de efectivo no deseados.

En el siguiente ejercicio, a partir de un registro histórico del tipo de cambio y de las estructuras de plazos de las tasas de TIE y *T-bills* se genera la distribución del valor nominal de los flujos financieros. Las muestras del tipo de cambio y de las curvas de rendimientos que se consideran para este ejercicio tienen tamaño  $n = 252$  (del 24 de marzo de 1999 al 20 de marzo de 2000). Posteriormente, con referencia al tipo de cambio y la curva de rendimiento más recientes, se determinan las sensibilidades del valor nominal de dichos flujos y se calculan las cantidades de contratos futuros que cubren dicho flujo. Estas cantidades y los precios de los futuros se utilizan para generar la distribución conjunta de los flujos financieros y de los flujos propios de los futuros. Después, se comparan las varianzas de las distribuciones empíricas de los flujos financieros, con y sin futuros, a fin de analizar el efecto que en términos de reducción de riesgos tiene la incorporación de futuros en nuestro portafolio de activos y pasivos en dólares. En el cuadro 1, se presenta un conjunto de flujos en dólares y las fechas en que se presentan los mismos. En el cuadro 2, se listan las estrategias con base en las fechas de vencimiento de los contratos futuros. Si el número de contratos es positivo, se genera una posición larga (posición de compra), en caso contrario se genera una posición corta (posición de venta). En el cuadro 3, se presentan las características de cada estrategia en términos de la varianza y del valor en riesgo.

Como puede observarse, en los cuadros 1 y 2, las fechas de los flujos de efectivo no coinciden con las fechas de vencimiento de las series de DEUA (clave del contrato a futuro de dólar que se cotiza en el Mercado Mexicano de Derivados). Después de igualar las sensibilidades de tres series de futuros de DEUA con las sensibilidades de los flujos financieros (salvo el cambio en el signo), se obtienen las cantidades de contratos que cubren los flujos.

El cuadro 3 muestra los resultados del método histórico de VeR. Obsérvese que para la estrategia 8 con fechas de vencimiento  $T_1 = 19$ -jun-2000,  $T_2 = 19$ -jun-2000 y  $T_3 = 16$ -mar-2000, se tiene una reducción significativa en la varianza al incluir futuros; de hecho se obtiene la mínima varianza. Además, en la estrategia 8 se generan los valores en riesgo más pequeños. Sin embargo, para fechas de vencimiento lejanas a las de los flujos, la varianza de los flujos con futuros aumenta, como era de esperarse por lo señalado en la sección anterior. Observe que la terna de series de la estrategia 10, con  $T_1 = 18$ -sep-2000,  $T_2 = 18$ -dic-2000 y  $T_3 = 16$ -mar-2000 aumenta la varianza en forma significativa. En la sección V, se demostró que siempre es posible en-

**Cuadro 1. Flujos de efectivo y fechas**

	<i>Monto</i>	<i>Fecha</i>
$f_1$	\$1 000 000.00	15-May-00
$f_2$	-\$1 250 000.00	06-Jun-00
$f_3$	\$1 500 000.00	15-Ago-00
$f_4$	-\$1 230 000.00	18-Mar-01

**Cuadro 2. Estrategias locales de cobertura**

	<i>Vencimiento</i>				
	<i>17-Abr-00</i>	<i>19-Jun-00</i>	<i>18-Sep-00</i>	<i>18-Dic-00</i>	<i>16-Mar-00</i>
Estrategia 1	-740.13	1 433.91	-934.35	0.00	0.00
Estrategia 2	-186.68	220.75	0.00	-279.28	0.00
Estrategia 3	-86.38	2.69	0.00	0.00	-163.75
Estrategia 4	-85.97	0.00	170.02	-330.09	0.00
Estrategia 5	-26.14	0.00	-101.42	0.00	-120.24
Estrategia 6	-48.50	0.00	0.00	-123.34	-75.31
Estrategia 7	0.00	-188.44	315.15	-373.47	0.00
Estrategia 8	0.00	-52.50	-70.93	0.00	-124.64
Estrategia 9	0.00	-77.48	0.00	-68.61	-101.74
Estrategia 10	0.00	0.00	-220.03	144.24	-172.78

contrar una terna de series de futuros de DEUA (clave del contrato a futuro de dólar que se cotizan en MexDer) que inmunicen a un conjunto de flujos financieros  $f$  en dólares. Sin embargo, no siempre esta terna reduce la varianza de los flujos. Todas las estrategias, las ternas de futuros determinadas, cubren el valor nominal de los flujos ante variaciones en el tipo de cambio y en las curvas de rendimiento de TIEE y *T-bill*. Algunas estrategias reducen la varianza y los valores en riesgo más que otras. En casos extremos, una terna de futuros podría incluso incrementar la varianza y los valores en riesgo para la distribución global. Toda estrategia requiere de rebalanceo y algunas son más sensibles a las fluctuaciones en el tipo de cambio y en las tasas TIEE y *T-bills*, así como a las fechas de vencimiento de las series. Asimismo, en el cuadro 3, se muestran los costos de cobertura de cada una de las estrategias, en términos de los márgenes ordinarios y adicionales (aportaciones iniciales mínimas y aportaciones excedentes). Como puede observarse, estos costos están directamente asociados al número de contratos necesarios para llevar a cabo la estrategia de cobertura.

En el cuadro 4, se ha seleccionado la estrategia 10 para comparar

*Riesgo cambiario, brecha de madurez y cobertura con futuros*

**Cuadro 3. Características de las estrategias**

<i>Desviación estándar</i>	<i>Valor en riesgo: pesos corrientes</i>		<i>Número de contratos</i>	<i>Costos Requerimiento de AIM y AE</i>
	<i>Pesos corrientes</i>	<i>al 1% al 5%</i>		
584 223.37	-1 071 835.38	-626 786.17	3 108.38	13 530 004.68
299 254.46	-381 938.01	-264 363.84	686.70	4 112 562.87
210 078.49	-732 569.12	-279 111.89	252.82	2 433 486.13
249 898.77	-264 100.83	-193 196.68	586.08	3 725 064.04
23 079.19	-26 279.53	-19 052.91	247.80	2 416 093.49
107 824.42	-115 141.03	-85 484.31	247.15	2 409 681.65
209 451.30	-174 266.57	-135 198.53	877.06	4 864 116.41
5 827.85	-4 431.06	-3 719.14	248.07	2 418 677.59
41 643.52	-25 517.89	-22 900.39	247.83	2 416 339.99
76 055.49	-260 903.95	-65 998.81	537.06	3 548 674.87

las pérdidas potenciales con el valor presente sin futuros para diferentes niveles de confianza.

En el cuadro 4 se observa que en ausencia de contratos a futuro, se presenta un valor en riesgo de \$886,886.34 al 5 por ciento, es decir, una pérdida potencial por esa cantidad en un día a un nivel de confianza del 95 por ciento. Mientras que con la estrategia 8, la pérdida potencial al 5 por ciento se reduce en forma significativa a \$65,998.81.

En el cuadro 5, se presentan los cambios en el valor nominal, sin futuros, por cambios en el comportamiento en el tipo de cambio y en las tasas de interés TIE y *T-bills*. Varios casos son analizados: 1) cambios porcentuales en el tipo de cambio; 2) cambios paralelos en la estructura intertemporal de tasas de interés TIE y *T-bills*; 3) cambios asimétricos en los plazos cero y 720 días (a plazos intermedios se interpola linealmente); 4) cambio cuadrático sin modificaciones en los plazos cero y 720 días. Asimismo, se lleva a cabo un análisis de casos catastróficos con variaciones de 1 000 a 5 000 puntos base. Los cuadros 6 y 7 presentan el mismo análisis para las estrategias 8 y 10.

Los cuadros 8 y 9 muestran las distribuciones completas para el análisis del valor en riesgo de las estrategias 8 y 10.

En el cuadro 9 se observa, por ejemplo, que al nivel 0.5 por ciento hay una pérdida potencial de \$537,254.69 en el valor nominal respecto a la base en el método histórico con futuros, y una pérdida potencial de \$1,809,134.42 en el valor nominal respecto a la base sin futuros.

Cuadro 4. Pérdidas potenciales sin y con cobertura (estrategia 10)

<i>Sin futuros (VaR: probabilidad)</i>	<i>Pérdida con respecto al valor nominal Pesos corrientes</i>
10.0%	-685 967.31
5.0%	-886 886.34
1.0%	-1 717 656.47
0.5%	-1 809 134.42

  

<i>Estrategia 10 (VaR: probabilidad)</i>	<i>Pérdida con respecto al valor nominal Pesos corrientes</i>
10.0%	-41 249.04
5.0%	-65 998.81
1.0%	-260 903.95
0.5%	-537 254.69

### VIII. Resumen y conclusiones

Se ha desarrollado un modelo de cobertura contra fluctuaciones en el tipo de cambio con futuros financieros. A partir de un registro histórico del tipo de cambio y de las estructuras de plazos de las tasas de interés TIE y *T-bills*, se generaron las distribuciones empíricas de un conjunto de flujos financieros, con y sin cobertura con futuros, a fin de comparar los efectos en la varianza de dichos flujos antes y después de la cobertura. El concepto de sensibilidad del valor nominal a variaciones en el tipo de cambio y en las tasas de interés desempeñó un papel importante en el desarrollo del modelo en cuanto a la medición y el control de riesgos.

Siempre es posible encontrar una terna de series de futuros de dólar que inmuten a un conjunto de flujos financieros en dólares. Sin embargo, no siempre esta terna reduce la varianza de los flujos. En este caso, se logra la cobertura local, pero es necesario el rebalanceo frecuente de las posiciones en futuros, debido principalmente a las diferencias entre las fechas de vencimiento de los contratos a futuro y las fechas de realización de los flujos financieros, es decir, debido al riesgo base. Este trabajo proporciona las condiciones necesarias y suficientes para que una terna de series de futuros de dólar, además de cubrir al portafolio en cuestión reduzca la varianza del método histó-

Cuadro 5. Análisis local sin futuros: diagnóstico de cambios en el valor nominal de los flujos financieros (cifras redondeadas)

Efecto en valor nominal	Cambio porcentual en el dólar de contado				Cambio paralelo en TIE				Cambio paralelo en T-bills				Cambio no paralelo en las tasas de interés en pesos			
	Sube tipo de cambio		Baja tipo de cambio		Sube TIE corto		Baja TIE corto		Sube tasa dólar		Baja tasa dólar		Sube plazo corto y bajo plazo largo		Baja plazo corto y bajo plazo largo	
	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye
10.00%	2 614 187	-2 614 187	1 486 409	-1 486 409	1 486 409	-1 486 409	-1 393 387	1 393 387	1 593 980	-1 593 980	-922 967	922 967	-461 483	461 483	-92 296	92 296
5.00%	1 307 093	-1 307 093	743 204	-743 204	743 204	-743 204	-719 139	719 139	769 080	-769 080	-461 483	461 483	-92 296	92 296	-46 148	46 148
1.00%	261 418.73	-261 418	148 640	-148 640	148 640	-148 640	-147 650	147 650	149 645	-149 645	-46 148	46 148	-9 229	9 229	-9 229	9 229
0.50%	130 709.37	-130 709	74 320	-74 320	74 320	-74 320	-74 072	74 072	74 570	-74 570	-14 854	14 854	-9 229	9 229	-9 229	9 229
0.10%	26 141.87	-26 141	14 864	-14 864	14 864	-14 864	-14 854	14 854	14 874	-14 874	-9 229	9 229	-9 229	9 229	-9 229	9 229

Cuadro 6. Análisis local para la estrategia 8. Diagnóstico de cambios en el valor nominal de los flujos financieros

Efecto en valor nominal	Cambio porcentual en el dólar de contado				Cambio paralelo en TIE				Cambio paralelo en T-bills				Cambio no paralelo en las tasas de interés en pesos			
	Sube tipo de cambio		Baja tipo de cambio		Sube TIE corto		Baja TIE corto		Sube tasa dólar		Baja tasa dólar		Sube plazo corto y bajo plazo largo		Baja plazo corto y sube plazo largo	
	Disminuye	Sin cambio	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	
10.00%	0.00	0.00	415.22	-415.22	-177.70	651.36	-282.55	282.55	-2	282.55	2	282.55	-2	282.55	2	282.55
5.00%	0.00	0.00	207.61	-207.61	-148.47	266.51	-141.28	141.28	-1	141.28	1	141.28	-1	141.28	1	141.28
1.00%	0.00	0.00	41.52	-41.52	-39.16	43.88	-28.26	28.26	-2	28.26	2	28.26	-2	28.26	2	28.26
0.50%	0.00	0.00	20.76	-20.76	-20.17	21.35	-114.13	114.13	-1	114.13	1	114.13	-1	114.13	1	114.13
0.10%	0.00	0.00	4.15	-4.15	-4.13	4.18	-22.83	22.83	-2	22.83	2	22.83	-2	22.83	2	22.83
40.00%	0.00	0.00	1 660.87	-1 660.87	-9 130.22	9 130.22	-231.84	231.84	-9	130.22	9	130.22	-2	231.84	6	267.60
30.00%	0.00	0.00	1 245.65	-1 245.65	-6 847.66	6 847.66	-930.62	930.62	-6	847.66	6	847.66	-9	30.62	3	543.72
20.00%	0.00	0.00	830.43	-830.43	-4 565.11	4 565.11	-128.59	128.59	-4	565.11	4	565.11	-1	28.59	1	794.61



Cuadro 7. Análisis local para la estrategia 10. Diagnóstico de cambios en el valor nominal de los flujos financieros

Efecto en valor nominal	Cambio porcentual en el dólar de contado				Cambio paralelo en TIE				Cambio paralelo en T-bills				Cambio no paralelo en las tasas de interés en pesos			
	Sube tipo de cambio		Baja tipo de cambio		Sube TIE corto		Baja TIE corto		Sube tasa dólar		Baja tasa dólar		Sube plazo corto y bajo plazo largo		Baja plazo corto y sube plazo largo	
	Sin cambio	Disminuye	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	Disminuye	Aumenta	
10.00%	0.00	0.00	-8 707.94	8 707.94	8 707.94	8 707.94	8 981.21	-8 802.54	-12 022.52	12 022.52	-12 022.52	12 022.52	-6 011.26	6 011.26	6 011.26	
5.00%	0.00	0.00	-4 353.97	4 353.97	4 353.97	4 353.97	4 405.91	-4 347.10	-6 011.26	6 011.26	-6 011.26	6 011.26	-1 202.25	1 202.25	1 202.25	
1.00%	0.00	0.00	-870.79	870.79	870.79	870.79	872.24	-869.71	-601.13	601.13	-601.13	601.13	-120.23	120.23	120.23	
0.50%	0.00	0.00	-435.40	435.40	435.40	435.40	435.74	-435.10	-87.07	87.07	-87.07	87.07	42 246.30	-62 051.44	-62 051.44	
0.10%	0.00	0.00	-87.08	87.08	87.08	87.08	87.09	-87.07	29 977.42	-34 512.63	-87.07	87.09	29 977.42	-34 512.63	-34 512.63	
40.00%	0.00	0.00	-34 831.75	34 831.75	34 831.75	34 831.75	-48 090.07	48 090.07	18 889.42	-19 128.62	-48 090.07	48 090.07	18 889.42	-19 128.62	-19 128.62	
30.00%	0.00	0.00	-26 123.82	26 123.82	26 123.82	26 123.82	-36 067.55	36 067.55			-36 067.55	36 067.55				
20.00%	0.00	0.00	-17 415.88	17 415.88	17 415.88	17 415.88	-24 045.03	24 045.03			-24 045.03	24 045.03				



Cuadro 9. Distribución completa para el análisis del valor en riesgo de la estrategia 10

Método histórico con tasas en fechas indicadas con futuros			
Pesos corrientes			
	26 079 215.82	26 329 210.89	
Media			
Desviación estándar	76 055.49	785 495.82	
Sin futuros			
	Con futuros	Cambio respecto a base	Valor nominal
Valor máximo	26 170 953.06	91 737.25	32 459 937.47
99.50%	26 160 901.54	81 685.72	30 760 830.71
99.00%	26 156 857.48	77 641.67	28 854 749.69
95.00%	26 136 033.39	56 817.57	27 300 848.37
90.00%	26 121 803.71	42 587.89	27 029 791.16
80.00%	26 112 117.15	32 901.33	26 730 386.46
70.00%	26 105 476.88	26 261.06	26 558 711.42
60.00%	26 097 053.59	17 837.77	26 346 860.24
50.00%	26 090 707.68	11 491.86	26 228 541.83
40.00%	26 085 086.89	5 871.07	26 116 865.16
30.00%	26 075 177.74	-4 038.08	26 036 496.60
20.00%	26 062 416.90	-16 798.92	25 879 164.36
10.00%	26 037 966.78	-41 249.04	25 643 243.59
5.00%	26 013 217.01	-65 998.81	25 442 324.56
1.00%	25 818 311.86	-260 903.95	24 611 554.43
0.50%	25 541 961.13	-537 254.69	24 520 076.47
Valor mínimo	25 291 952.07	-787 263.75	23 950 829.15
	Valor nominal	Cambio respecto a base	Valor nominal
Valor máximo	26 170 953.06	91 737.25	32 459 937.47
99.50%	26 160 901.54	81 685.72	30 760 830.71
99.00%	26 156 857.48	77 641.67	28 854 749.69
95.00%	26 136 033.39	56 817.57	27 300 848.37
90.00%	26 121 803.71	42 587.89	27 029 791.16
80.00%	26 112 117.15	32 901.33	26 730 386.46
70.00%	26 105 476.88	26 261.06	26 558 711.42
60.00%	26 097 053.59	17 837.77	26 346 860.24
50.00%	26 090 707.68	11 491.86	26 228 541.83
40.00%	26 085 086.89	5 871.07	26 116 865.16
30.00%	26 075 177.74	-4 038.08	26 036 496.60
20.00%	26 062 416.90	-16 798.92	25 879 164.36
10.00%	26 037 966.78	-41 249.04	25 643 243.59
5.00%	26 013 217.01	-65 998.81	25 442 324.56
1.00%	25 818 311.86	-260 903.95	24 611 554.43
0.50%	25 541 961.13	-537 254.69	24 520 076.47
Valor mínimo	25 291 952.07	-787 263.75	23 950 829.15

rico. Este problema es equivalente a uno de programación entera (véase Zenios, 1996) en donde se tiene un conjunto de puntos factibles sin restricción en el signo (ternas de series) y se desea encontrar aquella que minimice la dispersión. Finalmente, a manera de ilustración, los modelos fueron aplicados en la cobertura de los flujos financieros denominados en dólares.

La ausencia tan prolongada de mercados de instrumentos financieros de cobertura cambiaría en América Latina, inevitablemente nos conduce a evaluar sus efectos en el sector productivo. En el caso mexicano, particularmente en lo que se refiere al episodio de diciembre de 1994, llama la atención la enorme exposición al riesgo cambiario y la imposibilidad de controlarlo a falta de un mercado de coberturas contra contingencias financieras. En la actualidad, se cuenta con un mercado organizado y reconocido por las autoridades fiscales y monetarias en el que se negocian contratos futuros estandarizados. Cuando estos instrumentos se usan adecuadamente, protegen a los agentes económicos de pérdidas potenciales por fluctuaciones adversas en el tipo de cambio.

Finalmente, es necesario mencionar que se requiere más investigación sobre modelos alternativos para estimar la estructura intertemporal de tasas de interés con el método propuesto. Al respecto, valdría la pena explorar modelos con difusiones y comparar resultados con los aquí obtenidos. Asimismo, es importante incluir en el método propuesto opciones sobre tipo de cambio a fin de diversificar la cobertura y determinar las condiciones bajo las cuales la exposición al riesgo se reduce. Por último, es importante extender nuestro método para que el horizonte de planeación pueda dividirse en intervalos, en función de la disponibilidad de vencimientos de futuros, y llevar a cabo las coberturas en cada uno de dichos intervalos.

Apéndice (demostración del Teorema 1)

Demostración: Obsérvese primero que  $VN^{(j)}(f, F)$  se puede expresar como una función separable de flujos y futuros:

$$VN^{(j)}(f, F) = VN^{(j)}(f) + WN^{(j)}(F)$$

donde

$$VN^{(j)}(f) = D^{(j)} \sum_{i=1}^m \frac{1 + r_{i,M}^{(j)} \left( \frac{t_i}{360} \right)}{1 + r_{i,E}^{(j)} \left( \frac{t_i}{360} \right)} M_i$$

y

$$WN^{(j)}(F) = \sum_{i=1}^3 MN_i \left[ F_{i,T_i}^{(n)} - D^{(j)} \frac{1 + r_{i,M}^{(j)} \left( \frac{T_i}{360} \right)}{1 + r_{i,E}^{(j)} \left( \frac{T_i}{360} \right)} \right].$$

Si  $\overline{VN}(f, F)$  y  $\overline{VN}(f)$  son las medias muestrales de  $VN^{(j)}(f, F)$  y  $VN^{(j)}(f)$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , respectivamente, entonces  $\overline{WN}(F) = \overline{VN}(f, F) - \overline{VN}(f)$  y

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \left[ VN^{(j)}(f, F) - \overline{VN}(f, F) \right]^2 &= \sum_{j=1}^n \left[ VN^{(j)}(f) - \overline{VN}(f) \right]^2 \\ &\quad + \sum_{j=1}^n \left[ WN^{(j)}(F) - \overline{WN}(F) \right]^2 \\ &\quad + 2 \sum_{j=1}^n \left[ VN^{(j)}(f) - \overline{VN}(f) \right] \left[ WN^{(j)}(F) - \overline{WN}(F) \right]. \end{aligned}$$

Equivalentemente, en términos de las varianzas muestrales

$$\begin{aligned} \text{Var}[VN(f, F)] &= \text{Var}[VN(f)] + \text{Var}[VN(F)] \\ &\quad + 2 \sum_{j=1}^n \left[ VN^{(j)}(f) - \overline{VN}(f) \right] \left[ WN^{(j)}(F) - \overline{WN}(F) \right]. \end{aligned}$$

Por lo tanto,  $\text{Var}[VN(f, F)] \leq \text{Var}[VN(f)]$  si y sólo si

$$\text{Var}[VN(F)] + \sum_{j=1}^n \left[ VN^{(j)}(f) - \overline{VN}(f) \right] \left[ WN^{(j)}(F) - \overline{WN}(F) \right] \leq 0.$$

Después de efectuar los productos dentro de la última sumatoria, se sigue inmediatamente el resultado establecido en el Teorema 1.

Referencias bibliográficas

- Aspe, P. A. (1993), *Economic Transformation: The Mexican Way*, Cambridge, Londres, MIT Press.
- Bjerkstrand, P. y G. Stensland (1993), "Closed-Form Approximation of American Options", *Scandinavian Journal of Management*, núm. 9, pp. 87-99.
- Bjork, T. (1999), *Arbitrage Theory in Continuous Time*, Oxford, Oxford University Press.
- Black, F., E. Derman y W. Toy (1990), "A One-Factor Model of Interest Rates and Its Applications to Treasury Bond Options", *Financial Analysts Journal*, enero-febrero, pp. 33-39.
- Bolsa Mexicana de Valores (1999), *Metodologías para la valuación de instrumentos de deuda y capitales*, México, Bolsa Mexicana de Valores.
- Calvo, G.A. y E.G. Mendoza (1996), "Mexico's Balance of Payments Crisis: A Chronicle of a Death Foretold", *Journal of International Economics*, núm. 41, pp. 235-264.
- (1996a), "Petty Crime and Cruel Punishment: Lessons from the Mexican Debacle", *American Economic Review*, núm. 86, pp. 170-175.
- Cárdenas, E. (1996), *La política económica en México, 1950-1994*, México, El Colegio de México-Fideicomiso Historia de las Américas-Fondo de Cultura Económica.
- Cox, J.C., J.E. Ingersoll y S. A. Ross (1985), "A Theory of the Term Structure of Interest Rates", *Econometrica*, núm. 53, pp. 385-407.
- Das, S. (ed.) (1997), *Risk Management and Financial Derivatives: A Guide to the Mathematics*, McGraw-Hill.
- Díaz-Tinoco J. y F. Hernández-Trillo (1996), *Futuros y opciones financieras: una introducción*, México, Limusa-BMV.
- Dornbusch, R., I. Goldfajn y R.O. Valdés (1995), *Currency Crisis and Collapses*, Brookings Papers on Economic Activity, núm. 2, pp. 219-293.
- Dornbusch, R. y A.M. Werner, (1994), *Mexico: Stabilization, Reform, and No Growth*, Brookings Papers on Economic Activity, núm. 1, pp. 253-315.
- Edwards, S. (1996), "Exchange-Rate Anchors, Credibility, and Inertia: A Tale of Two Crises, Chile and Mexico", *American Economic Review*, núm. 86, pp. 176-180.
- Feltestein, A. y A. Shah (1995), "General Equilibrium Effects of Investment Incentives in Mexico", *Journal of Development Economics*, núm. 46, pp. 253-269.

- Gil-Díaz, F. y A. Carstens, (1996), "Some Pilgrim Tales about Mexico's 1994-1995 Crisis", *American Economic Review*, núm. 86, pp. 164-169.
- González-Aréchiga, B., J. Díaz-Tinoco y F. Venegas-Martínez (2000), "Política fiscal y contratos de futuros: el caso de las personas físicas en México (simulación Monte Carlo y valuación binomial)", *Estudios Económicos*, El Colegio de México, vol. 15, núm. 29, pp. 3-36.
- González-Aréchiga, B., F. Venegas-Martínez y J. Díaz-Tinoco (2000), "Riesgo de tasas de interés e inmunización por duración y convexidad con futuros: análisis local y de valor en riesgo", *Investigación Económica*, Universidad Nacional Autónoma de México, vol. LX, núm. 233, pp. 72-112.
- Heath, D., R. Jarrow y A. Morton (1992), "Bond Pricing and the Term Structure of Interest Rates: A New Methodology", *Econometrica*, núm. 60, pp. 77-105.
- Ho, T.S.Y. y S.B. Lee (1986), "Term Structure Movements and Pricing Interest Rates Contingent Claims", *Journal of Finance*, núm. 41, pp. 1011-1029.
- Hull, J. y A. White (1990), "Pricing Interest Rate Derivative Securities", *Review of Financial Studies*, núm. 3, pp. 573-592.
- (1993), "One-Factor Interest Rate Models and the Valuation of Interest Rate Derivative Securities", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, núm. 28, pp. 235-254.
- Jorion, P. (1999), *Valor en riesgo*, México, Limusa-Noriega Editores.
- Kolb, R.W. (ed.) (1998), *Practical Reading in Financial Derivatives*, Blackwell Publishers.
- Manchón, F. (1999), "Repercusiones de la crisis financiera y capacidad de respuesta", *Comercio Exterior*, núm. 49, núm. 1, pp. 45-53.
- Márquez-Pozos, J.M., A. Islas-Camargo y F. Venegas-Martínez (2000), *Flujos internacionales de capital e inversión extranjera de cartera: el caso de México 1989-1999*, Documento de Investigación, Departamento de Estudios Económicos, El Colegio de la Frontera Norte.
- Nelson, C.R. y A.F. Siegel (1987), "Parsimonious Modeling of Yield Curves", *Journal of Business*, vol. 60, núm. 4, pp. 473-489.
- Reiner, E. y M. Rubinstein (1991), "Breaking Down the Barriers", *Risk Magazine*, vol. 4, núm. 8.
- Rendleman, R. y B. Bartter (1980), "The Pricing of Options on Debt Securities", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, vol. 15, pp. 11-24.
- Sachs, J.D., A. Tornell y A. Velasco (1996), "Financial Crisis in

Bernardo González-Aréchiga, Jaime Díaz Tinoco y Francisco Venegas-Martínez

- Emerging Markets: The Lessons from 1995”, *Brookings Papers on Economic Activity*, núm. 1, pp. 147-215.
- Schwartz, R.J. y C.W. Smith (1993), *Advanced Strategies in Financial Risk Management*, Prentice Hall.
- Solís, L. (2000), *La realidad económica mexicana*, México, Fondo de Cultura Económica,.
- Turnbull, S.M. y L.M. Wakeman (1991), “A Quick Algorithm for Pricing European Average Options”, *Journal Financial and Quantitative Analysis*, vol. 26, pp. 377-389.
- Vasicek, O.A. (1977), “An Equilibrium Characterization of the Term Structure”, *Journal of Financial Economics*, vol. 5, pp. 177-188.
- Venegas-Martínez, F. (2001), “Temporary Stabilization: A Stochastic Analysis”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, en prensa.
- (2000), “On Consumption, Investment, and Risk”, *Economía Mexicana, Nueva Época*, Centro de Investigación y Docencia Económicas, vol. IX, núm. 2, pp. 227-244.
- (2000a), “Aprendizaje, utilidad y estabilización”, *Gaceta de Economía*, ITAM, año 5, núm. 10, pp. 153-169.
- Venegas-Martínez, F. y B. González-Aréchiga (2000), “Mercados incompletos y su impacto en los programas de estabilización de precios: el caso mexicano”, *Momento Económico*, IIEC-UNAM, vol. 111, pp. 20-27.
- Werner, A.M. (1997), *Un estudio estadístico sobre el comportamiento de la cotización del peso mexicano frente al dólar y su volatilidad*, Documento de Investigación núm. 9701, Dirección General de Investigación Económica, Banco de México.
- Wilmott, P. (1998), *Derivatives: The Theory and Practice of Financial Engineering*, John Wiley & Sons.
- Zenios, S.A. (ed.) (1996), *Financial Optimization*, Cambridge University Press.