

POLÍTICA **AGRÍCOLA** Y **CONTRATOS DE FUTUROS:** UN **MODELO DE ARBITRAJE**

JAIME DÍAZ-TINOCO*
FRANCISCO VENEGAS-MARTÍNEZ**

Resumen

En este trabajo se desarrolla un modelo de equilibrio general, con previsión perfecta, para analizar las condiciones de arbitraje por la introducción de un mercado de futuros agrícolas en México. Bajo el supuesto de una economía pequeña y abierta en los mercados *spot* y de futuros, se examinan varios escenarios de arbitraje para el caso de México en términos de los costos intermedios de comercialización. Se determinan las regiones factibles de dichos costos para que las condiciones de equilibrio se cumplan en los mercados *spot* y de futuros tanto para la economía doméstica como para la economía del resto del mundo. Asimismo, se realizan ejercicios de estática comparativa sobre los efectos de un subsidio en el equilibrio. Finalmente, se proponen algunas recomendaciones en materia de política agrícola para eliminar las distorsiones y externalidades que aún persisten a pesar de los esfuerzos del gobierno federal en la eliminación del control de precios de los principales productos agrícolas.

Palabras clave: futuros sobre productos agrícolas, mercados financieros internacionales, equilibrio general.

Clasificación JEL: G13, G15, D50.

Recibido: 18 de junio de 2001.
Enviado a dictamen: 19 de junio de 2001.
Aceptado: 26 de julio de 2001.

Introducción

Un producto derivado es un instrumento financiero cuyo precio depende del valor de otra variable financiera (un activo, una tasa de interés, un índice bursátil, el precio de un bien, etc.). Dicha variable es también conocida como variable subyacente. Entre los productos derivados más importantes, por los volúmenes que se operan en el mercado, se encuentran los contratos adelantados (*forwards*), los contratos futuros, las opciones y los *swaps*. Los futuros, en particular, pueden ser utilizados como un medio para la formación eficiente de precios en el mercado de contado (*spot*) o como un medio de protección contra el riesgo sistemático asociado al mercado.

El creciente uso de los contratos a futuro sobre productos agrícolas para cubrir el riesgo de mercado se debe en gran medida a la flexibilidad que estos instrumentos proporcionan a sus usuarios para entrar y salir rápidamente del mercado debido a su liquidez y apalancamiento. Los futuros sobre bienes o productos físicos (*commodities*) tales como los productos agrícolas han sido utilizados desde hace muchos años (más de un siglo), pues permiten a los productores, compradores e intermediarios del bien subyacente administrar el riesgo de mercado con bajos costos de transacción. Mediante un contrato a futuro, las contrapartes se obligan a comprar o vender un producto agrícola en una fecha predeterminada y a un precio acordado en el momento en que se pacta el contrato. En la negociación de este tipo de contratos se contempla la posibilidad de que el bien, objeto del contrato, no sea entregado y que la liquidación se lleve a cabo mediante el pago de diferencias. Asimismo, el riesgo crédito de estos instrumentos es mínimo, o casi nulo, debido a la intermediación de una cámara de compensación que a cambio de una comisión actúa como contraparte de todas las partes (las cuales no necesariamente se conocen); situación que garantiza el cumplimiento de las obligaciones adquiridas

Los autores agradecen los valiosos comentarios de dos dictaminadores anónimos, así como las sugerencias de José Carlos Ramírez y Bernardo González-Aréchiga para mejorar sustancialmente el presente trabajo.

* Correspondencia: Av. Paseo de la Reforma 255, 3o. piso, Asigna, Compensación y Liquidación, 06500 México, D.F.

** Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Cd. de México.



por todos los participantes del mercado. En conclusión, los futuros sobre productos agrícolas son instrumentos que permiten a los productores, compradores e intermediarios de bienes agrícolas cubrir sus posiciones largas o cortas, en respuesta a sus expectativas económicas y financieras, para reducir el riesgo y la incertidumbre del mercado con costos bajos de transacción.

En México, la comercialización de productos agrícolas se ha llevado a cabo en ausencia de mercados organizados *spot* y de futuros. Durante muchos años, el gobierno federal, en conjunción con los gobiernos locales, creó instituciones para regular el proceso de comercialización de varios de los principales productos agrícolas. Recientemente, las autoridades encargadas de la vigilancia de dicho proceso han hecho varios esfuerzos encaminados hacia la desregulación del mismo. Sin embargo, las distorsiones del mercado persisten y no permiten la determinación eficiente de precios. La instalación de un mercado de futuros agrícolas estandarizados en México podría permitir la eliminación del control de precios para que sea el mercado el que determine los precios y cantidades, con precios futuros observables, en un ambiente de competitividad. En la actualidad, México cuenta con un mercado organizado y reconocido por las autoridades fiscales y financieras en el que se cotizan futuros financieros estandarizados. El siguiente paso es extender el mercado a futuros sobre bienes agrícolas por la enorme exposición al riesgo en este mercado y la imposibilidad de administrarlo a falta de un mercado de coberturas contra contingencias.¹

En los últimos años, el análisis financiero en México ha experimentado una serie de cambios y transformaciones profundas que han modificado la forma de diseñar portafolios con futuros. Vale la pena destacar los trabajos de: González-Aréchiga, Díaz-Tinoco y Venegas-Martínez (2000), (2001) y (2001a); González-Aréchiga, Venegas-

Martínez y Díaz-Tinoco (2000); Venegas-Martínez y González-Aréchiga (2001); Venegas-Martínez (2001d); Díaz-Tinoco (1997) y (1997a); y González-Aréchiga (1997). En este trabajo se desarrolla un modelo de equilibrio general con expectativas racionales, el cual proporciona un marco teórico para analizar las condiciones de no arbitraje por la introducción de un mercado de futuros de productos agrícolas en México. Bajo el supuesto de que México es una economía pequeña (precio aceptante) y abierta en los mercados *spot* y de futuros, se examinan varios escenarios de posibles arbitrajes en términos de los costos intermedios de comercialización. Para cada escenario, se determina la región a la que pertenecen dichos costos a fin de que las condiciones de equilibrio se cumplan simultáneamente en los mercados *spot* y de futuros tanto para la economía doméstica como para la economía del resto del mundo. Asimismo, en esta investigación se llevan a cabo ejercicios de estática comparativa sobre el efecto de un subsidio directo (visto como una variable exógena) en el equilibrio. Finalmente se proponen, a partir de nuestro análisis de arbitraje y a la luz de la realidad del campo mexicano, una serie de medidas y recomendaciones en materia de política agrícola, modestas pero altamente factibles (como el esquema de subsidios o apoyos directos, *i.e.* pagos por hectárea cultivada) que permitan eliminar, de una vez por todas, las distorsiones y externalidades que todavía persisten por la instrumentación, durante varias décadas, de un sistema de precios de garantía.

El presente trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la próxima sección se discute sobre la función económica, la operación del mercado y la determinación de precios de los futuros agrícolas. En la sección 3, se definen varios escenarios de arbitraje para analizar la factibilidad de un mercado de futuros de productos agrícolas en México. A lo largo de la sección 4, se determinan los costos intermedios de comercialización de equilibrio para los distintos escenarios de arbitraje. En la sección 5, se realizan ejercicios de estática comparativa cuando un subsidio es aplicado directamente al precio del producto. Finalmente, en la sección 6, se presentan las conclusiones, se establecen las limitaciones y ventajas de nuestro análisis y se mencionan algunas líneas de investigación futura.

¹ Sobre las consecuencias de mercados financieros incompletos en la economía mexicana véanse, por ejemplo, Márquez-Pozos, Islas-Camargo y Venegas-Martínez, (2001), Venegas-Martínez y González-Aréchiga (2000), y Venegas-Martínez (2001), (2000), (2000a), (2001e) y (1999).



El mercado de futuros

En esta sección se hace un planteamiento general sobre las funciones de un mercado de futuros, sobre su operación y sobre la formación de precios de estos instrumentos. Con este propósito, la presente sección se divide en tres apartados: futuros y aversión al riesgo; operación del mercado de futuros; y determinación de precios.

Futuros y aversión al riesgo

En ingeniería financiera, el postulado básico del análisis de portafolios es que entre activos con igual rendimiento promedio, los inversionistas prefieren aquéllos que estén expuestos a un menor riesgo. La disyuntiva entre riesgo y rendimiento induce a los agentes a combinar diferentes activos dentro de un portafolio, ya que la diversificación del portafolio reduce el riesgo. Además, el mercado de futuros disminuye los problemas de volatilidad de los precios ya que transfiere el riesgo inherente al precio del bien al ámbito financiero en donde el riesgo² es administrado en forma más eficiente. Por otra parte, los agentes que negocian con futuros y no efectúan operaciones comerciales con el producto subyacente son los llamados especuladores, quienes aceptan voluntariamente el riesgo que los productores no desean tomar. En resumen, los agentes económicos que acuden a los mercados de futuros lo hacen en busca de beneficios por el movimiento de los precios o para comprar un seguro contra pérdidas no anticipadas.

En lo referente a la eficiencia de los mercados de futuros, estos mercados sirven para reducir o compensar las fuentes potenciales de desequilibrio y/o ineficiencia del mercado de bienes ya que los precios futuros se hacen observables, con lo que el mercado *spot* encuentra su equilibrio más rápidamente y con una asignación más eficiente. En una economía que cuenta solamente con mercados *spot* es necesario reproducir varias veces la información relevante del mercado para que los agentes la incorporen en sus decisiones presentes y planes a futuro. En cambio, en una

economía que cuenta además con mercados de futuros se publica la información diaria sobre precios futuros (que puede ser privada) y de esta manera los agentes incorporan inmediatamente dicha información en sus decisiones presentes y futuras.³

Operación del mercado de futuros

En la comercialización de productos agrícolas, la incertidumbre sobre el comportamiento de los precios constituye la principal justificación de la existencia de los mercados de futuros. Mediante los contratos de futuros, las partes contratantes se obligan a comprar o vender bienes subyacentes, en una fecha especificada de antemano y a un precio acordado en el momento de la firma del contrato. El contrato está estandarizado, en el sentido de que en él se especifica claramente el bien en cuestión y sus características (especie, calidad, etc.), la fecha y el lugar de la entrega, así como el monto pactado. Claramente, la única variable en un contrato a futuro resulta ser el precio.

Para reducir la probabilidad de incumplimiento de las obligaciones adquiridas por las partes contratantes (conocido como riesgo crédito), toda transacción de compra-venta se lleva a cabo con la intermediación de una cámara de compensación: entidad financiera que actúa en forma centralizada como comprador de todos los vendedores y vendedor de todos los compradores. En resumen, la cámara de compensación es el intermediario que garantiza el cumplimiento de los contratos para todos los participantes.

En el momento en que se pacta un contrato, las contrapartes depositan en una cuenta una cantidad de dinero y/o su equivalente en valores, conocida como margen a favor de la cámara de compensación. Dicho margen típicamente comprende entre el 2% y el 10% del valor del contrato; el porcentaje está determinado por la volatilidad del precio del futuro. El margen tiene los siguientes fines:

² Para una demostración sencilla sobre este resultado véase Blake (1995).

³ Para una discusión más amplia sobre este tema véase, por ejemplo, Brennan y Schwartz (1989).



1. Sirve como garantía de cumplimiento del contrato de los participantes. Concretamente, el margen cumple la función de cubrir la pérdida potencial diaria de cada uno de los agentes.
2. Forma parte de un fondo de la cámara de compensación para atender la liquidación diaria de las ganancias realizadas o derivadas de la valuación a mercado de los contratos abiertos.

El margen inicial se deposita el mismo día en el que abre la posición. El monto acumulado por cliente en la cámara de compensación se anuncia durante el horario de remates y al término del mismo. Esta práctica permite a los participantes verificar la suficiencia de sus recursos durante el curso de las operaciones del mercado y antes de terminar la jornada, lo que les permite obtener liquidez en los casos en que sea necesario.

En el caso del comprador de futuros (también conocida como posición larga), se realiza una pérdida cuando el precio futuro del valor subyacente disminuye. Lo opuesto sucede para el vendedor (posición corta) de contratos. Cuando el precio futuro aumenta, la cámara de compensación transfiere diariamente de la cuenta del vendedor a la cuenta del comprador el importe de la diferencia entre los precios futuros y viceversa, según las condiciones del cierre del mercado, *i.e.*, lo que un agente gana el otro lo pierde en un juego de suma cero.

Un participante recibe una llamada de margen cuando el mercado se mueve en su contra. Esta llamada requiere que el participante reconstituya inmediatamente sus garantías hasta el nivel del depósito inicial. Por el contrario, si el mercado se mueve a su favor, el participante puede solicitar a la cámara de compensación que le sean pagadas sus ganancias. La cámara de compensación está facultada para emitir, además de las llamadas de margen de mantenimiento ordinarias, las llamadas de margen intradía que se constituyen con depósitos adicionales que exceden el margen inicial. Esta práctica se aplica solamente en casos de extrema volatilidad en el mercado de subyacentes.

Los contratos se pactan con una fecha de vencimiento determinada, pero es posible, y es lo que comúnmente sucede, que alguno de los agentes cancele su contrato, por medio del establecimiento de una postura compensatoria (contraria a la inicialmente abierta) antes de la fecha de vencimiento. En el momento en que el agente cancela su posición, la cámara de compensación le entrega el saldo que mantenga en su margen. Este saldo puede ser mayor o menor al margen entregado originalmente, lo que va a determinar la pérdida o la ganancia realizada por el agente. En el caso de que el valor de mercado de los valores depositados en la cuenta de margen rebase el margen de mantenimiento y no se realicen las aportaciones necesarias, los contratos que se mantengan abiertos son cerrados por la cámara de compensación a través de compras o ventas que dicha cámara realiza en el mercado mediante un proceso de intermediación.

Determinación del precio de los futuros

Después de describir brevemente cómo funciona un mercado de futuros, en esta sección se determina el precio al que se contrata un futuro. La especulación y el arbitraje son dos actividades relacionadas que tienen lugar en un mercado de futuros. El especulador entra al mercado con alguna posición, esperando obtener un beneficio por las variaciones en los precios. Generalmente, el especulador no tiene interés en los bienes subyacentes de los contratos a futuro, no es productor ni consumidor de tales bienes, solamente le interesa beneficiarse de los movimientos en los precios. El arbitraje, por otro lado, se define como una operación que consiste en realizar dos o más transacciones simultáneas en dos o más mercados, y cuyo propósito es el de obtener un beneficio libre de riesgo con una inversión igual a cero. El arbitraje ayuda a mantener alineados los mercados *spot*, de futuros y de crédito, contribuyendo a aumentar la eficiencia y liquidez de los tres mercados. Las transacciones que realiza un agente en un proceso de arbitraje son mutuamente financiadas, es decir, las posiciones cortas que adquiere en un mercado las financia con posiciones largas que abre en otro. Esto se puede ilustrar de manera sencilla con un ejemplo: considere un agente que en un mercado pide prestado una determinada cantidad de dinero para

comprar un bien, después lo mantiene en inventario y posteriormente lo vende en el mercado *spot* o a través de un futuro. Para cerrar su operación, al final paga el préstamo original más intereses y obtiene un beneficio positivo, sin que haya realizado alguna inversión. Las actividades de especulación y arbitraje, aunque son diferentes, se manejan de forma indistinta, y ambas juegan un papel importante tanto en el funcionamiento como en la determinación de precios de un mercado de futuros.

A continuación, vamos a ilustrar de manera sencilla cómo se determina el precio de un futuro utilizando costos de acarreo⁴ y condiciones de arbitraje. Para tal efecto, considere un bien cuyo precio en el mercado *spot*, al tiempo t , es de $S_t > 0$ unidades monetarias. Suponga también que los costos de almacenamiento, transporte, comercialización, seguros, mermas, etc., al tiempo t , están dados por c_t . Si la tasa de interés anual es $r > 0$ (que por simplicidad se supone constante) y se ha pactado el vencimiento del contrato a un año ¿Cuál debe ser el precio del futuro? Suponga, primero, que el precio del futuro es $P_t = S_t + c_t$ unidades monetarias. Con este precio una estrategia de arbitraje consiste en que, al tiempo t , se vende el bien, se invierte lo recibido por la venta del bien, por ejemplo en un pagaré con rendimiento liquidable al vencimiento, y se entra en un contrato a futuro. En este momento la inversión neta es cero. Después de un año se obtiene el principal de la inversión más los intereses y se compra el bien ejerciendo el contrato a futuro. Con estas operaciones se obtiene un beneficio, $P_t r = (S_t + c_t)r$, sin haber realizado inversión alguna. En conclusión, si el precio del futuro fuera P_t , se genera una oportunidad de arbitraje como el descrito y el participante obtendría un beneficio positivo, $P_t r$, sin haber realizado alguna inversión. Por lo tanto, con el precio propuesto, el mercado no estaría en equilibrio ya que algún inversionista además de tener el bien un año después, como lo establece el contrato, obtendría un beneficio positivo adicional. Es evidente que el precio no podría ser P_t ya que este es muy bajo. Supongamos ahora, por el contra-

rio, que el precio futuro es $Q_T > P_t (1 + r)$. En este caso, algún participante del mercado podría lograr un beneficio positivo, $Q_T - P_t (1 + r)$, sin realizar alguna inversión. Por lo tanto, el precio del futuro resultaría ser muy alto de acuerdo con el precio *spot* y la tasa de interés prevalecientes en sus respectivos mercados. El único precio que no permite realizar estrategias de arbitraje es $P_t (1 + r)$. Dado que el precio del futuro, $F_{t,T}$, debe de ser tal que mantenga el mercado en equilibrio, entonces éste se determina mediante

$$F_{t,T} = P_t [1 + r (T - t)],$$

donde $T - t$ es el periodo en que se pacta el contrato, medido en fracciones de año. Podemos notar aquí que mediante la tasa de interés se está considerando el valor del dinero en el tiempo. Si suponemos que la tasa de interés es continuamente capitalizable, entonces el precio a futuro del bien en cuestión queda dado por:⁵

$$F_{t,T} = P_t e^{r(T-t)}$$

En un marco más general, suponga que la dinámica de P_t es conducida por un movimiento browniano geométrico definido por

$$dP_t = \mu P_t dt + \sigma P_t dW_t,$$

en donde el parámetro de tendencia, μ representa la media esperada del cambio porcentual en P_t ; σ es la volatilidad instantánea esperada del cambio porcentual en P_t ; y $(W_t)_{t \geq 0}$ es un proceso de Wiener con $E[dW_t] = 0$ y $\text{Var}[dW_t] = E[dW_t^2] = \alpha dt$. En este caso, la aplicación del lema de Itô⁶ conduce a que

$$dF_{t,T} = (\mu - r)F_{t,T} dt + \alpha F_{t,T} dW_t$$

⁵ La aplicación de estas fórmulas, con futuros sobre energéticos, en la simulación de la renta petrolera han sido utilizadas en Venegas-Martínez (2001c).

⁶ Una explicación sencilla sobre el lema de Itô puede encontrarse en Díaz-Tinoco y Hernández-Trillo, (2000).

⁴ El costo de acarreo incluye todos los costos en los cuales se incurre para mantener un bien durante algún tiempo, para después ser vendido en una fecha futura.



Es decir, el proceso estocástico que guía la dinámica del precio del futuro tiene ahora un cambio de tendencia, pero la misma volatilidad instantánea. Los parámetros de la ecuación anterior reflejan las expectativas y condiciones del mercado.⁷ Si además al proceso de difusión de P_t se le agrega una componente de saltos de Poisson, de tal forma que el movimiento Browniano geométrico modela cambios pequeños en el precio del subyacente, los cuales siempre están presentes, y el proceso de Poisson modela cambios extremos e inesperados en el precio del subyacente, los cuales ocasionalmente ocurren, entonces la dinámica del comportamiento de P_t y la valuación del contrato a futuro serían más realistas.⁸ Este tipo de procesos combinados es de gran utilidad en el modelado de colas pesadas y en el análisis de valores extremos.⁹ Más formalmente, considere un proceso estocástico dq_t que satisface:

$$\Pr \{ \text{un salto de tamaño } 1 \text{ durante } dt \} = \Pr \{ dq_t = 1 \} = \lambda dt + o(dt),$$

mientras que

$$\Pr \{ \text{ningún salto durante } dt \} = \Pr \{ dq_t = 0 \} = 1 - \lambda dt + o(dt),$$

en donde $o(dt) \rightarrow 0$ cuando $dt \rightarrow 0$. Es decir, existe una probabilidad finita de que ocurra un salto en un tiempo finito. Note que en este caso, $E [dq_t] = \lambda dt$ y $\text{Var}[dq_t] = \lambda dt$. El parámetro λ es conocido como la intensidad del proceso de Poisson y define el número medio esperado de saltos por unidad de tiempo. El proceso de Poisson

⁷ Sobre la incorporación de información *a priori* sobre expectativas y condiciones del mercado en los parámetros, en un contexto Bayesiano, se encuentra el trabajo de Venegas-Martínez (2001b). Métodos de construcción de distribuciones *a priori* que describen información adicional sobre expectativas se encuentran disponibles en Venegas-Martínez, de Alba y Ordorica-Mellado (1999) y (1995), y Venegas-Martínez (1997), (1992), (1993), (1990), (1990a) y (1990b).

⁸ La incorporación del proceso de Poisson para modelar los movimientos extremos en los precios de los productos agrícolas es muy realista debido a que la producción está sujeta a eventos climáticos que pueden provocar movimientos bruscos e inesperados del mercado.

⁹ Otros modelos de cobertura contra volatilidad extrema que utilizan procesos de difusión con saltos, aplicados al mercado de capitales mexicano, se encuentran en Venegas-Martínez (2001a).

puede ser incorporado en un modelo de difusión de un subyacente P_t de la siguiente forma:

$$dP_t = \mu P_t dt + \sigma P_t dW_t + \nu P_t dq_t,$$

Se supone que los procesos dW_t y dq_t no están relacionados entre sí. Si hay un salto, es decir, si $dq_t = 1$ entonces P_t inmediatamente toma el valor $P_t(1 + \nu)$, con lo que se puede modelar un incremento brusco en el cambio porcentual de P_t . Se puede suponer además que ν , el tamaño del salto, es también una variable aleatoria independiente de dW_t y dq_t . Finalmente, note que el proceso estocástico asociado a la tasa de crecimiento de P_t , $\log(P_t)$, satisface

$$d \log (P_t) = (\mu - (1/2)\sigma^2)dt + \sigma dW_t + \log (1 + \nu)dq_t,$$

lo cual es, de nuevo, una aplicación del lema de Itô cuando el proceso de difusión presenta saltos. Observe también que en este caso,

$$P_t = P_0 \exp \left\{ (\mu - (1/2)\sigma^2)dt + \sigma \int_0^t dW_s + \log(1+\nu) \int_0^t dq_s \right\}$$

Es decir, la tasa de crecimiento, $d \log (P_t)$, puede tomar valores positivos y negativos, y el nivel en el precio, P_t , se mantiene siempre positivo. Si P_t sigue un proceso de difusión con saltos, entonces el precio del futuro sigue también un proceso de difusión con saltos definido por:

$$dF_{t,T} = (\mu - r)F_{t,T}dt + \sigma F_{t,T}dW_t + \nu F_{t,T}dq_t,$$

Finalmente, si la estructura intertemporal de la tasa de interés es también modelada con un proceso Markoviano de difusión, digamos,¹⁰

$$dr_t = ar_t dt + \beta r_t dU_t$$

¹⁰ Un estudio detallado sobre de valuación de futuros con tasa de interés estocástica se tiene en Venegas-Martínez y González-Aréchiga (2001).



donde U_t es un proceso de Wiener estandarizado e independiente de v , dW_t y dq_t , entonces la aplicación del lema de Itô conduce a:

$$dF_{t,T} = [\mu - r + (T-t)ra + (T-t)^2r^2\beta^2]F_{t,T}dt + \sigma F_{t,T}dW_t + vF_{t,T}dq_t + (T-t)\beta r F_{t,T}dU_t$$

Es decir, la tendencia física del proceso que guía el precio del futuro depende ahora del plazo y del factor de riesgo inherente a la estructura intertemporal de la tasa de interés. Así pues, se han presentado varios esquemas de precios teóricos para un contrato a futuro que pueden ser utilizados dependiendo de la información disponible de P_t , de la dinámica de r y de las expectativas y condiciones del mercado.

Análisis de relaciones de arbitraje por la introducción de un mercado de futuros en México

Después de describir brevemente el funcionamiento de un mercado de futuros y la determinación de precios de estos instrumentos, se examinan ahora los posibles escenarios de arbitraje que se presentarían con la operación de un mercado de futuros agrícolas en México. Para un análisis completo de las posibles relaciones de arbitraje se supone que existen dos economías y cuatro mercados, a saber, un mercado de futuros sobre productos agrícolas doméstico (en el país) y otro en el resto del mundo, así como un mercado *spot* doméstico (el mexicano) y el del resto del mundo (el exterior). Las variables asociadas a la economía del resto del mundo se denotarán con un asterisco. Nuestro modelo se basa en los siguientes supuestos:

1. La economía doméstica es pequeña y abierta en los mercados *spot* y de futuros.
2. Los mercados de futuros son perfectos, es decir, no existen costos de transacción (comisiones o impuestos).
3. No existen *spreads* de compra-venta en los mercados de futuros.

4. En los mercados *spot* y de futuros es siempre posible comprar o vender cualquier cantidad del bien subyacente.

5. Los mercados *spot* y de futuros son continuos.

6. Las estructuras de plazos de la tasa de interés, tanto para la economía doméstica como para la del resto del mundo, son constantes.

7. El mercado de futuros de tipo de cambio es perfecto.

8. Los agentes tienen previsión perfecta, y dado que el modelo es determinista, las expectativas son racionales.

Con base en lo anterior, se tiene que los precios de los futuros, al tiempo $t = 0$, para cada uno de los mercados están dados, respectivamente, por:

$$F_{0,T} = (S_0 + c_0)e^{rT} \quad [1]$$

y

$$F_{0,T}^* = (S_0^* + c_0^*)e^{r^*T} \quad [2]$$

Aquí, las variables del lado derecho de [1] y [2] se definen como en la sección anterior. También, vamos a suponer que los contratos a futuro de tipo de cambio se pactan con una tasa de apreciación dada por:¹¹

$$d_{0,T} = d_0 e^{(r-r^*)T}$$

donde $d_{0,T}$ es el tipo de cambio al tiempo T ; d_0 es el tipo de cambio, al tiempo $t = 0$, momento en que se pacta el contrato de futuros; y, finalmente, r y r^* son las tasas de interés (nominal) de México y del exterior de plazo T , respectivamente. Por lo tanto, el precio en términos de

¹¹ Véase, al respecto, Díaz-Tinoco y Hernández-Trillo (2000).



pesos, $G_{0,T}^*$, del futuro en el mismo periodo T , en el mercado internacional, está dado por:

$$G_{0,T}^* = d_{0,T} V_0^* e^{r^* T} = d_0 e^{(r-r^*)T} V_0^* e^{r^* T}$$

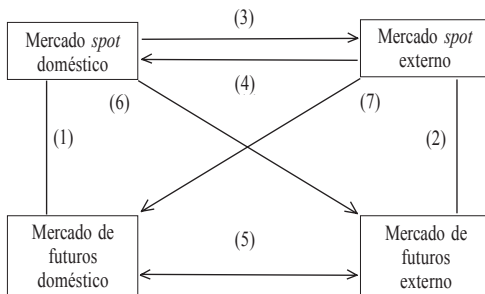
donde, como antes, $V_0^* = S_0^* + c_0^*$. Equivalentemente,

$$G_{0,T}^* = d_0 V_0^* e^{r^* T}$$

Si se comparan los precios de los dos contratos de futuro en [1] y [2], se observa que a través del tiempo ambos evolucionan de la misma forma debido a la dinámica del tipo cambio y al supuesto de que los agentes tienen previsión perfecta sobre los precios futuros.

Con los supuestos planteados sobre los mercados de futuros y *spot* y de un mercado perfecto de tipo de cambio a futuros, el esquema de nuestro análisis se presenta en el cuadro 1. En dicho cuadro, se identifican las posibles estrategias de arbitraje entre los cuatro mercados. Las flechas señalan los mercados involucrados en cada uno de los posibles procesos de arbitraje. Por ejemplo, la relación [6] representa una posibilidad de arbitraje que involucra transacciones simultáneas en el mercado *spot* de México y en el mercado de futuros del exterior. Así pues, se identifican siete procesos de arbitraje, indicados con los números que aparecen entre paréntesis en el cuadro 1.

Cuadro 1
Relaciones de arbitraje entre los mercados *spot* y de futuros



Si los precios de los futuros en ambas economías están dados por las expresiones [1] y [2], la posibilidad de generar una oportunidad de arbitraje se elimina si:

- A. un agente pide prestado para comprar el bien en el mercado *spot*,
- B. lo almacena,
- C. lo vende por medio de un contrato de futuros y
- D. paga el préstamo más intereses.

Si ahora consideramos los mercados *spot* de México y del exterior, así como los mercado de futuros de ambos países, y se lleva a cabo la siguiente estrategia:

- A. se pide un préstamo en efectivo en el exterior a la tasa de interés corriente,
- B. se compra en el mercado *spot* del exterior el bien en cuestión y
- C. se importa a México y se vende el bien referido en el mercado *spot*,

entonces se pueden generar oportunidades de arbitraje en el mercado *spot*. Para que esta situación no se presente, las siguientes desigualdades, entre los precios *spot* de México y del exterior, tienen que cumplirse:

$$S_0 \leq d_0 S_0^* (1 + I_0^*) \quad [3]$$

y

$$d_0 S_0^* \leq S_0 (1 + I_0) \quad [4]$$

donde I_0^* son los costos de importación libres de subsidios del exterior hacia México, al tiempo $t = 0$. Estos costos están compuestos por aranceles, transporte, seguros, mermas, etc. De la misma manera, I_0 , representa los costos de exportación de México hacia el exterior, y están



compuestos por los mismos factores antes mencionados (y también son libres de subsidios e impuestos). Observe que, de hecho, las ecuaciones [3] y [4] definen un rango de variación para S_0^* en términos de S_0 dado por:

$$S_0 \leq d_0 S_0^* (1+I_0^*) \leq S_0 (1+I_0) (1+I_0^*)$$

Con las desigualdades [3] y [4] es posible generar oportunidades de arbitraje realizando importaciones o exportaciones. También, podría ser posible realizar un beneficio libre de riesgo con inversión cero, mediante un arbitraje entre los mercados de futuros. Esto ocurre cuando el precio del futuro en el exterior es mayor que el precio del futuro en México, es decir,

$$d_{0,T} F_{0,T}^* \geq F_{0,T}$$

con la anterior desigualdad es posible negociar la estrategia de arbitraje que se describe a continuación:

- A. Entrar en un contrato de futuros de compra en México.
- B. Entrar en un contrato de futuros de venta en el exterior.
- C. Comprar el producto a futuro por medio del contrato pactado.
- D. Vender el producto, mediante el contrato de futuros pactado.

Realizando, primero, en forma simultánea las transacciones A y B, y después de un tiempo las operaciones C y D, el beneficio obtenido libre de riesgo, sin inversión alguna, sería precisamente la diferencia entre los precios de los contratos futuros de México y del exterior. Para evitar esta situación, los precios de los futuros de los dos mercados tienen que cumplir la siguiente igualdad:

$$F_{0,T} = d_{0,T} F_{0,T}^* = G_{0,T}^* \quad [5]$$

Existen otras dos posibilidades de arbitraje entre el mercado *spot* de un país y el mercado de futuros de otro país; ver flujos (6) y (7) en el cuadro 1. Suponga que un agente realiza las siguientes operaciones:

- A. Pide un préstamo efectivo en el exterior a la tasa de interés vigente.
- B. Compra en el mercado *spot* del exterior el bien en cuestión.
- C. Entra en un contrato de futuros de México.
- D. Almacena en el exterior hasta la fecha de vencimiento del contrato de futuros y hace la entrega a través de éste en el mercado mexicano.

Por lo tanto, si el precio del futuro en México es mayor que el precio *spot* del exterior, más los costos de acarreo y de importación al vencimiento del contrato, el agente obtendrá un beneficio libre de riesgo cuando

$$F_{0,T} \geq d_{0,T} V_0^* e^{r^* T} + d_{0,T} S_T^* I_T^*$$

La misma situación se puede presentar en sentido inverso, es decir, el precio del futuro en el exterior es suficientemente alto como para cubrir los costos mencionados para un producto mexicano en el país que después será entregado a través de un futuro en el exterior. Para excluir este tipo de estrategias, los precios de los futuros tienen que cumplir simultáneamente las siguientes condiciones

$$F_{0,T} = d_{0,T} V_0^* e^{r^* T} + d_{0,T} S_T^* I_T^* \quad [6]$$

y

$$d_{0,T} F_{0,T}^* = V_0 e^{rT} + S_T I_T \quad [7]$$



Una vez establecidas las relaciones de arbitraje (1)-(7), en la siguiente sección nos concentraremos en la caracterización del equilibrio.

Análisis de escenarios de arbitraje

En esta sección con base en las relaciones de arbitraje entre los cuatro mercados se definen cuatro escenarios en las variables de interés. Estos escenarios (o vías de potencial arbitraje) conducen a cuatro sistemas de ecuaciones. Cada sistema de ecuaciones se resuelve en los costos intermedios de comercialización a fin de determinar la región de equilibrio entre los cuatro mercados. En dichas regiones de equilibrio no existen posibilidades de realizar arbitrajes de manera permanente. La Tabla 1 resume las vías de arbitraje de cada uno de los cuatro escenarios. En los escenarios I y II el mercado dominante es el de futuros del exterior, lo cual es un supuesto realista, ya que en el exterior se encuentran los mercados de futuros que fijan el precio de la mayoría de productos agrícolas comercializados por medio de estos instrumentos; tal es el caso, por ejemplo, de las bolsas estadounidenses de futuros de granos. En los escenarios III y IV el mercado *spot* del exterior se supone como dominante. Es decir, México es tomador de precios en el mercado *spot* de productos agrícolas; lo cual es cierto incluso en productos que produce para la exportación, como en el caso de las hortalizas.

Tabla 1
Relaciones entre los mercados *spot* y de futuros y las vías de arbitraje en cada uno de los posibles escenarios

<i>Escenario</i>	<i>País donde se realiza la compra spot y el acarreo</i>	<i>País donde se lleva la venta a través de futuros</i>	<i>Vías de posibles arbitrajes</i>
I	Exterior	México	(2) → (3), (5) → (1)
II	México	Exterior	(2) → (3), (7)
III	Exterior	México	(3), (2) → (5) → (1)
IV	México	Exterior	(3), (6) → (1)

A continuación se resuelve cada uno de los escenarios en las variables predeterminadas.

Escenario I (el mercado de futuros del exterior es dominante)

En este apartado se considera al mercado de futuros del exterior como dominante. Las posibilidades de arbitraje, utilizando el mercado *spot* de México, pueden presentarse a través dos vías (ver cuadro 1). La primera está definida por las ecuaciones [2] y [3], y la segunda por las ecuaciones [5] y [1]. El mecanismo de ajuste de la primera vía es el siguiente:

- a) la ecuación [2] que elimina la posibilidad de arbitraje entre los mercados *spot* y de futuros del exterior y
- b) la ecuación [3] que expresa la condición de no importación.

Una vez resuelto este sistema, se obtienen las condiciones que debe cumplir el precio *spot* en México. Así, en esta primera vía, se deben satisfacer las condiciones impuestas por las ecuaciones [2] y [3]. La segunda vía involucra las condiciones [5] y [1]. En este caso, el precio determinante es $F_{0,T}^*$, y el proceso de arbitraje se da a través de:

- a) la ecuación [5], con la que se eliminan las posibilidades de un arbitraje entre mercados de futuros, y
- b) la ecuación [1], con la que se elimina la posibilidad de obtener un beneficio, libre de riesgo, realizando un arbitraje entre mercados *spot* y de futuros de México.

El análisis de la primera vía consiste en resolver el sistema de ecuaciones resultantes del flujo (2) → (3), o equivalentemente

$$F_{0,T}^* = (S_0^* + c_0^*) e^{r \cdot T}$$

y

$$S_0 \leq d_0 S_0^* (1 + I_0^*)$$



A partir de la primera condición, se obtiene $S_0^* = F_{0,T}^* e^{-r^*T} - c_0^*$. Al sustituir este resultado en la segunda condición se sigue que:

$$S_0 \leq d_0 (F_{0,T}^* e^{-r^*T} - c_0^*) (1 + I_0^*) \quad [8]$$

La expresión [8] es la condición que debe satisfacer el precio *spot* del producto mexicano para evitar algún arbitraje si se sigue la vía: mercado de futuros del exterior → mercado *spot* de México. Para el desarrollo de la segunda vía, (5) → (1), se consideran las siguientes dos ecuaciones:

$$F_{0,T} = d_{0,T} F_{0,T}^*$$

y

$$F_{0,T} = (S_0 + c_0) e^{rT}$$

Al igualar $F_{0,T}^*$ en las dos expresiones anteriores y sustituir la dinámica del tipo de cambio, $d_{0,T} = d_0 e^{(r-r^*)T}$, se sigue que:

$$S_0 = d_{0,T} F_{0,T}^* e^{-rT} - c_0 = d_0 F_{0,T}^* e^{-r^*T} - c_0 \quad [9]$$

La expresión [9] es, simplemente, la condición que se debe cumplir para evitar arbitrajes a través de la vía: mercado de futuros exterior → mercado de futuros de México. Si consideramos las condiciones [8] y [9] en forma conjunta, se llega a la siguiente expresión:

$$d_0 F_{0,T}^* e^{-r^*T} - c_0 \leq d_0 (F_{0,T}^* e^{-r^*T} - c_0^*) (1 + I_0^*), \quad [10]$$

la que, a su vez, define la siguiente relación entre c_0 y c_0^* :

$$R_{11} : c_0 \geq d_0 F_{0,T}^* e^{-r^*T} [1 - (1 + I_0^*)] + d_0 c_0^* (1 + I_0^*) \quad [11]$$

La frontera de R_{11} está determinada por la recta $c_0 = \beta_{11} + \alpha_{11} c_0^*$, donde la ordenada al origen está dada por $\beta_{11} = -d_0 F_{0,T}^* e^{-r^*T} I_0^* < 0$ y la pendiente por $\alpha_{11} = d_0 (1 + I_0^*) > 0$. Debido a que en los mercados *spot* es posible realizar un arbitraje en ambos sentidos, es decir, importando y/o exportando, y dado que hasta ahora solamente se ha considerado la condición de no importación, es necesario cerrar ambas vías mediante la incorporación de la condición de no exportación. Esto es, se debe considerar la condición [4], a partir de la cual se obtiene que:

$$S_0 \geq d_0 S_0^* (1 + I_0)^{-1}$$

Utilizando esta última expresión y la condición [9], se sigue que

$$d_0 F_{0,T}^* e^{-r^*T} - c_0 \geq d_0 S_0^* (1 + I_0)^{-1}$$

Después de resolver [2] para S_0^* y sustituir el resultado en la condición anterior, se genera la siguiente desigualdad:

$$R_{12} : c_0 \leq d_0 F_{0,T}^* e^{-r^*T} [1 - (1 + I_0)^{-1}] + d_0 c_0^* (1 + I_0)^{-1} \quad [12]$$

En este caso, la frontera de R_{12} está determinada por la recta $c_0 = \beta_{12} + \alpha_{12} c_0^*$ donde la ordenada al origen está dada por $\beta_{12} = d_0 F_{0,T}^* e^{-r^*T} [1 - (1 + I_0)^{-1}] > 0$. y la pendiente por $\alpha_{12} = d_0 (1 + I_0)^{-1} > 0$. Note además que $\alpha_{11} \alpha_{12} / d_0^2 = 1$. El punto de intersección de las rectas asociadas a [11] y [12] satisface

$$\hat{c}_0^* = \frac{\beta_{11} - \beta_{12}}{\alpha_{12} - \alpha_{11}} = F_{0,T}^* e^{-r^*T} > 0$$

y



$$\hat{c}_0 = \frac{\alpha_{12}\beta_{11} - \alpha_{11}\beta_{12}}{\alpha_{12} - \alpha_{11}} = d_0 F_{0,T}^* e^{-r^* T} > 0$$

Así pues, las expresiones [11] y [12] deben cumplirse simultáneamente para que exista un equilibrio en los cuatro mercados. Dado que se trata de desigualdades, éstas definen, junto con las restricciones, $c_0 \geq 0$ y $c_0^* \geq 0$, una región dentro de la cual se encuentran los costos intermedios de comercialización de equilibrio entre los mercados. En la gráfica 1, el área sombreada representa la región de variación de los costos intermedios de comercialización, c_0 y c_0^* , los cuales permiten un equilibrio viable de los cuatro mercados. Tres áreas más se identifican en la gráfica 1. En la región *A*, la existencia de un mercado de futuros en México no sería posible, ya que se estaría dejando de cumplir la condición [12]. Esto implica que se estarían generando oportunidades arbitraje por medio de exportaciones y todas las transacciones de productos agrícolas entre México y el exterior se estarían realizando entre los mercados *spot*. En la región *B*, la condición [11] no se cumple, lo que implica que se podrían generar oportunidades de arbitraje entre los mercados de futuros; realizando compras *spot* en el exterior y haciendo ventas a través del mercado de futuros en México. Esto genera un desbalance entre la oferta y la demanda, es decir, tendríamos un mercado *spot* en México con exceso de oferta. En la región *C* ninguna de las dos con-

diciones se cumple, lo que daría un desequilibrio entre oferta y demanda de los mercados. Esto provocaría que la especulación y el arbitraje se desarrollen con la consecuencia de que los mercados de futuros no cumplan su función de proteger contra la incertidumbre en precios a productores y consumidores.

Escenario II (el mercado de futuros del exterior es dominante)

En este segundo escenario, como en el primero, se adopta el supuesto de que el mercado de futuros del exterior es el dominante. La primera vía de arbitraje se presenta igual que en el primer escenario: mercado de futuros exterior → mercado *spot* exterior → mercado *spot* mexicano. La segunda vía se da por medio de la ecuación [7] (ver cuadro 1). Es decir, a través del mercado *spot* mexicano. La vía: mercado de futuros del exterior → mercado *spot* mexicano, presenta la siguiente posibilidad de realizar un arbitraje: se compra y se mantiene en México el producto para después ser entregado, por medio de un contrato de futuros, en el exterior. Para evitar esta posibilidad, se debe cumplir la condición impuesta por la ecuación [7], a saber,

$$d_{0,T} F_{0,T}^* = (S_0 + c_0) e^{rT} + S_T I_T$$

de donde se obtiene

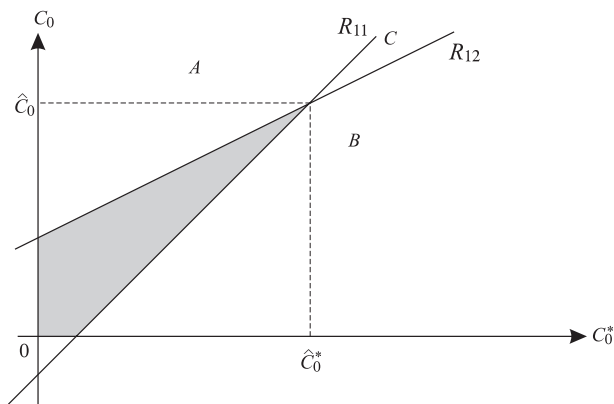
$$S_0 = (d_{0,T} F_{0,T}^* - S_T I_T) e^{-rT} - c_0 \tag{13}$$

Por otro lado, a partir de la primera vía, se encontró en [8] que:

$$S_0 \leq d_0 (F_{0,T}^* e^{-r^* T} - c_0^*) (1 + I_0^*)$$

En consecuencia, al considerar [8] y [13] y resolverlas simultáneamente, encontramos una relación entre costos intermedios de comercialización de México y del exterior.

Gráfica 1
Región de equilibrio de los costos intermedios de comercialización en el escenario I



Esta relación, representa la condición bajo la cual no sería posible algún arbitraje por medio de las dos vías señaladas y está dada por:

$$R_{21}: c_0 \geq -d_0 F_{0,T}^* e^{-r^* T} I_0^* - S_T I_T e^{-r T} + d_0 c_0^* (1 + I_0^*) \quad [14]$$

La frontera de R_{21} está determinada por la recta, $c_0 = \beta_{21} + \alpha_{21} c_0^*$ donde la ordenada al origen está dada por $\beta_{21} = -(d_0 F_{0,T}^* e^{-r^* T} I_0^* + S_T I_T e^{-r T}) < 0$ y la pendiente por $\alpha_{21} = d_0 (1 + I_0^*) > 0$. En este escenario, al igual que en el anterior, es necesario incorporar la condición [4] para eliminar posibles arbitrajes mediante exportaciones. Por lo tanto,

$$S_0 \geq d_0 S_0^* (1 + I_0)^{-1}$$

Así, al utilizar la expresión [13] junto con [2], se tiene que

$$R_{22}: c_0 \leq d_0 F_{0,T}^* e^{-r^* T} [1 - (1 + I_0)^{-1}] - S_T I_T e^{-r T} + c_0^* d_0 (1 + I_0)^{-1} \quad [15]$$

Ahora, la frontera de R_{22} está determinada por la recta, $c_0 = \beta_{22} + \alpha_{22} c_0^*$ donde la ordenada al origen está dada por $\beta_{22} = d_0 F_{0,T}^* e^{-r^* T} [1 - (1 + I_0)^{-1}] - S_T I_T e^{-r T}$ cuyo signo es ambiguo, y la pendiente por $\alpha_{22} = d_0 (1 + I_0)^{-1} > 0$. Note que al igual que en el escenario I, $\alpha_{21} \alpha_{22} / d_0^2 = 1$. El punto de intersección de las líneas asociadas a [14] y [15] satisface

$$\hat{c}_0^* = \frac{\beta_{21} - \beta_{22}}{\alpha_{22} - \alpha_{21}} = F_{0,T}^* e^{-r^* T} > 0$$

y

$$\hat{c}_0 = \frac{\alpha_{22} \beta_{21} - \alpha_{21} \beta_{22}}{\alpha_{22} - \alpha_{21}} = d_0 F_{0,T}^* e^{-r^* T} - S_T I_T e^{-r T}$$

Observe ahora que, en virtud de [7], se tiene que

$$(d_{0,T} F_{0,T}^* - S_T I_T) e^{-r T} = S_0 + c_0 > 0, \quad [13]$$

lo que, a su vez, implica que $F_{0,T}^* e^{-r^* T} - S_T I_T e^{-r T} > 0$. En consecuencia,

$$\hat{c}_0 = \frac{\alpha_{22} \beta_{21} - \alpha_{21} \beta_{22}}{\alpha_{22} - \alpha_{21}} = F_{0,T}^* e^{-r^* T} - S_T I_T e^{-r T} > 0$$

La representación gráfica de las relaciones [14] y [15], con $\beta_{22} > 0, c_0 \geq 0$, y $c_0^* \geq 0$, es semejante a la región de la gráfica 1, excepto que la recta asociada a R_{22} ocupa el lugar de la recta de R_{11} y la recta en R_{21} ocupa el lugar de la recta en R_{12} . El lector puede comprobar que cuando $\beta_{22} < 0$, también se genera una región factible, no vacía, ya que $\hat{c}_0 \geq 0$ y $\hat{c}_0^* \geq 0$. En la región A , no se cumple la condición [15] y no sería posible la existencia de un mercado de futuros en México, pues existen oportunidades de realizar arbitrajes por medio de exportaciones por lo que el comercio entre México y el exterior se daría a través de los mercados *spot*. En la región B , no se cumple la condición [14]. En este caso, el desarrollo de un mercado de futuros en México sería muy factible por las posibilidades de arbitraje que se presentarían, pero sería igualmente probable que se utilizara principalmente para realizar operaciones de posiciones cortas de productos que serían comprados y almacenados en el exterior. Finalmente, en la región C , no se cumplen las condiciones derivadas de los procesos de arbitraje del segundo escenario y las mismas conclusiones que en el escenario I son válidas.

Escenario III (el mercado *spot* del exterior es dominante)

En este escenario se supone que el mercado dominante es el mercado *spot* del exterior. Se identifican, de acuerdo con el cuadro 1, dos vías por las cuales sería posible realizar algún arbitraje utilizando tanto el mercado *spot* del exterior como el de México, y/o alguno de los dos merca-



dos de futuros. La primera vía definida por: mercado *spot* exterior → mercado *spot* mexicano, impone la condición planteada en la ecuación [5]. Con esta condición se evita que exista un arbitraje a través de importaciones financiadas con algún crédito a la tasa de interés corriente. Así, tenemos de la ecuación [3] que

$$S_0 \leq d_0 S_0^* (1 + I_0^*)$$

La segunda vía: mercados *spot* exterior → mercado de futuros mexicano → mercado *spot* mexicano, está determinada de acuerdo al siguiente flujo (2) → (5) → (1) del cuadro 1, lo que nos lleva al siguiente sistema de tres ecuaciones:

$$\begin{aligned} F_{0,T}^* &= (S_0^* + c_0^*) e^{r^* T}, \\ F_{0,T} &= d_{0,T} F_{0,T}^* \end{aligned}$$

y

$$F_{0,T} = (S_0 + c_0) e^{rT}$$

A partir de la segunda y tercera, se sigue que

$$d_{0,T} F_{0,T}^* = (S_0 + c_0) e^{rT}$$

Asimismo, al utilizar la expresión anterior y la primera ecuación del sistema, se llega a:

$$d_{0,T} (S_0^* + c_0^*) e^{r^* T} = (S_0 + c_0) e^{rT}$$

Por lo tanto,

$$S_0 = d_{0,T} (S_0^* + c_0^*) e^{(r^* - r)T} - c_0 \quad [16]$$

Ahora, si se consideran las dos condiciones que se derivaron de las dos vías señaladas es decir [3] y [16], se tiene que:

$$d_0 (S_0^* + c_0^*) - c_0 \leq d_0 S_0^* (1 + I_0^*)$$

De donde se obtiene la siguiente desigualdad:

$$R_{31}: c_0 \geq -d_0 S_0^* I_0^* + c_0^* d_0 \quad [17]$$

En este caso, la frontera de R_{31} está determinada por la recta $c_0 = \beta_{31} + \alpha_{31} c_0^*$, donde la ordenada al origen está dada por $\beta_{31} = -d_0 S_0^* I_0^* < 0$, y la pendiente por $\alpha_{31} = d_0 > 0$. De igual forma que en los escenarios anteriores, falta considerar la posibilidad de un arbitraje a través de exportaciones, por lo que es necesario incorporar la condición [4]. Por lo tanto, la desigualdad que se debe cumplir en este caso es:

$$d_0 S_0^* \leq S_0 (1 + I_0^*)$$

Por otro lado, al resolver [4] y [16] simultáneamente, se tiene la siguiente desigualdad:

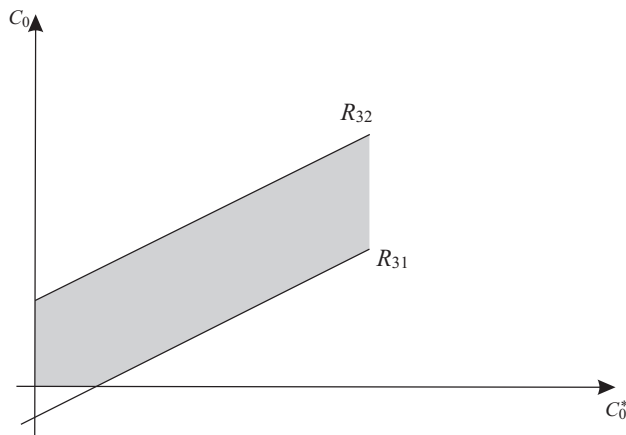
$$R_{32}: c_0 \leq d_0 S_0^* [1 - (1 + I_0^*)^{-1}] + d_0 c_0^* \quad [18]$$

Ahora, la frontera de R_{32} está determinada por la recta $c_0 = \beta_{32} + \alpha_{32} c_0^*$, donde la ordenada al origen está dada por $\beta_{32} = d_0 S_0^* [1 - (1 + I_0^*)^{-1}] > 0$. La pendiente cumple con $\alpha_{32} = d_0 > 0$. Las desigualdades [17] y [18], junto con las restricciones $c_0 \geq 0$ y $c_0^* \geq 0$, definen una región de los costos de comercialización de equilibrio en los cuatro mercados. Observe que $\alpha_{31} = \alpha_{32} = d_0$ y $\beta_{31} < 0 < \beta_{32}$. Dicha región se ilustra en la gráfica 2. En este escenario, se obtiene una franja de combinaciones de costos intermedios de comercialización que permiten un equilibrio en los cuatro mercados. Dicha franja de soluciones depende de los costos de acarreo en cada uno



de los mercados, así como del precio del producto en cuestión en los mercados *spot* de cada país. Fuera de la franja, podrían realizarse arbitrajes, lo que imposibilitaría la existencia de alguno de los mercados. Tal situación podría generarse si alguno o varios de los componentes de los costos intermedios de comercialización, por ejemplo transporte, es muy alto con relación al existente en el otro mercado. Así, cuando los costos intermedios de comercialización se encuentran arriba de la franja sombreada (véase la gráfica 2), en donde la desigualdad [18] no se cumple, se generan oportunidades de arbitraje por medio de exportaciones, con lo que los flujos de comercio de productos agrícolas se darían entre mercados *spot*, y la existencia de un mercado de futuros en México sería poco factible. En caso de que los costos intermedios de comercialización estuvieran por debajo de la franja sombreada, la condición [17] no se estaría cumpliendo y se pueden obtener beneficios libres de riesgo a través de la importación. Esto conduciría al mercado *spot* mexicano a una situación no deseada, debido a que se podría saturar tanto de importaciones directas como de ventas por medio de contratos de futuros de productos que serían comprados y almacenados en el exterior para ventas posteriores en el mercado mexicano.

Gráfica 2
Banda de soluciones de equilibrio de costos intermedios de comercialización en el tercer escenario



Escenario IV (el mercado *spot* del exterior es dominante)

En el cuarto escenario, se plantea el supuesto que el mercado dominante es el mercado *spot* del exterior. La primera vía de arbitraje se deriva a través de importaciones, mediante la cual se compra en el mercado *spot* del exterior y se importa a México para ser vendido a través del mercado *spot* mexicano. Para eliminar tal posibilidad, se debe cumplir la [3], a saber,

$$S_0 \leq d_0 S_0^* (1 + I_0^*)$$

La segunda vía, está determinada por el flujo (6) → (1) del cuadro 1. A través de esta vía, se podría presentar el siguiente proceso de arbitraje: el producto se compra, se almacena en el exterior y después se vende en México por medio de un contrato de futuros. Para evitar la anterior posibilidad de arbitraje, se tienen que cumplir las dos siguientes condiciones:

$$F_{0,T} = d_{0,T} V_0^* e^{r^* T} + d_{0,T} S_T^* I_T^*$$

y

$$F_{0,T} = (S_0 + c_0) e^{rT}$$

Resolviendo simultáneamente el sistema anterior, obtenemos que

$$S_0 = d_0 (S_0^* + c_0^*) + d_0 S_T^* I_T^* e^{-r^* T} - c_0 \quad [19]$$

Por otro lado, las relaciones [3] y [19] imponen restricciones en los precios *spot* de los dos mercados. De ellas se obtiene la siguiente relación entre costos intermedios de comercialización:

$$R_{41}: c_0 \geq -d_0 S_0^* I_0^* + d_0 S_T^* I_T^* e^{-r^* T} + d_0 c_0^* \quad [20]$$



En este caso, la frontera de R_{41} está determinada por la recta $c_0 = \beta_{41} + \alpha_{41}c_0^*$, donde la ordenada al origen está dada por $\beta_{41} = -d_0 S_0^* I_0^* + d_0 S_T^* I_T^* e^{-r^* T}$, que tiene signo ambiguo, y la pendiente por $\alpha_{41} = d_0$. De igual manera que en los escenarios anteriores, se requiere incorporar la condición [4] para evitar un arbitraje por medio de exportaciones, así

$$S_0 \geq d_0 S_0^* (1 + I_0)^{-1} \quad [21]$$

Resolviendo [21] y [19], se obtiene la siguiente desigualdad entre costos intermedios de comercialización:

$$R_{42} : c_0 \leq d_0 S_0^* [1 - (1 + I_0)^{-1}] + d_0 S_T^* I_T^* e^{-r^* T} + d_0 c_0^* \quad [22]$$

Ahora, la frontera de R_{42} está determinada por la recta $c_0 = \beta_{42} + \alpha_{42}c_0^*$, donde la ordenada al origen está dada por $\beta_{42} = d_0 S_0^* [1 - (1 + I_0)^{-1}] + d_0 S_T^* I_T^* e^{-r^* T} > 0$ y la pendiente por $\alpha_{42} = d_0$. Note también que $\beta_{41} < \beta_{42}$ y que $\alpha_{41} = \alpha_{42} = d_0$. Gráficamente las desigualdades [20] y [22], junto con las restricciones $c_0 \geq 0$ y $c_0^* \geq 0$, determinan una banda factible similar a la de la gráfica 2 (tanto para $\beta_{41} < 0$ como para $\beta_{41} > 0$). Fuera de la banda, alguno de los mercados no podría existir. Arriba de la franja sombreada, en donde la condición R_{42} no se cumple, se generan procesos de arbitraje a través de importaciones entre los mercados *spot* y a través de ventas por medio de contratos de futuros de productos comprados y almacenados en el exterior. Finalmente, por abajo de la franja, en donde no se cumple la condición que asociada a R_{41} , un mercado de futuros no podría existir en México o sería, en el mejor de los casos, estructuralmente ineficiente, debido a que se podrían obtener beneficios libres de riesgo realizando arbitrajes por medio de exportaciones, ya sea entre mercados *spot* o colocando futuros con posiciones cortas en el mercado exterior de futuros.

Análisis de estática comparativa y política agrícola

En la sección anterior, por medio de un análisis de arbitrajes, se determinaron para cada escenario las regiones dentro de las cuales se encuentran los costos intermedios de comercialización de equilibrio, c_0 y c_0^* . En esta sección, nos concentramos en ejercicios de estática comparativa para evaluar el impacto que un subsidio directo en el precio tiene en el equilibrio. Para esto, consideramos los sistemas de desigualdades de cada uno de los escenarios. Estas desigualdades fueron denotadas por R_{ij} , en donde $i = 1, 2, 3, 4$, representa cada uno de los cuatro escenarios, y $j = 1, 2$, indica las dos desigualdades que definen cada región de equilibrio. Con el propósito de evaluar el efecto de un subsidio en las regiones de equilibrio, el ejercicio consiste en diferenciar totalmente en forma separada la ordenada al origen y la pendiente de cada una de las rectas asociadas a la frontera de las regiones de equilibrio. Así, un cambio en la ordenada al origen, indicará un desplazamiento de la recta en cuestión y un cambio en la pendiente indicará una rotación de dicha recta. El cambio total en las rectas modifica la región de soluciones y, por lo tanto, las posibilidades de existencia de un equilibrio en los cuatro mercados.

Estática comparativa con la existencia de un subsidio

En el escenario I, se supone que el precio del futuro del exterior es el dominante y las vías de posibles arbitrajes podrían presentarse a través de (2) → (3) y (5) → (1) del cuadro 1. Vamos ahora a evaluar el impacto de una política de subsidios en este primer escenario. Específicamente, se supone la existencia de un subsidio directo al precio del producto, denotado por h . En este caso $F_{0,T}^* = F_{0,T}^*(h)$. Para obtener la diferencial total, como ya se mencionó, derivamos por separado la ordenada al origen y la pendiente de cada una de las rectas asociadas a R_{11} y R_{12} . De esta forma, tenemos para la ordenada al origen β_{11} , que

$$\frac{\partial \beta_{11}}{\partial h} dh = -d_0 I_0^* e^{-r^* T} \frac{\partial F_{0,T}^*}{\partial h} dh > 0,$$



ya que que el signo de $(\partial F_{0,T}^* / \partial h) dh$ es negativo.¹² Por lo tanto, debido a la fijación de un subsidio desplaza a la primera desigualdad en forma paralela hacia el origen (ver la gráfica 1), y esto se refleja en una reducción de la región de soluciones de equilibrio. Con respecto a la pendiente α_{11} , se sigue que

$$\frac{\partial \alpha_{11}}{\partial h} dh = 0$$

Esto significa que una política de fijación de subsidios no produce cambios en la pendiente de la recta en cuestión. En consecuencia, el efecto total sobre la desigualdad está determinado únicamente por los cambios que se observan en la ordenada al origen. Vale la pena mencionar aquí, de una vez por todas, que para todos los escenarios se cumple $\partial \alpha_{ij} / \partial h = 0$, $i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, 2$. Es decir, una política de fijación de subsidios en ningún caso produce cambios en las pendientes de las rectas asociadas a R_{ij} .

Ahora bien, con respecto a la segunda desigualdad, el efecto de un subsidio sobre la ordenada al origen, β_{12} , está dado por

$$\frac{\partial \beta_{12}}{\partial h} dh = d_0 e^{-rT} [1 + (1 + I_0)^{-1}] \frac{\partial F_{0,T}^*}{\partial h} dh < 0$$

En consecuencia, se produce un desplazamiento hacia el origen de la desigualdad R_{12} , lo que se traduce en una disminución de posibilidades de equilibrio (ver gráfica 1). En otras palabras, una política de subsidios disminuye las posibilidades de existencia de los cuatro mercados en equilibrio. En el escenario II, en donde el mercado

¹² Tanto en este primer escenario como en el segundo, la única variable que se ve afectada por un subsidio es $F_{0,T}^*$, debido a que este precio es la variable determinante del sistema. Claramente, el signo de la relación es negativo, ya que con un subsidio en México el precio del futuro en nuestro país disminuye, atrayendo compradores a este mercado y disminuyendo la demanda de futuros en el exterior.

dominante sigue siendo el de futuros del exterior y los arbitrajes se dan a través de las vías (2) \rightarrow (3) y (7) del cuadro 1, el efecto de la fijación de un subsidio sobre β_{12} , cumple con

$$\frac{\partial \beta_{21}}{\partial h} dh = -d_0 e^{-rT} I_0^* \frac{\partial F_{0,T}^*}{\partial h} dh > 0$$

Por lo tanto, se produce un desplazamiento hacia el origen de la recta R_{12} , lo que de nuevo reduce el área de soluciones de equilibrio. Ahora, analicemos el efecto de dicho subsidio sobre la segunda desigualdad del escenario II. En este caso, la diferencial de la ordenada al origen, β_{22} , satisface

$$\frac{\partial \beta_{22}}{\partial h} dh = d_0 e^{-rT} [1 - (1 + I_0)^{-1}] \frac{\partial F_{0,T}^*}{\partial h} dh < 0$$

Con lo anterior, se genera un desplazamiento de la desigualdad hacia el origen y esto se traduce en una reducción de la región de soluciones factibles; con efectos similares a los del escenario III.

Ahora examinemos el efecto de la misma política de fijación de un subsidio sobre la región de equilibrio de los escenarios III y IV, y en los cuales se planteó el supuesto de que el mercado determinante es el mercado *spot* del exterior. En el escenario III, las vías de arbitraje se presentan a través de (3) y de (2) \rightarrow (5) \rightarrow (1) del cuadro 1. En este caso, claramente $S_0^* = S_0^*(h)$. El efecto de un subsidio en la ordenada al origen, β_{31} , está dado por

$$\frac{\partial \beta_{31}}{\partial h} dh = -d_0 I_0^* \frac{\partial S_0^*}{\partial h} dh > 0,$$

ya que el signo de la derivada $\partial S_0^* / \partial h$ es negativo, pues con la fijación de un subsidio el precio *spot* baja. En este caso, un aumento en h conduce a un incremento en β_{31} ,



lo que se traduce en un desplazamiento hacia arriba (hacia el origen) de R_{31} , esto a su vez reduce la región de equilibrio de los costos intermedios de comercialización. Ahora vamos a evaluar los efectos que sobre la segunda desigualdad del escenario III podría tener la fijación de un subsidio. Sobre la ordenada al origen el efecto es el siguiente:

$$\frac{\partial \beta_{32}}{\partial h} dh = d_0 [1 - (1 + I_0)^{-1}] \frac{\partial S_0^*}{\partial h} dh < 0$$

Esto significa que la instrumentación de un subsidio se traduce en un desplazamiento hacia abajo (hacia el origen) de R_{32} , lo que a su vez reduce la región de equilibrio de los costos intermedios de comercialización. En consecuencia, un subsidio disminuye las posibilidades de existencia de un equilibrio en los cuatro mercados. Finalmente, se investiga sobre el efecto que una política de subsidios puede tener sobre la región de soluciones de equilibrio obtenida en el escenario IV. En primer lugar consideremos la desigualdad R_{41} , la diferencial total en la ordenada al origen, β_{41} , está dada por

$$\frac{\partial \beta_{41}}{\partial h} dh = -d_0 I_0^* \frac{\partial S_0^*}{\partial h} dh > 0$$

Lo anterior significa que ante un aumento en h se produce un incremento en β_{41} , lo que se traduce en un desplazamiento hacia arriba (hacia el origen) de R_{41} , esto a su vez reduce la región de equilibrio de los costos intermedios de comercialización. Por último, evaluamos el impacto de un subsidio sobre la segunda desigualdad, R_{42} . En este caso, la diferencial de la ordenada al origen, β_{42} , satisface:

$$\frac{\partial \beta_{42}}{\partial h} dh = d_0 [1 - (1 + I_0)^{-1}] \frac{\partial S_0^*}{\partial h} dh < 0$$

Es decir, el subsidio tiene el efecto de desplazar (hacia abajo) la recta asociada a R_{42} en forma paralela hacia el origen, con lo que se reduce la región de soluciones y, por lo tanto, las posibilidades de que exista un equilibrio para los cuatro mercados; con efectos similares a los del escenario III.

Conclusiones

Bajo el supuesto de una economía pequeña y abierta se ha analizado la factibilidad de que en México se instale un mercado de futuros agrícolas. Se han determinado las regiones de equilibrio de los costos intermedios de comercialización, tanto para la economía doméstica como para la economía del resto del mundo. Se destaca en la presente investigación que los mercados *spot* y de futuros externos imponen un conjunto de restricciones estructurales (infraestructura de comercialización) y financieras (tasas de interés y seguros) para operar futuros agrícolas en nuestro país. Dichas condiciones quedaron determinadas en cada uno de los cuatro escenarios de estrategias de arbitraje.

Para que un mercado de futuros en México sea competitivo (sin problemas de intermediación y acaparamiento) y pueda coexistir con los mercados internacionales de futuros agrícolas, se tienen que alcanzar niveles internacionales de productividad y de eficiencia en la comercialización e intermediación. De no ser así, el mercado que se instale en México difícilmente podrá cumplir los objetivos fundamentales de: 1) proveer una cobertura eficaz a productores y consumidores contra movimientos adversos en los precios; 2) crear los incentivos adecuados para que los especuladores participen en el mercado contribuyendo así a la formación eficiente de precios; 3) impulsar un proceso robusto de formación de precios de contado para determinar precios de liquidación de los contratos a futuro, y 4) funcionar como un mercado de créditos para productores.

El gobierno federal de México cuenta con una serie de instrumentos de política económica con los que podría intervenir en el mercado de futuros para lograr una inserción eficiente de éste en el marco internacional. Particular-



mente, las acciones de política agrícola por parte del gobierno tienen que concentrarse en la instrumentación de apoyos directos al productor, en la modificación de los patrones de financiamiento, en la capitalización del campo y en la generación de las condiciones propicias para elevar la productividad y abatir los costos de producción, de tal manera que los productores mexicanos puedan competir con los productores extranjeros, los cuales sí gozan de apoyos directos y cuentan con tecnologías más desarrolladas. Además de lo anterior, los encargados de instalar el mercado de futuros tienen que hacer una enorme labor de promoción sobre los beneficios y bondades de operar en este tipo de mercados, pues los productores agrícolas mexicanos, principalmente los que producen granos básicos, no se mueven bajo la lógica del mercado y mucho menos bajo la lógica del mercado de futuros.

En la etapa inicial de un mercado de futuros en México, es necesario que se comience con productos que presenten ventajas comparativas en cuanto a costos de producción y de comercialización. Podrían incorporarse, por ejemplo, el café y el cacao; productos que se cotizan en los mercados de futuros internacionales. Por supuesto, estos mercados son dominados por pocos compradores que son al mismo tiempo los principales exportadores y procesadores, lo cual requiere de una estrategia integral del manejo de los productos y los factores productivos, así como de la reorganización del mercado local. Asimismo, es necesario que el gobierno inicie una política de apoyo a la producción con la finalidad de que los productores puedan competir con los del exterior cubriendo adecuadamente sus riesgos.

Más investigación se requiere en el diseño de portafolios que combinen futuros agrícolas con futuros financieros, tales como los futuros en tipo de cambio y de tasa de interés. Sin duda, la incorporación de futuros financieros conduciría a una mejor administración de los riesgos por fluctuaciones adversas en los precios de los productos agrícolas y a una mayor eficiencia en la formación de los precios *spot* de dichos bienes. Además, el análisis de las condiciones de arbitraje sería más completo y más realista. Por supuesto, en nuestra agenda de investigación futura ya se contempla esta extensión.

Bibliografía

- Brennan, M. J., y E. S. Schwartz [1989], "Portfolio Insurance and Financial Market Equilibrium", *Journal of Business*, vol. 62, núm. 4, pp. 455-472.
- Blake, D. [1995], *Financial Markets Analysis*, Londres, McGraw Hill.
- Díaz-Tinoco, J. y F. Hernández-Trillo [2000], *Futuros y opciones financieras: una introducción*, Limusa-BMV.
- Díaz-Tinoco, J. [1997], "Riesgos en instrumentos de deuda y futuros sobre tasa de interés", en *Derivados financieros: teoría y práctica*, H. Sabau y G. Roa, compiladores, México, Operadora de Bolsa, pp. 194-200.
- _____ [1997a], "Cambios en el precio de un futuro sobre CETES a 91 días", en *Derivados financieros: teoría y práctica*, H. Sabau y G. Roa, compiladores, México, Operadora de Bolsa, pp. 188-193.
- González-Aréchiga, B. [1997], "El mercado de productos derivados en México", en *Derivados financieros: teoría y práctica*, H. Sabau y G. Roa, compiladores, México, Operadora de Bolsa, pp. 308-321.
- _____ 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*, 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*, vol. 60, núm. 233, pp. 77-112.
- _____ [2001], "Riesgo cambiario, brecha de madurez, y cobertura con futuros: análisis local y de valor en riesgo", *Economía Mexicana*, Nueva Época, vol. 10, núm. 2, (en prensa).
- _____ [2001a], "Cobertura con futuros de títulos de capital", *Comercio Exterior*, (en prensa).
- Márquez-Pozos, J. M., A. Islas-Camargo y F. Venegas-Martínez [2001], *Flujos internacionales de capital e inversión extranjera de cartera: el caso de México 1989-1999*, Documento de Investigación de El Colegio de la Frontera Norte.



- Venegas-Martínez, F. [2001], “Temporary Stabilization: A Stochastic Analysis”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 25, núm. 9, pp. 1429-1449.
- _____ [2001a], “Opciones, cobertura y procesos de difusión con saltos: una aplicación a los títulos de G. Carso”, *Estudios Económicos*, (en prensa).
- _____ [2001b], *Pricing and hedging derivative securities with prior information*, en *Working paper*, Mathematical Finance Group, Oxford University.
- _____ [2001c], “Política fiscal y renta petrolera: una propuesta de régimen fiscal para Pemex”, *Problemas del Desarrollo*, Revista Latinoamericana de Economía, IIEC-UNAM, vol. 32, núm. 124, pp. 55-108.
- _____ [2001d], “Una guía completa para economistas en la valuación de opciones”, *Gaceta de Economía*, ITAM, vol. 6, núm. 12, (en prensa).
- _____ [2001e], “Chronic inflations jumps in a stochastic small open economy”, en *Working paper*, Mathematical Finance Group, Oxford University.
- _____ [2000], “On consumption, investment, and risk”, *Economía Mexicana*, Nueva Época, vol. 9, núm. 2, pp. 227-244.
- _____ [2000a], “Aprendizaje, utilidad y estabilización”, *Gaceta de Economía*, vol. 5, núm. 10, pp. 153-169.
- _____ [1999], “Crecimiento endógeno, dinero, impuestos, y deuda externa”, *Investigación económica*, vol. 59, núm. 229, pp. 15-36.
- _____ [1997], “On information functionals and priors”, *Memoria del XII Foro Nacional de Estadística*, *Resúmenes in extenso*, Asociación Mexicana de Estadística. INEGI, pp. 183-188.
- _____ [1993], “Learning on utility parameters”, *Recent advances in bayesian statistics and econometrics*, *Proceedings*, vol. 2, pp. 65-83.
- _____ [1992], “Entropy maximization and cross-entropy minimization on quantiles; a matrix approach”, *Agrociencia*, Serie matemáticas aplicadas, estadística y computación, vol. 3, núm. 2, pp. 71-76.
- _____ [1990], “On regularity and optimality conditions for maximum entropy priors”, *The brazilian journal of probability and statistics*, vol. 4, pp. 105-136.
- _____ [1990a], “Información suplementaria a priori. Aspectos computacionales y clasificación”, *Estadística*, *Inter-American Statistical Institute*, IASI, vol. 42, núm. 139, pp. 64-80.
- _____ [1990b], “Información suplementaria a priori”, *Contributions to probability and mathematical statistics*, vol. 4, pp. 228-237.
- _____ y B. González-Aréchiga [2001]. *Cobertura con futuros de tasas de interés: un modelo estocástico de duración y convexidad*, *Working paper*, Mathematical Finance Group, Oxford University.
- _____ y B. González-Aréchiga [2000], “Mercados incompletos y su impacto en los programas de estabilización de precios: el caso mexicano”, *Momento Económico*, núm. 111, pp. 20-27.
- _____, B. González-Aréchiga y J. Díaz-Tinoco [1999], *Inmunización de portafolios de Cetes, Bondes y otros títulos de deuda pública con futuros sobre tasas de interés*, Trabajo de investigación núm. 1999-4, Serie Mexder-Documentos de Investigación.
- _____, E. de Alba y M. Ordorica-Mellado [1999], “On information, priors, econometrics, and economic modeling”, *Estudios Económicos*, vol. 14, núm. 27, pp. 53-86.
- _____, E. de Alba y M. Ordorica-Mellado [1995], “An economist's guide to The Kalman Filter”, *Estudios Económicos*, vol. 10, núm. 20, pp. 123-145.

