

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACTIVO SINTÉTICO PARA LA
ESTIMACIÓN DEL PRECIO DE LOS FORWARDS TASA DE CAMBIO
EN EL MERCADO COLOMBIANO**

ALEXANDER GUARÍN LÓPEZ

Universidad de los Andes
Departamento de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá, D.C.
2006

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ACTIVO SINTÉTICO PARA LA
ESTIMACIÓN DEL PRECIO DE LOS FORWARDS TASA DE CAMBIO EN EL
MERCADO COLOMBIANO**

ALEXANDER GUARÍN LÓPEZ
Código: 200227278

**Tesis para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial
con Profundización en Investigación de Operaciones y Estadística**

Director
JULIO VILLAREAL
Profesor

Universidad de los Andes
Departamento de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá, D.C.
2006

RESUMEN

A través de la metodología de valoración de activos financieros bajo la condición de no arbitraje, se realizó ex-post la estimación del precio de un portafolio sintético de los forwards sobre la tasa de cambio peso colombiano / dólar americano entre enero de 2000 y junio de 2005. Los resultados indican que el forward sintético con plazo, por ejemplo a 7 días, habría tenido un costo promedio inferior en \$270 por dólar frente al derivado, sin embargo, al excluir las acciones del portafolio, la diferencia se reduce a \$93 por dólar. Suponiendo que se desconocen los precios del primer semestre de 2005, se realizó el mismo ejercicio ex-ante para este periodo. Los precios fueron proyectados mediante simulaciones Montecarlo a partir de parámetros estimados con modelos ARMA-GARCH. Los resultados, indican que bajo incertidumbre la diferencia entre los precios del forward y su sintético es mínima, y en algunos casos negativa.

ABSTRACT

Through the methodology of valuation of financial assets under the condition of non-arbitrage was estimated the synthetic portfolio's price of colombian peso / american dolar foreign exchange rate forwards between January 2000 and June 2005. The issues indicate that the synthetic forward with term, for example to 7 days, could have had a average cost less in \$270/dollar against the derivate, however, excluding the shares of portfolio, the difference is reduced to \$93/dollar. Supposing we don't know the prices from first semester of 2005, it was made the same exercise for this period. The prices were projected through Montecarlo simulations with parameters got from ARMA-GARCH models. The new issues indicate that under uncertainty the difference between the forward's price and its synthetic is low, and in some cases is negative.

Tabla de Contenido

1.	Introducción	5
2.	La Cobertura del Riesgo Cambiario	7
2.1.	Contratos Forwards	8
2.1.1.	<i>Contratos Forwards sobre la Tasa de Cambio</i>	9
2.2.	Otros Derivados para la Cobertura del Riesgo Cambiario	10
3.	El Mercado de los Contratos Forward en Colombia	11
3.1.	Una Aproximación Histórica del Mercado Cambiario en Colombia	11
3.2.	Evolución Reciente del Mercado Forward	12
3.2.1	<i>Regulación y Normatividad</i>	14
4.	La Valoración de Activos Financieros	14
4.1.	Valoración en Modelos de Equilibrio General	14
4.2.	Valoración en un Contexto de No Arbitraje	15
4.2.1.	<i>La Condición de No Arbitraje</i>	16
4.3.	Valoración de Contratos Forward sobre la Tasas de Cambio (COP/USD)	18
5.	Estructuración de un Forward Sintético, caso determinístico	19
5.1.	Objetivos y Especificaciones Generales	20
5.2.	Universo de Activos y Variables del Modelo	21
5.3.	Modelo de Optimización	23
5.3.1.	<i>Forward Sintético Versión 1</i>	24
5.3.2.	<i>Forward Sintético Versión 2</i>	30
5.3.3.	<i>Forward Sintético Versión 3</i>	31
6.	Análisis de Series de Tiempo y Simulación del Precio de los Activos Financieros	33
6.1.	Modelo ARCH-GARCH	33
6.1.1.	<i>Tasa de Cambio Peso/Dólar</i>	34
6.1.2.	<i>Precio de la Acción de Bavaria</i>	38
6.1.3.	<i>Precio de la Acción de Valorem</i>	38
6.3.	Simulaciones	38
7.	Forward Sintético, bajo los Escenarios del Simulación	39
8.	Conclusiones	43
	Bibliografía	45
	Anexos	47

1. Introducción

En los últimos años los mercados financieros internacionales han experimentado profundos cambios tanto en su magnitud como en su estructura e integración, debidos en gran parte a la disminución de restricciones en los movimientos de capital y a la interconexión de los mercados de valores a nivel mundial. Así mismo, la mayor competencia ha llevado a la creación de nuevos productos y servicios, y a que los ya existentes sean más competitivos, entre otras razones por la necesidad de manejar la volatilidad en las tasas de interés, la inflación, los tipos de cambio y el precio de los activos financieros.

Dentro del mercado financiero, el de tipo cambiario ha sido uno de los que ha presentado los mayores desarrollos, agrupando un gran número de operaciones comerciales y de inversión¹ que requieren de la compra y venta de monedas, cuya negociación puede realizarse en el mercado spot o forward. El primero agrupa todas las transacciones en las que se intercambian monedas en el día de la negociación a la tasa de cambio vigente en el mercado, *tasa spot*, mientras que en el segundo, en ese día no existe ningún flujo de caja, sólo se establece un acuerdo para intercambiar en una fecha futura las diferentes monedas a una tasa de cambio pactada en ese momento, *tasa forward*.

Desde el punto de vista teórico, la diferencia entre estas dos tasas es explicada por *el teorema de la paridad cubierta de tasas de interés*, cuyo concepto básico es que la tasa forward se fija en relación a la spot, de manera que capture el spread² de tasas entre el mercado doméstico y externo, bajo la idea de que no existen oportunidades de arbitraje que permitan ganancias libres de riesgo. De otra parte, se esperaría que la tasa forward fuera un estimador insesgado del valor esperado de la tasa de cambio spot futura. Sin embargo, en un mercado de capitales imperfecto, existen fricciones y costos de transacción que conducen a que no se cumpla el teorema anterior y que las tasas forward de las distintas monedas no sean predictores óptimos de las tasas spot futuras, entre otras razones, por que incorporan una *prima por riesgo* que varía a través del tiempo, cobrada por los intermediarios financieros como compensación por el riesgo y los costos de transacción que asumen dentro de las operaciones que realizan.

En Colombia, el mercado de contratos forward sobre la tasa de cambio ha presentado un desarrollo sobresaliente en años recientes. No obstante, existe la preocupación por el hecho de que la tasa forward del peso colombiano frente al dólar americano, difiere significativamente de la tasa de cambio spot futura vigente en la fecha de vencimiento de la operación, lo cual podría indicar la existencia de una prima que esté incorporando entre otros factores, el riesgo que asumen los agentes en el mercado, los costos de transacción y las expectativas sobre el valor futuro de la tasa de cambio. El diferencial entre la tasa spot y las tasas forward para los plazos a 7, 15, 30 y 60 días, entre el año 2000 y el primer semestre de 2005, puede ser observada en el Gráfico 1. En promedio, el valor absoluto de la diferencia entre estas tasas para los mismos plazos es de \$18, \$32, \$49 y \$79 por dólar, lo cual evidencia, que entre mayor sea el plazo del forward, el diferencial entre las tasas es mayor.

Este es un problema muy importante en el desarrollo del mercado forward, debido a que muchos agentes del sector real interesados en realizar cobertura del riesgo cambiario, podrían no hacerla ya que consideran que su costo es demasiado alto, con respecto al riesgo al cual se encuentran expuestos. Así mismo, en la medida en que el precio pactado en el contrato forward, difiera de aquel que se encuentre en línea con un adecuado funcionamiento del mercado, podría incentivar la operaciones con fines de especulación de los agentes del sector real a través de la construcción de estrategias de arbitraje, involucrándolos en riesgos diferentes a los directamente relacionados con su actividad económica y alejándolos del fin mismo del derivado³, que es la cobertura de su riesgo cambiario.

¹ Incluye entre otras, transacciones de comercio exterior de bienes y servicios, endeudamiento e inversión tanto directa como financiera.

² Hace referencia al diferencial existente entre las tasas de interés doméstica y la externa.

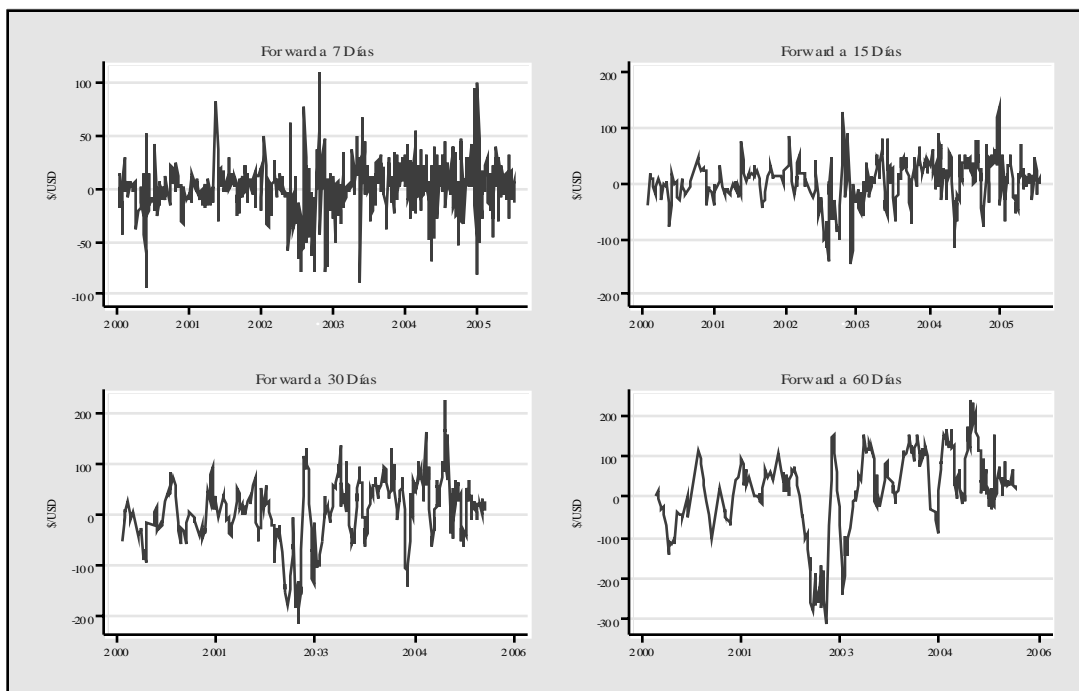
³ Un derivado es un instrumento financiero cuyo valor depende del precio de un activo básico, el cual es denominado subyacente.

Por tanto, es necesario estimar el precio correcto de los contratos forward sobre la tasa de cambio peso colombiano (COP) / dólar americano (USD), cuantificar su diferencia con aquel fijado por los *Intermediarios del Mercado Cambiario, IMC*, y así poder determinar si los intermediarios están cobrando una *prima* que le permite a estos unos beneficios anormales. Igualmente se puede plantear la posibilidad de que bajo las condiciones del mercado financiero en Colombia, sea posible construir un portafolio o instrumento que permita a los distintos agentes cubrirse de manera adecuada frente a la exposición del riesgo cambiario.

Para resolver estas inquietudes, se propone utilizar como metodología, *la valoración bajo la condición de no arbitraje*, la cual dentro de la teoría de las finanzas modernas constituye la base en la determinación del precio de los activos financieros, al garantizar que bajo condiciones de eficiencia en el mercado, ningún agente pueda construir un portafolio con posiciones simultáneas en diferentes activos, que le permitan obtener un beneficio libre de riesgo sin incurrir en un costo de inversión positiva. Bajo esta metodología, a través de la negociación de activos simples, tal como acciones, bonos y monedas, se busca replicar de manera exacta el pago de los contratos forwards. De esta forma, bajo condiciones de eficiencia en el mercado, el argumento de no arbitraje implica que el costo inicial del nuevo portafolio, denominado *Activo Sintético* deberá coincidir con el precio del activo cuyos flujos de caja replica, porque de no ser así, existirían posibilidades de arbitraje.

Sin embargo, las condiciones que garantizan la existencia de una estrategia que permita la replicación exacta de un título derivado requiere que se cumpla el supuesto de *mercados completos*, fundamental en los procedimientos de replicación y valoración de derivados bajo argumentos de no arbitraje, ya que los inversionistas pueden hacer cobertura perfecta de sus posiciones porque existe un flujo de caja por cada estado posible de la naturaleza, mientras que en un mercado incompleto, estos no son posibles de replicar de manera exacta, debido a que existen por ejemplo, rigideces institucionales y fricciones de mercado, como son los costos de transacción, cierres periódicos en la negociación y discrecionalidad en las transacciones.

ráfico 1.
Diferencia entre el Promedio de la Tasa Forward y la TRM *



Los datos de la tasa forward y la TRM, se comparan en la fecha de vencimiento del forward, y sólo se obtienen diferencias para aquellas fechas donde se tienen ambas tasas.

Fuente: Banco de la República. Cálculos del Autor.

Aunque la replicación exacta es imposible en mercados incompletos, es necesario encontrar una estrategia que replique de manera óptima la función de pago del forward tasa de cambio COP/USD a partir de los instrumentos financieros que se encuentran en el mercado colombiano. El nuevo portafolio, constituye un activo sintético, que permitiría a los agentes en el mercado cubrir de forma adecuada su exposición frente al riesgo cambiario, y cuyo costo es una estimación cercana del precio de los contratos forward, o sino existirían oportunidades de arbitraje.

Este documento tiene ocho secciones incluyendo esta introducción. En la segunda sección se explica en que consiste la cobertura del riesgo cambiario, los derivados que son utilizados para tal fin y en particular los contratos forward. En la tercera, se hace una breve revisión histórica del mercado cambiario en Colombia, la evolución reciente del mercado de los forward y la normatividad vigente sobre el mismo. En la cuarta sección, se presenta una descripción de las principales técnicas de valoración de los activos financieros, y se emplea la condición de no arbitraje para valorar los forward de tasa de cambio. En la quinta, se plantea un problema de optimización que busca la construcción del forward sintético, y se realizan varios ejercicios aplicativos con diferentes especificaciones del modelo. En la sección seis, se hicieron estimaciones y simulaciones de modelos GARCH sobre las series de los activos que conformarían el portafolio sintético, y en la siete, se aplicó nuevamente el modelo de optimización sobre las series simuladas, con el fin de obtener un precio estimado para el portafolio sintético. Finalmente, se presentan las conclusiones.

2. La Cobertura del Riesgo Cambiario

El riesgo financiero al que se encuentra expuesto un portafolio puede definirse en función del conjunto de factores de índole aleatoria que afectan su valor, el cual está asociado a la incertidumbre en la evolución futura de distintas variables económicas, entre ellas, los precios, las tasas de interés y las tasas de cambio, que llevan a que los agentes se vean enfrentados a distintos tipos de riesgos, como son el de mercado, el cambiario, el de volatilidad y el crediticio, entre otros⁴.

A raíz de la globalización financiera, y en particular para Colombia, desde finales del año 1999, cuando el país eliminó las bandas cambiarias, e hizo la transición a un sistema de libre flotación⁵, *Gráfico 2*, los agentes económicos en el mercado que toman decisiones y/o realizan operaciones en dólares analizan con mayor detalle su exposición frente al riesgo cambiario, debido no sólo a que la tasa de cambio fluctúa libremente, lo que conduce a una mayor volatilidad e incertidumbre sobre su precio en el futuro, sino también, por el crecimiento del mercado de divisas en el país, que se puede apreciar en el aumento de los montos que son negociados diariamente para llevar a cabo operaciones con el exterior, *Gráfico 3*.

El riesgo cambiario para los agentes en el mercado colombiano está relacionado en forma directa con el valor en pesos de los activos y/o pasivos denominados en dólares y otras monedas extranjeras como consecuencia de la apreciación o depreciación relativa de la moneda doméstica frente a las monedas externas⁶.

La cobertura frente a este tipo de riesgo consiste fundamentalmente en contrarrestar los efectos negativos que una fluctuación de la tasa de cambio pueda generar en el estado de pérdidas y ganancias del agente o la firma en el mercado⁷. Si el agente está expuesto al riesgo debido a que posee un activo en moneda extranjera, ya sea este un saldo o un flujo futuro, una forma de cubrirlo es conseguir un pasivo, de tal manera que cuando la tasa de

⁴ Para un mayor detalle de la relación entre distintas variables económicas y su riesgo asociado, véase Dahl, H., Alexander M., and Stavros, Z., (1993).

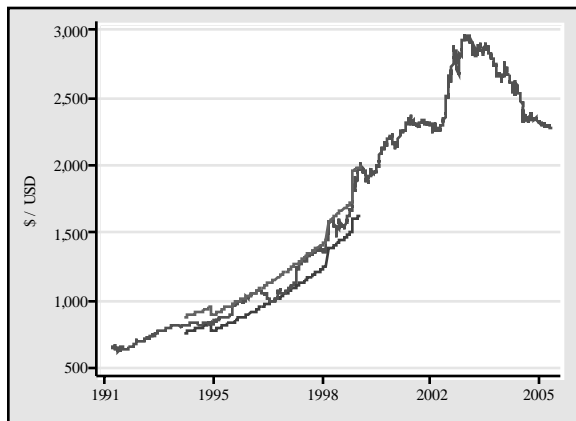
⁵ En Colombia, el precio del dólar es determinado por el mercado, sin embargo, después de la eliminación de la banda cambiaria en septiembre de 1999, el Banco de la República (BR) ha intervenido en el mercado a través del ejercicio de opciones call y put, bajo reglas conocidas con anterioridad por todos los agentes. A partir de 2004, el BR decidió intervenir en forma discrecional, con el fin de mitigar la apreciación del peso colombiano (COP) frente al dólar.

⁶ Por ejemplo, una posición larga en una moneda extranjera reduce su valor cuando esta se devalúa frente a la moneda doméstica.

⁷ Es importante anotar que al cubrir el riesgo cambiario el agente previene los efectos negativos en su estado de pérdidas y ganancias pero normalmente también previene cualquier efecto positivo derivado de fluctuaciones en la tasa de cambio.

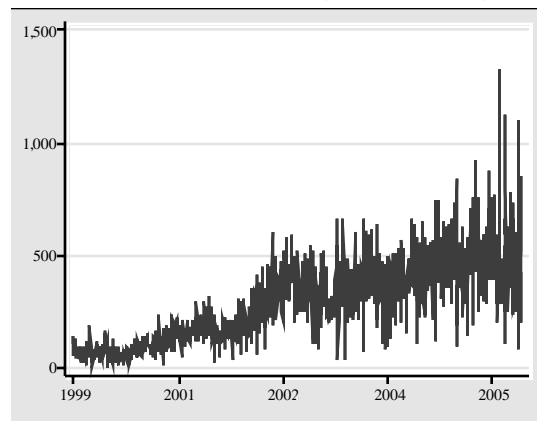
cambio caiga, el menor valor del activo en la moneda doméstica sea compensado por un menor valor del pasivo por la misma cantidad, en otras palabras, la idea es obtener flujos de caja contrarios que se neutralicen.

Gráfico 2
Evolución de la Tasa de Cambio
1991 – 2005



Fuente: Banco de la República

Gráfico 3
Evolución Diaria de los Montos Transados
en el Mercado Cambiario 1999 – 2005
(Millones de Dólares)



Fuente: Banco de la República

Lo anterior implica, que si un agente con motivo de sus operaciones comerciales mantuviera tanto activos, como pasivos en moneda extranjera, podría construir una *cobertura natural*, es decir, una estrategia en la que el efecto de una fluctuación en la tasa de cambio fuera neutral. En caso contrario, los agentes responsables por la administración del riesgo dentro de la firma, deben asegurar el desarrollo de estrategias de cobertura con los instrumentos que le permitan minimizar el riesgo cambiario e implementar herramientas adecuadas para la toma de decisiones bajo incertidumbre, en lo cual ha contribuido el desarrollo del mercado de derivados.

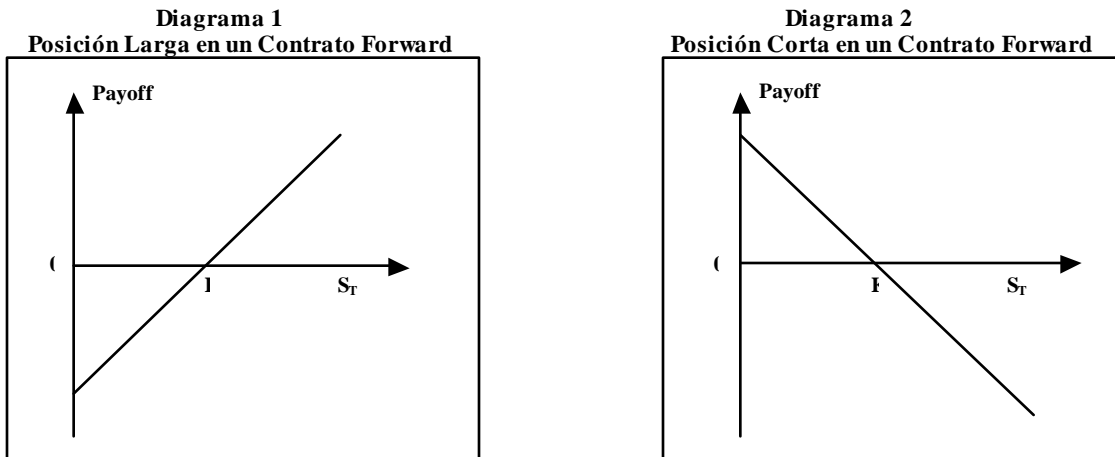
2.1. Contratos Forward

Un *Contrato Forward* es un derivado, en el cual se establece un acuerdo para comprar o vender un bien o un instrumento financiero en una fecha futura a un cierto precio o una tasa, que se fija el día de negociación. Este derivado se caracteriza por el hecho de no tener ningún tipo de transferencia de recursos hasta la fecha de vencimiento del contrato, no está estandarizado y no se transa en bolsas organizadas. Generalmente se establece entre dos instituciones financieras o entre una institución financiera y un cliente corporativo.

El precio especificado en el contrato forward se denomina *Precio Delivery*, y en el momento de la negociación, es decir en $t=0$, es igual al *Precio Forward*, el cual se fija de manera que en la fecha del acuerdo el valor del contrato sea igual a 0. En la medida en que el tiempo pasa, el precio forward es capaz de cambiar, mientras el precio delivery permanece igual, por lo que después del inicio del acuerdo, el contrato puede tener un valor positivo o negativo dependiente del precio del activo subyacente. Dentro del contrato forward, el agente que se compromete a comprar el activo subyacente asume una posición larga, mientras que la otra parte, la cual se obliga a entregar el mismo activo en la fecha futura y al precio acordado, asume la posición corta.

El payoff de una posición larga en un contrato forward por una unidad del activo subyacente es dado por: $S_T - K$, donde K es el precio delivery y S_T es el precio spot del activo en la fecha de cumplimiento, *Diagrama 1*. Como se aprecia en el diagrama, el payoff para el agente con la posición larga será positivo siempre y cuando el precio del activo subyacente S_T en la fecha de vencimiento sea mayor que el precio delivery K , es decir, cuando $S_T > K$ y por el contrario será negativo en caso de que $S_T < K$.

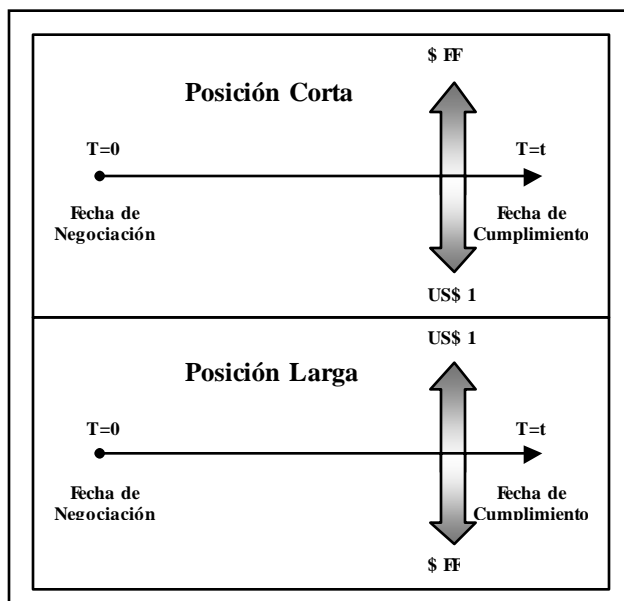
En forma simétrica, el payoff de la posición corta en el contrato forward sobre una unidad del activo subyacente, *Diagrama 2* está dado por la expresión, $K - S_T$. La función anterior permite apreciar el pago para el agente que está obligado a vender el activo subyacente que vale S_T por un precio K , el cual será positivo siempre que $S_T < K$ y negativo en caso contrario.



2.1.1. Contratos Forward sobre Tasa de Cambio

Un *Forward Sobre la Tasa de Cambio*, es un contrato forward en el cual, el activo subyacente corresponde a una moneda extranjera, que para el caso colombiano por motivo de sus operaciones comerciales se concentra principalmente en el dólar americano, *USD*.

Diagrama 3
Flujo de Caja de un Contrato Forward Sobre la Tasa de Cambio (COP/ USD)



En otras palabras, se define como un acuerdo entre dos agentes en $t=0$, en el que, una de las partes se compromete a entregar a otra en $t=1$ una unidad de moneda extranjera a cambio de una cantidad fija, FF , de

unidades de la moneda local, denominada *Tasa Forward*. El agente que se ha comprometido a vender la moneda extranjera es considerado la parte con la posición corta en el contrato, mientras que el otro agente es considerado la parte con la posición larga, *Diagrama 3*. Este tipo de contratos, incluye tanto operaciones denominadas *Delivery Forward*, *DF* en cuyo caso se hace entrega de las divisas, como operaciones *Non Delivery Forward*, *NDF*, en las cuales en la fecha de cumplimiento sólo se intercambia el diferencial entre la tasa forward y spot.

2.2. Otros Derivados para la Cobertura del Riesgo Cambiario⁸

En Colombia, los productos derivados más comunes son los contratos a término o *forwards*, las *opciones*, los *futuros*, las *operaciones a plazo de cumplimiento financiero –OPCF–* y los *swaps* o permutas financieras. Sin embargo, el único mercado de derivados que se podría denominar desarrollado en Colombia sería el de *forwards* de tasa de cambio⁹.

- **Futuros**

Los contratos de futuros son *hermanos gemelos* de los contratos forward, sin embargo, mientras los primeros corresponden a acuerdos particulares entre partes, los segundos se negocia a través de mercados organizados con presencia de instituciones financieras. De otra parte, estos contratos están estandarizados, razón por la cual, el tamaño, la calidad, el tipo del bien, así como del rango de fechas en las que el contrato madura se encuentran regulados. Dentro de las diferencias más importantes con los forwards, se encuentra el hecho de que los contratos de futuros generan flujos de caja diarios en función del cambio del valor del activo subyacente, en las denominadas *Cuentas de Margen*¹⁰ y además no se especifica una fecha exacta de madurez del contrato, sino que se establece un periodo, o rango de fechas dentro las cuales, el agente con la posición corta puede decidir cuando entregar el activo, e inclusive pueden ser cerrados antes de su vencimiento.

- **Opciones**

Un contrato de opciones confiere el derecho, mas no la obligación, de comprar, *call option*, o vender, *put option*, un activo en una fecha futura, el cual puede ser una moneda a un precio o una tasa específica. El poseedor de la opción, tanto si es de compra como si es de venta, puede optar por tres posibilidades: Ejercer el derecho de comprar o vender el activo o moneda que la opción le permite, dejar pasar la fecha de vencimiento sin ejercer la opción o venderla antes de su cumplimiento en el mercado secundario de opciones. No obstante, el derecho a ejercer la opción tiene un costo, el cual es llamado *prima*.

- **Swaps**

➤ **Foreign Exchange Swap:** Transacción que involucra el intercambio de dos monedas, *solamente el principal*, en dos momentos del tiempo. El primer intercambio, *short leg*, se realiza a una tasa acordada en el momento del contrato, por la general diferente a la del segundo intercambio, *long leg*, momento en que se reversa la operación.

➤ **Currency Swap:** contrato mediante el cual dos partes se comprometen a intercambiar un flujo de pagos sobre tasa de interés en diferentes monedas por un periodo de tiempo e intercambiar el principal a una tasa de cambio pactada para la fecha de madurez del contrato.

⁸ Basado en información publicada por la Bolsa de Valores de Colombia en su página web.

⁹ Gómez, Vásquez y Zea (2005).

¹⁰ Corresponde a cuentas que son utilizadas para reflejar diariamente las ganancias o pérdidas de cada parte del contrato, como resultado de la diferencia entre el precio spot del activo subyacente y el precio futuro contratado; así mismo, el encargado de la administración de esta cuenta, puede exigir su aumento en el caso de que movimientos adversos en el precio tomen lugar, y por tanto se vea reducida a niveles mínimos.

- **Operaciones a Plazo de Cumplimiento Financiero**

Las operaciones a plazo de cumplimiento financiero, OPCF, son contratos de futuros estandarizados por la Bolsa de Valores de Colombia. En el caso de cobertura para la tasa de cambio, se denominan OPCF-TRM. El objetivo es comprar o vender dólares en una fecha futura permitiendo mitigar el riesgo cambiario. El cumplimiento de la operación se realiza mediante el pago del diferencial de precios, de manera que no se presenta la transferencia física del activo, y son transadas por intermedio de una Sociedad Comisionista de Bolsa (SCB).

3. El Mercado de los Contratos Forward en Colombia

El mercado de derivados en Colombia ha mostrado una dinámica interesante en los últimos años, en particular, los forward de tasa de cambio han crecido en forma considerable desde finales de los 90's, cuando el peso colombiano sufrió ataques especulativos que condujeron a la sustitución de la banda cambiaria por un régimen de libre flotación. Sin embargo, como es mostrado por Gómez, Vásquez y Zea (2005) el mercado de derivados en Colombia presenta varias fricciones que no permiten que opere de manera perfecta, entre ellas:

- Limitaciones en la posición de caja del sistema financiero, que no permite una cobertura ilimitada de su posición de derivados.
- La falta de acceso de los agentes internos al mercado de crédito externo, y así mismo, limitaciones en el arbitraje de precios entre el mercado de derivados y de contado.
- Los fondos de pensiones tienen una limitante máxima de la posición externa sin cobertura, lo que les genera una posición débil de negociación en el mercado de derivados.

3.1. Una Aproximación Histórica del Mercado Cambiario

A lo largo de su historia, Colombia ha experimentado diferentes sistemas de determinación de la tasa de cambio, que han sido establecidos por el Banco de la República, con el objetivo de asumir satisfactoriamente las características principales de la situación económica del país en cada periodo, además de brindar herramientas para el manejo de la política monetaria y cambiaria, como es mostrado por Urrutia, M. (2002). Antes de 1967, la tasa de cambio era fija, pero se tenía que devaluar periódicamente debido a que la inflación en Colombia era mayor que la de nuestro principal socio comercial, Estados Unidos. A partir de entonces, se instituyó la devaluación gradual, *crawling peg*¹¹, sistema que permitió evitar ataques especulativos contra el peso cuando la tasa de cambio se volvía no competitiva, o crecía aceleradamente la demanda por divisas, como lo muestra Urrutia, M. (2002).

En el año 1991 como resultado de la entrada masiva de capitales, el régimen cambiario fue modificado por la junta Monetaria del Banco de la República que introdujo el sistema de certificado con descuento, que eran entregados a cambio de las divisas y se negociaban en la bolsa, lo cual obligaba a posponer la monetización de divisas, debido a que quien deseara liquidar el certificado antes del plazo establecido, lo tendría que hacer al descuento. No obstante, el flujo de capitales continuó, lo que condujo a que en enero de 1994, se eliminara este sistema y diera paso al régimen de bandas cambiarias, en el cual, la tasa de cambio nominal podía fluctuar al interior de un margen predefinido y el Banco se comprometía a intervenir cuando la tasa llegara a los límites de dicha franja. Este sistema trajo consigo una mayor independencia de la política monetaria dando por resultado un mejor control sobre las tasas de interés. De otro lado, este sistema afrontó positivamente las fluctuaciones del tipo de cambio durante la crisis política del gobierno Samper, evitando una corrida frente al peso y durante la época de las privatizaciones en 1996, mitigando los efectos de la revaluación del peso, frente a una fuerte entrada de capitales.

¹¹ Sistema de depreciación progresiva y controlada de la moneda donde el ritmo de la devaluación estaba predeterminado y la tasa de cambio era conocida con anterioridad.

Al finalizar la década de los noventa, se presentó un retiro masivo de los flujos de capital, resultado de la crisis asiática y rusa, lo que llevo a fuertes presiones especulativas sobre la banda cambiaria, que requirieron de la venta masiva de reservas. Después de varias modificaciones al nivel de la banda, el Banco de la República decidió en septiembre de 1999, que el país entrara en un régimen muy cercano al de libre flotación, donde el mercado determinaría el tipo de cambio, pero se dejaba abierta la posibilidad para que la autoridad monetaria y cambiaria interviniera a través del ejercicio de opciones call y put, con el fin de evitar cambios repentinos y bruscos en el precio de la moneda. En los últimos 3 años, Colombia ha experimentado una fuerte revaluación, que condujo a que se implementaran intervenciones de índole discrecional en el mercado cambiario a partir del año 2004.

3.2. Evolución Reciente del Mercado Forward

Con el fin de describir un panorama que permitiera demostrar la importancia que tiene el mercado de forwards en Colombia para los agentes económicos que buscan cumplir con todas sus operaciones financieras y generar herramientas de cobertura contra el riesgo de la tasa de cambio, se recurrió a la información recopilada por la encuesta¹² que realizó el Banco de Pagos Internacionales (BIS) a nivel mundial durante el mes de abril de 2004, sobre el tamaño y estructura del mercado cambiario y de derivados. De acuerdo con los resultados de la encuesta, el monto de negociaciones de contado que se reporto ascendió a US\$14,655 millones, y el de derivados a US\$6,038 millones, representando respectivamente el 70% y 30% del rubro total de las transacciones sobre tasa de cambio registradas en abril de 2004. *Tabla 1.* Así mismo, del total de operaciones de derivados, US\$5,229 millones correspondieron a contratos forward, US\$427 millones a Foreign Exchange Swaps, US\$123 millones a Currency Swaps y US\$259 millones a currency option, demostrando que los contratos forward sobre tasa de cambio obtuvieron la mayor participación con el 87%.

Tabla 1.
Monto Transado y Promedio Diario de Operaciones del Mercado Cambiario durante Abril de 2004
(Millones de Dólares)

Instrumento	Monto Transado	Promedio Diario
Operaciones de Contado	14.655	733
Operaciones de Derivados	6.038	201
Contratos Forward	5,229	261
Foreign Exchange Swaps	427	21
Currency Swaps	123	6
Currency Options	259	13
Total	20.693	1.035

Fuente: Banco de la República

Dentro del total de transacciones en el mercado cambiario durante el mes de abril de 2004, el 88% implicó la negociación entre el Peso Colombiano (COP) y la divisa americana (USD), por un valor de (US\$18,278 millones). Dentro de este monto, las operaciones de contado participan con el 72% y las de derivados con el 28% restante. Es necesario resaltar la participación de los contratos “forward” con el 24%. Por su parte, las negociaciones que se realizaron basadas en monedas diferentes al Peso Colombiano, aumentaron a un valor de US\$2,415 millones, siendo las del Dólar Americano/Euro las más representativas con el (87%). Las operaciones de contado entre estas dos monedas ascendieron a US\$1,275 millones (60%), en tanto que las de derivados fueron de US\$820 millones (40%), siendo nuevamente los contratos forward el instrumento derivado más importante. *Tabla 2.*

¹² En Colombia, el Banco de la República fue el encargado de administrar y consolidar los resultados de la encuesta, la cual se dividió en dos partes: La primera, se orientó a reunir información del volumen de negociación del mercado cambiario de contado y de las operaciones de derivados de tasa de cambio y tasa de interés durante abril de 2004. En la segunda parte, se pretendió reunir información del saldo vigente de los instrumentos derivados de tasa de cambio, tasas de interés, acciones, bienes, crédito y otros instrumentos derivados a junio de 2004.

Tabla 2.
Relación de las Unidades Monetarias Transadas en el Mercado Cambiario durante Abril de 2004
(Millones de Dólares)

Instrumento	COP/USD	USD/EUR	Otras Monedas
Operaciones de Contado	13,182	1,275	198
Operaciones de Derivados	5,096	820	122
Contratos Forward	4,303	813	113
Foreign Exchange Swaps	419	7	1
Currency Swaps	123	0	0
Currency Options	251	0	8
Total	18,278	2,095	320

Fuente: Banco de la República

Las transacciones del mercado cambiario en Colombia cuentan con la participación del Peso Colombiano (COP), el Dólar Americano (USD), el Euro (EUR), el Yen Japonés (JPY), la Libra esterlina (GBP), el Franco Suizo (CHF), el Dólar Canadiense (CAD), el Dólar Australiano (AUD) y el Bolívar Venezolano (VEB), entre otras. De igual forma la mayoría de estas negociaciones se concentran entre agentes del sector financiero¹³, las cuales ascendieron a US\$16,146 millones (80%), mientras los restantes US\$4,544 millones (20%) corresponden a operaciones entre los IMC y agentes del sector no financiero. *Tabla 3.*

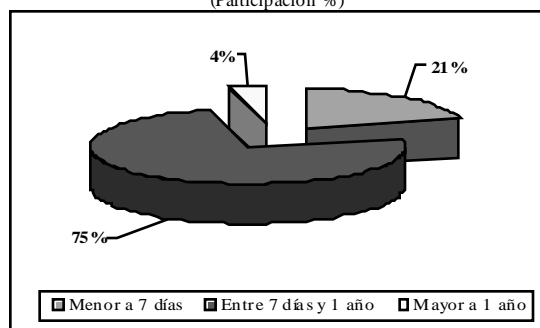
Tabla 3.
Relación de los Agentes que Realizaron Operaciones en el Mercado Cambiario durante Abril de 2004
(Millones de Dólares)

Instrumento	Sector Financiero	Sector No Financiero
Operaciones de Contado	11,680	2,975
Operaciones de Derivados	4,469	1,569
Contratos Forward	3,685	1,544
Foreign Exchange Swaps	411	16
Currency Swaps	114	9
Currency Options	259	0
Total	16,149	4,544

Fuente: Banco de la República

En la encuesta también se observan los plazos de cumplimiento de los contratos forward en el mercado colombiano, los cuales se presentan en plazos entre 7 días y 1 año con el 75%, y inferiores a 7 días con el 21%.

Gráfico 4.
Plazo de Negociación de los Contratos Forward Sobre la Tasa de Cambio durante Abril de 2004
(Participación %)



Fuente: Banco de la República

¹³ El BIS agrupó las operaciones por tipo de contraparte en tres grupos: i) Entidades Financieras Participantes ii) Otras instituciones financieras (fondos de pensiones, compañías de seguros, bancos centrales, y otras entidades financieras no reportantes y iii) Sector no Financiero (firmas corporativas, gobierno, etc.).

Se estima que la información recopilada recogió el 67% de las operaciones del mercado cambiario de contado, y el 95% de los contratos forward negociados durante el mes de abril, de los cuales el 79% fueron pactados bajo la modalidad de cumplimiento “Non Delivery Forwards”.

3.2.1. Regulación y Normatividad

Los contratos de derivados financieros son autorizados en la Resolución 8 de 2000 expedida por el Banco de la República, y hacen referencia específica al cubrimiento del riesgo originado por fluctuaciones en la tasa de cambio, tasa de interés e índices bursátiles. Así mismo, autoriza la realización de futuros, forwards, swaps, opciones, cualquier combinación de las anteriores, y los productos denominados techos “caps”, pisos “floors” y collares “collars”. La liquidación de los contratos suscritos entre residentes e IMCs, o entre éstos, debe realizarse en moneda legal colombiana a la tasa pactada, salvo que exista una obligación o un derecho con el exterior que resulte de una operación de canalización en el mercado cambiario y se haya pactado entre las partes la entrega de las divisas. De otro lado, los residentes en el país distintos de los IMCs, pueden realizar contratos de derivados sobre precios de productos básicos con agentes del exterior que realicen este tipo de transacciones de manera profesional.

4. La Valoración de Activos Financieros.

Una inversión financiera, se genera cuando se adquiere un derecho sobre una inversión real ya existente. Por ejemplo, la propiedad sobre las acciones de una empresa que permiten recibir unos beneficios futuros en forma de ganancias ó pérdidas de capital y dividendos. Así mismo, cuando las firmas requieren financiar sus inversiones reales, emiten bonos que son adquiridos por inversionistas individuales ó institucionales, cuya propiedad les otorga el derecho sobre unos recursos inciertos en el futuro.

Lo importante para el inversionista, es que en el momento de tomar la decisión sobre la realización de la inversión financiera dada la información disponible, realice la mejor estimación posible del valor de los flujos futuros que adquirirá. Este es precisamente el objetivo de los modelos de valoración de activos: estimar a precios de hoy el valor de los derechos adquiridos sobre recursos futuros asociados a inversiones reales, ajustando dicho valor por el riesgo que conlleva la inversión y el tiempo que tardará en recuperarse.

Lo anterior, ha implicado que la economía financiera se concentre en la construcción de modelos teóricos sobre los determinantes de los precios de los activos financieros a partir de un comportamiento racional, en el cual se plantea el problema de maximización de una función de utilidad esperada, sujeta a unas determinadas restricciones dada la información disponible, o en forma alternativa, en planteamientos que se fundamentan en la ausencia de posibilidades de arbitraje en el mercado. Lo anterior implica la existencia de dos enfoques o técnicas alternativas en el campo de la valoración de los activos financieros:

- Modelos de equilibrio general, que descansan en el análisis tradicional de demanda y oferta, el comportamiento optimizador de los agentes económicos y el vaciado de mercado, en el cual los precios se determinan endógenamente.
- La valoración bajo ausencia de arbitraje, que se basa en replicar los flujos de caja futuros de los activos que queremos valorar mediante combinaciones de otros instrumentos ya existentes, cuyos precios se toman como dados.

4.1. Valoración en Modelos de Equilibrio General

Los modelos de equilibrio general tienen ventajas importantes en mercados y contextos donde las fricciones institucionales son relevantes, sin embargo, es necesario adoptar supuestos especializados sobre la naturaleza de

las preferencias de los individuos o sobre los procesos estocásticos de las variables económicas. Un gran número de modelos analíticos con predicciones muy precisas sobre el comportamiento de los precios con relación al riesgo soportado han sido propuestos durante los últimos años para una gran variedad de activos financieros.

Este tipo de modelos de valoración necesitan, en primer lugar, conocer las demandas óptimas de los distintos agentes de forma que puedan agregarse y así conducir a la noción de equilibrio. En otras palabras, agentes económicos dotados cada uno de cantidades iniciales de cada bien o activo financiero, intercambian entre sí de acuerdo con sus preferencias y de forma que lo que se desea vender de cada bien en el agregado es igual a lo que se desea comprar. Las proporciones en que se intercambian los bienes son unas constantes que coinciden con la tasa a que cada agente está dispuesto a intercambiar, y que reciben en nombre de precios de equilibrio, constituyendo el objeto principal de explicación de la economía financiera.

En otras palabras, los modelos de equilibrio general se basan en un conjunto de consumidores y empresas que, bajo ciertas preferencias y dotaciones, maximizan algún índice de satisfacción, buscando un conjunto de precios que iguale la demanda y oferta de bienes. Dentro del análisis tradicional del equilibrio es necesario contemplar la condición de ausencia de arbitraje, debido a que esta es una condición necesaria para el equilibrio, ya que en caso contrario, los agentes demandarían cantidades infinitas del bien y el equilibrio no se alcanzaría. Sin embargo, no es una condición suficiente.

4.2. Valoración en un Contexto de No Arbitraje.

En la última década el enfoque basado en el supuesto de ausencia de arbitraje se ha generalizado gracias a su enorme utilidad práctica, la cual es explicada principalmente por:

- Los escasos supuestos que resultan necesarios para alcanzar predicciones precisas sobre la evolución de los precios, y que radica principalmente en la necesidad de suponer solamente que los agentes económicos son racionales.
- La existencia de reglas de valoración y cobertura explícitas, lo cual tiene implicaciones muy relevantes para la asignación de los recursos en un entorno de incertidumbre.

En la valoración mediante arbitraje no se hace referencia ninguna a las funciones de demanda, preferencias o dotaciones de los agentes, simplemente dice que si un conjunto de precios prevalece en los mercados, entonces tales precios deben relacionarse de forma que no presenten oportunidades de arbitraje. Una oportunidad de arbitraje es una estrategia financiera que permite ganar dinero sin realizar ninguna inversión en el momento presente, nunca requerirá compromiso de pago futuro y sin embargo, tiene la certeza de recibir dinero en algún momento a lo largo del tiempo. Alternativamente, una estrategia de arbitraje permite obtener una cantidad positiva de dinero en el momento actual pero no requiere compromiso de pago alguno en ninguna circunstancia futura.

El ejemplo más sencillo de una estrategia de arbitraje se presenta cuando en un mercado se está negociando el mismo activo a precios diferentes. En este caso, se compra al menor valor y se vende simultáneamente en el mismo mercado al precio más alto, teniendo en cuenta, que la diferencia entre estos dos precios debe exceder los costos de transacción y endeudamiento, en el cual se incurre durante el periodo necesario para llevar a cabo la operación.

Así el principio de valoración bajo no arbitraje, indica que en el caso de poderse construir un portafolio autofinanciado, que replique los flujos de caja en cada momento futuro para cada contingencia o estado de la naturaleza, para evitar oportunidades de arbitraje, el costo del portafolio réplica deberá ser igual al precio del activo que se desea replicar.

4.2.1. La Condición de No Arbitraje.

Dentro de la teoría económica moderna, la *condición de no arbitraje* y los conceptos de *replicación* y *valoración de flujos simples de caja*¹⁴ constituyen el pilar fundamental en la fijación del precio de los activos financieros. Los *activos sintéticos* se obtienen al combinar el flujo de caja de diversos instrumentos disponibles en el mercado, con el propósito de replicar el de un activo específico.

De otra parte, bajo condiciones de eficiencia en el mercado, el argumento de no arbitraje implica que el precio de nuestro activo sintético deberá coincidir con el precio del activo cuyos flujos de caja replica, o de lo contrario existirían posibilidades de arbitraje que conducirían a flujos de caja positivos con cero inversión y sin riesgo. No obstante, en la práctica las oportunidades de arbitraje existen, llevando a que los precios bajo no arbitraje sean distintos de los vigentes en el mercado. Sin embargo, la valoración de los activos financieros bajo no arbitraje permiten entre otras utilidades:

- Servir como herramienta de valoración de nuevos productos financieros que no han sido transados en el mercado, y por tanto su precio no ha sido aún observado.
- En la medición del riesgo de portafolios que son simulados periódicamente en distintos escenarios, con precios que necesitan ser estimados bajo condiciones hipotéticas que no han sido observadas.
- En la valoración de portafolios, que incluyen instrumentos financieros que por su baja liquidez, no son negociados frecuentemente y por tanto no se les conoce un precio de mercado.
- Para análisis comparativos frente a los precios observados en el mercado en las transacciones actuales. Diferencias significativas entre estos precios, permiten evidenciar la existencia de *oportunidades de arbitraje* que podrían ser aprovechadas por los agentes del mercado en periodos cortos de tiempo.

Siguiendo a Neftci (1996), la Formalización de la Condición de No Arbitraje puede ser planteada de la siguiente forma:

Se define el conjunto de precios para todos los activos financieros relevantes en el mercado como el vector S_t ,

$$S_t = \begin{pmatrix} S_1(t) \\ S_2(t) \\ \vdots \\ S_N(t) \end{pmatrix}$$

donde el precio de cada activo en forma individual en el tiempo¹⁵ t es denotado por $S_i(t)$.

Así mismo, dado que los activos financieros en un tiempo futuro s tienen diferentes precios, no necesariamente conocidos y por tanto distintos pagos, según las condiciones específicas de la economía y en particular del mercado financiero, las cuales son denominadas los *Estados de la Naturaleza* que son definidos por el vector W ,

¹⁴ En finanzas el precio de cualquier flujo de caja es su valor presente descontado a la tasa apropiada ajustada por riesgo.

¹⁵ El subíndice t en tiempo discreto indica que el precio de los títulos puede ser expresado como S_0, S_1, \dots, S_t , mientras que en tiempo continuo el subíndice $t \in [0, \infty)$. Así 0 denota el punto inicial y t representa el presente. Si $t < s$, entonces s representará una fecha futura.

$$W = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_K \end{pmatrix}$$

donde w_i representa un resultado diferente que podría ocurrir en cada uno de los posibles estados, denotados por un número finito K , mutuamente excluyentes y donde se garantiza que al menos uno de ellos debe darse.

De otra parte, se define el *Pago* que recibe una unidad del activo financiero i en el estado j como d_{ij} . Este corresponde para cada uno de los posibles estados de la naturaleza a las ganancias o pérdidas del activo por el comportamiento de su precio en el mercado, e incluye también los rendimientos asociados con el mismo, por ejemplo, los dividendos en el caso de acciones ó el pago de intereses por cupones en títulos de deuda. Así, en un mercado cualquiera, la función de payoff de sus activos financieros puede ser agrupada por la matriz D ,

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1K} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{N1} & \cdots & d_{NK} \end{pmatrix}$$

donde N es el número total de activos y K es el número de estados de la naturaleza, y cada una de las filas representa el payoff de una unidad de un activo en los distintos estados posibles del mundo. El *Portafolio* es definido como una combinación determinada de N activos, denotada por el vector θ ,

$$\theta = \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_N \end{pmatrix}$$

donde θ_i representa el valor de la tenencia del activo i . De esta forma, $\theta_i > 0$ implica una posición larga en el activo, mientras que $\theta_i < 0$ corresponde a una posición corta y si $\theta_i = 0$ significa que el activo i no es incluido dentro del portafolio. Si un portafolio arroja el mismo pago en todos los estados de la naturaleza, entonces su valor es conocido exactamente y por tanto se dice que es libre riesgo. A partir de la definición de la matriz de pagos, D , y del portafolio θ , se puede definir el *Valor del Portafolio* θ como :

$$S_t' \theta = \sum_{i=1}^N S_i(t)$$

el cual corresponde a la inversión total realizada en el momento t . Así mismo se puede plantear el *Pago del Portafolio* θ en el estado j como:

$$D' \theta = \begin{pmatrix} d_{11} & \cdots & d_{1K} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{N1} & \cdots & d_{NK} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_N \end{pmatrix}$$

Para un portafolio θ se dice que no existen oportunidades de arbitraje, si no se cumple cualquiera de las dos siguientes condiciones:

- $S'_t\theta \leq 0$ y $D'\theta > 0$. En la primera condición, el portafolio garantiza un retorno positivo sin incurrir en ningún costo en t .
- $S'_t\theta < 0$ y $D'\theta \geq 0$. En la segunda condición se garantiza un rendimiento no negativo incurriendo en un costo negativo en t .

4.3. Valoración de Contratos Forward Sobre la Tasa de Cambio

Un *Forward Sobre la Tasa de Cambio*, es simplemente un contrato forward en el cual el activo financiero subyacente corresponde a una moneda extranjera¹⁶. En otras palabras, se puede definir como un acuerdo entre dos agentes en $t=0$, en el cual una de las partes se compromete a entregar a otra en $t=1$ una unidad de moneda extranjera a cambio de una cantidad fija, FF , de unidades de la moneda local, denominada *Tasa Forward*. El agente que se ha comprometido a vender la moneda extranjera es considerado la parte con la posición corta en el contrato, mientras que el otro agente es considerado la parte con la posición larga.

A raíz del contrato forward que se estableció, se hace necesario determinar la tasa forward, FF , que deberá ser pagada en el tiempo $t=1$, la cual puede ser determinada a partir de la condición de no arbitraje y la replicación de los flujos de caja. Una posible estrategia que permite replicar los flujos de caja del contrato forward puede ser la siguiente:

- En el periodo $t=0$ se piden prestadas $F_E/(1+R_E)$ unidades de moneda extranjera a la tasa libre de riesgo en el mercado externo, R_E , las cuales son intercambiadas por $F_D/(1+R_E)$ unidades de moneda doméstica a la tasa de cambio corriente en el mercado spot, e invertidas en el mercado interno a la tasa libre de riesgo, R_D .
- En el periodo $t=1$, se paga el crédito en moneda extranjera solicitado en $t=0$, con sus respectivos intereses, correspondientes a F_E unidades de moneda externa¹⁷, y se reciben $[F_D(1+R_D)]/(1+R_E)$ unidades de la moneda doméstica resultado de la inversión realizada en $t=0$.
- A su vez, en el periodo $t=1$, se da cumplimiento al contrato forward, de forma que se recibe una unidad de moneda externa F_E que independiente del estado de la naturaleza ($j=1,2,3$) y así mismo de la tasa de cambio vigente en $t=1$, ($F_j = F_1, F_2, F_3$), se utiliza para cancelar el préstamo vigente y se entregan FF unidades de moneda doméstica.

Tabla 4.
Flujo de Caja de un portafolio que permite replicar un contrato forward

$t=0$	$t=1$
$F_D/(1+R_E)$	$-F_E$
$-F_D/(1+R_E)$	$[F_D(1+R_D)]/(1+R_E)$
0	F_E
0	$-FF$
0	$[F_D(1+R_D)]/(1+R_E) - FF$

¹⁶ Incluye transacciones en las cuales en la fecha de cumplimiento sólo se intercambia el diferencial entre la tasa pactada (tasa forward) y la tasa de mercado (tasa spot), denominadas *Non Delivery Forward (NDF)*.

¹⁷ La tasa de cambio es citada en términos de la cantidad de moneda doméstica necesaria para comprar una unidad de la moneda extranjera.

El flujo de caja del agente con la posición larga sobre el contrato forward, puede ser representado de la siguiente forma: *Tabla 4*. El flujo neto del portafolio que se construyó es libre de riesgo e igual a $[F_D(1 + R_D)]/(1 + R_E) - FF$. Si su valor es positivo representa posibilidades de arbitraje con ganancias para el agente con la posición larga del contrato, mientras que en caso de ser negativo, la estrategia de arbitraje le representará beneficios a la parte con la posición corta. Así, bajo la condición de no arbitraje, el flujo neto $[F_D(1 + R_D)]/(1 + R_E) - FF$ debe ser igual a cero para que no existan ganancias libres de riesgo y con un costo de inversión de 0.

$$[F_D(1 + R_D)]/(1 + R_E) - FF = 0$$

La condición anterior, al ser organizada permite identificar la tasa que se debe fijar el día de negociación del contrato forward, bajo la cual se entregará una unidad F_E de moneda extranjera a cambio de FF unidades de moneda local:

$$FF = [F_D(1 + R_D)]/(1 + R_E)$$

la cual es conocida como: *la paridad cubierta de las tasas de interés*, cuyo concepto básico es que la tasa forward se fija en relación a la spot, de manera que capture el spread de tasas entre el mercado doméstico y externo, bajo la idea de que no existen oportunidades de arbitraje que permitan ganancias libres de riesgo. De otra parte, se esperaría que la tasa forward fuera un estimador insesgado del valor esperado de la tasa de cambio spot futura. Sin embargo, en un mercado de capitales imperfecto, existen fricciones y costos de transacción que conducen a que no se cumpla el teorema anterior y que las tasas forward no sean predictores óptimos de las tasas spot futuras, entre otras razones, por que incorporan una *prima por riesgo* que varía a través del tiempo, cobrada por los intermediarios financieros como compensación por el riesgo y los costos de transacción que asumen dentro de las operaciones que realizan.

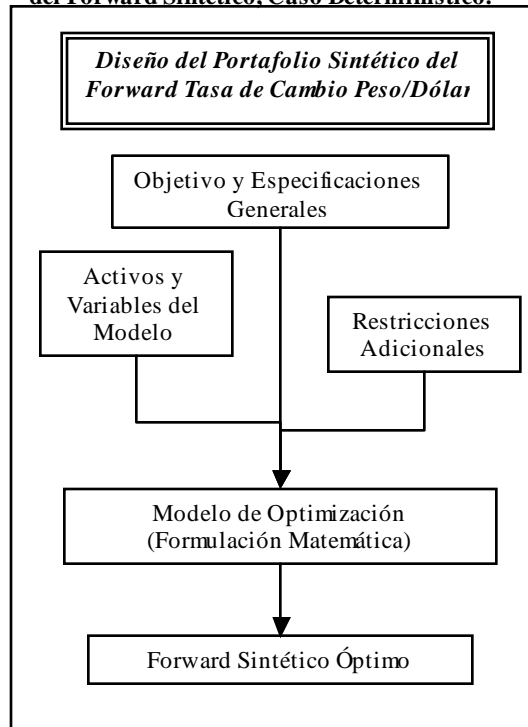
En general, si los agentes interesados en la cobertura mantienen posiciones cortas, mientras los IMC están largos, la tasa forward estará por debajo del valor esperado del precio spot futuro, de forma que estos últimos tengan una expectativa positiva de ganancia en la fecha de cumplimiento del derivado, mientras que los agentes que se cubren estarían aceptando un payoff esperado ligeramente negativo. Por el contrario, si los agentes que se están cubriendo tienen posiciones largas mientras los IMC están cortos, la tasa forward debería estar por encima del valor esperado del precio spot futuro.

5. Diseño y Estructuración Óptima del Forward Sintético, Caso Determinístico.

En esta sección se presenta el desarrollo de un modelo de optimización que busca determinar las cantidades óptimas de un conjunto de activos financieros, que puedan replicar los flujos de caja de un forward sobre tasa de cambio. Debido a que el periodo de análisis comprende entre el mes de enero de 2000 y junio de 2005, se tiene certeza sobre todas las variables del modelo, lo cual implica que sólo existe un estado de la naturaleza, el cual es conocido con anterioridad y por tanto se habla de un modelo determinístico.

El desarrollo del problema de optimización se da según la Figura 1. Se plantean en primer lugar los objetivos y especificaciones generales del modelo, después se define el conjunto de activos financieros que serán utilizados, e igualmente se agrupa la información de todas las variables que se requiera incluir. En seguida se incorporan nuevas restricciones que puedan hacer más realista el modelo, aunque este puede llegar a ser más complejo. Finalmente se lleva a cabo su aplicación, y sobre sus resultados se obtienen extra conclusiones para el análisis.

Figura 1.
Proceso de Estructuración Óptimo
del Forward Sintético, Caso Determinístico.



5.1. Objetivos y Especificaciones Generales

El objetivo fundamental del modelo es la determinación de las cantidades óptimas que deben hacer parte de un portafolio que se adquiere el día t , que permite replicar los flujos de caja que se generan en la operación de un forward tradicional en la fecha $t+d$, cuando se da cumplimiento al derivado. Con el fin de simplificar el análisis, de aquí en adelante se hará referencia específica a *Forwards de compra sobre tasa de cambio Dólar (USD) / Peso Colombiano*, no obstante, tanto la metodología utilizada en el ejercicio como el modelo de optimización, son aplicables a los *Forward de venta*.

En el día de negociación del derivado, el agente del sector real tiene que tomar la decisión de aceptar o no la firma de un contrato forward de compra: En caso de aceptar el derivado, el agente recibirá un dólar en la fecha $t+d$, y al mismo tiempo pagará el precio que fue pactado el día de la negociación. La anterior operación desde el punto de vista del flujo de caja, arroja como resultado un ingreso en la fecha $t+d$, correspondiente a un dólar (US\$1) en el caso de ser un *DF* ó la tasa de cambio spot si se trata de un *NDF*, mientras que se genera un egreso igual al valor de la tasa forward que fue pactada, aunque teóricamente el flujo neto de caja debería ser igual a 0, porque el precio forward debe igualar la tasa de cambio spot futura, sin embargo, en la práctica estas tasas son diferentes. De otra parte, antes de la fecha de cumplimiento del contrato no se genera ningún flujo.

Como el objetivo del modelo es replicar los movimientos de caja de la operación forward, el diseño del portafolio sintético exige que:

1. El egreso que se genera en la fecha t por la adquisición del portafolio sea compensado con un ingreso igual al monto de la inversión que se realizó, para lo cual se supone que el agente recibe un desembolso en pesos resultado de la financiación con una entidad financiera.

2. No existe ningún tipo de entrada o salida de recursos antes de la fecha $t+d$. Sin embargo, la tenencia de activos dentro del portafolio puede generar ingresos por ejemplo por el pago de cupones y/o principal en el caso de bonos y dividendos por acciones, las cuales se supone son reinvertidos de manera inmediata a la tasa vigente en el mercado hasta la fecha en la cual se debería dar cumplimiento al derivado.
3. Generar en $t+d$ un flujo de caja igual a la diferencia entre la tasa spot futura y la tasa forward pactada, la cual puede ser negativa, positiva o igual a 0, dependiendo de la evolución en el comportamiento real de la tasa de cambio y la estimación que hicieran los IMC sobre el valor esperado del precio del dólar.

Dentro del modelo, el flujo anterior es resultado de un ingreso que se obtiene a partir de la venta del portafolio a precios de mercado en $t+d$ y debe replicar el valor de la tasa de cambio spot en esa fecha. Por otra parte la salida de recursos de caja se genera por el pago del capital del préstamo que se recibió en t , con los intereses que se generaron durante el periodo de la operación, y debe por su parte replicar el valor de la tasa forward. La replicación del flujo de caja en $t+d$ puede ser analizada en mayor detalle en los siguientes tres escenarios:

- Si la tasa spot futura SP_{t+d} es mayor que la tasa forward F_{t+d} : implica que el ingreso que se recibe por la venta del portafolio sintético es utilizado para pagar el préstamo con sus respectivos intereses, generando un flujo de caja igual al del *NDF*. Si se requiere replicar un *DF*, se presenta en forma adicional un egreso de caja igual al valor de la tasa spot descontando el excedente que se generó en la venta del portafolio sintético, mientras se recibe un dólar. Como se puede observar, en términos netos el flujo de caja permanece inalterado.
- Si $SP_{t+d} = F_{t+d}$: en este caso el ingreso obtenido con la venta del portafolio es igual al valor de la cancelación del préstamo con sus respectivos intereses y por tanto la diferencia de caja es 0, replicando el *NDF*. Si se quiere construir un *DF*, se requiere un egreso de caja igual al valor de la tasa spot y se presenta como ingreso la entrada de un dólar; en términos netos, el flujo de caja no se altera.
- Si $SP_{t+d} < F_{t+d}$: Bajo este escenario, los ingresos obtenidos por la venta del portafolio sintético resultan siendo menores que el valor que debe ser cancelado por concepto de los intereses y capital del desembolso utilizado para realizar la inversión en t , por lo cual se genera una pérdida igual al flujo negativo que se obtendría en el *NDF*. Con el fin de replicar el *DF* se presenta un egreso igual al valor de la tasa de cambio que permite adquirir un dólar en el mercado spot, y así, se mantiene el flujo negativo de la operación planteada en el activo sintético.

En esta parte del modelo es necesario plantear la inquietud sobre la existencia de un portafolio que bajo las condiciones vigentes en el mercado permitan garantizar que se replique un flujo de entrada igual al valor de la tasa de cambio spot en $t+d$, al mismo tiempo que se presenta una salida de recursos económicos para la cancelación del préstamo y sus intereses por un valor menor al de la tasa forward, y/o menor o igual al de la tasa spot futura, lo que permitiría para el agente un flujo de caja positivo y la oportunidad de realizar operaciones de arbitraje.

5.2. Universo de Activos y Variables del Modelo

Uno de los puntos más importantes en el proceso de construcción del forward sintético radica en la especificación del conjunto de instrumentos financieros sobre el cual el agente del sector real debe tomar la decisión de escoger que activos y en que cantidad, deben hacer parte del portafolio óptimo que garantice la replicación de los flujos de caja del forward tradicional. El conjunto de activos que se determinó como adecuado para el agente en forma a priori de acuerdo con la disponibilidad para su negociación en el mercado financiero colombiano se concentró en tres tipos de instrumentos: *Títulos de deuda pública interna, TES B, Acciones* y

Monedas. Toda la información que se incorpora dentro del modelo de optimización tiene como periodo de análisis entre el 3 de enero de 2000 y el 30 de junio de 2005, con una periodicidad diaria.

Títulos de Deuda Pública Interna (TES).

Dentro de este conjunto se incluyeron títulos de deuda pública interna, TES B, emitidos por el gobierno colombiano con una tasa de interés fija, denominados en Pesos, en unidades de valor real, UVR, y en dólares. En el primer subconjunto de títulos TES B, denominados en pesos, se incorporaron 103 bonos, siendo estos los que registran la mayor realización de transacciones en el mercado secundario durante el periodo de análisis, y por tanto tienen registrado un precio de negociación, ya sea en el Sistema Electrónico de Negociación del Banco de la República, SEN, ó en el Mercado Electrónico Colombiano de la Bolsa de Valores de Colombia, MEC.

Dentro del conjunto de los 103 bonos TES B denominados en pesos que se incluyeron se encuentran discriminados en 3 grupos: 41 bonos en los que se negocia tanto el principal como sus cupones, *TFIT*, así como 22 bonos en los cuales se negocia sólo el principal, *TFIP*, y 40 bonos en los que se negocia sólo el cupón, *TFIC*. Siguiendo el mismo criterio utilizado anteriormente, de tomar sólo aquellos títulos que hubieran registrado la mayor cantidad de precios de negociación durante el periodo de análisis, se escogieron 11 bonos TES UVR y 9 bonos TES en dólares. Con respecto a la información sobre los precios de los TES B, se utilizó el *precio sucio promedio* entre el SEN y el MEC. Este precio, además de permitir una valoración del título, incorpora el efecto de caja al momento de comprar o vender el bono, dado que tiene en cuenta los intereses acumulados por concepto de cupones, lo cual es de suma importancia dentro de la replicación de los flujos de caja. En el *Anexo 1*, se presenta la evolución en el precio sucio de algunos TES en Pesos, Tasa Fija.

Con el fin de aproximarse al verdadero movimiento de caja que tendría un agente cuando realiza inversiones en portafolios que incluyen TES B, es necesario incluir el ingreso por concepto de cupones expresados en porcentaje sobre el valor nominal de la tenencia del bono. En el caso de los TES B, estos títulos pagan cupones anuales y de acuerdo al principal, también están denominados en pesos, UVR y dólares. La información de las tasas de interés, y las fechas de pago para cada título se encuentra disponible en la Bolsa de Valores de Colombia.

Mercado Accionario.

La información incorporada por parte del mercado accionario correspondió a un conjunto de 24 acciones, que presentan la mayor negociación diaria en la bolsa, y son consideradas de alta bursatilidad. La fuente de los datos sobre los precios de mercado de cada acción durante los días de negociación entre el mes de enero de 2000 y el primer semestre de 2005 fue tomada de la Superintendencia Financiera¹⁸, y correspondió específicamente al precio promedio diario de cotización. En el *Anexo 2*, se muestra el comportamiento en el precio diario de cotización de algunas acciones.

Junto con las acciones, es necesario contemplar el pago de los dividendos a los accionistas que las poseen, debido a que este es un flujo de caja necesario para contemplar en el diseño del portafolio sintético óptimo. Se utilizó como fuente de información de los dividendos a BLOOMBERG¹⁹.

Mercado Cambiario.

Con respecto al mercado cambiario se incluyó la tasa de cambio spot de 8 monedas, correspondientes al dólar (USD), el euro (EUR), el Yen (JPY), la libra esterlina (GBP), el dólar canadiense (CAD), el dólar australiano

¹⁸ Antes del año 2006, se encontraba dividida entre la Superintendencia Bancaria y la Superintendencia de Valores. Toda la información del mercado accionario era administrada por la segunda entidad mencionada.

¹⁹ Corresponde a un Sistema de Información Financiera Internacional.

(AUD) y el bolívar venezolano (VEB). Con excepción del VEB, estas divisas son consideradas moneda de reserva por parte del Banco de la República, no obstante, esta última divisa es considerada de alta negociación en el mercado colombiano. La tasa de cambio de cada divisa está expresada en términos de pesos por unidad de moneda extranjera, y sus datos corresponden a una fuente internacional de información sobre divisas, denominada OANDA²⁰. En el *Anexo 3*, se presenta el comportamiento en la tasa de cambio de algunas monedas frente al peso colombiano.

Tasas Forward

En el caso de los precios forward para el dólar, se utilizó para cada fecha t el valor promedio de las tasas de negociación que se pactaron con vencimientos a 7, 15, 30 y 60 días en la compra de divisas a futuro, incluyendo operaciones *DF* y *NDF*. Se escogieron los plazos más representativos de acuerdo con la concentración de operaciones a futuro observadas en el mercado colombiano durante los últimos cinco años y que así mismo, permitieran hacer análisis comparativos del tamaño de la diferencia que se presenta entre el precio forward del dólar y la tasa spot futura en la fecha $t+d$.

Tasas de Interés

Se utiliza la tasa de interés de la curva spot, que indica el valor del dinero en el tiempo asumiendo una inversión libre de riesgo, la cual es estimada en cada fecha t para un plazo de d días, a partir de los valores beta que calcula la Bolsa de Valores de Colombia desde enero de 2003. Para el periodo anterior a esta fecha se utilizó la información de la curva CETES, que aunque presenta una tasa para cada fecha t tiene la desventaja de tener plazos específicos, donde el de menor duración corresponde a 180 días, y que se utilizó para empalmar la serie. La utilización de la tasa de interés de la curva spot y CETES, implica suponer que el agente dentro del mercado puede prestar y pedir prestado a la misma tasa de interés.

Con el fin de realizar ejercicios en los cuales no se haga uso del anterior supuesto, se involucran dentro del modelo una tasa de interés pasiva y otra activa. En el primer caso, se utiliza la tasa de captación de Depósitos a Término Fijo, DTF, calculada por el Banco de la República y que tiene una periodicidad semanal. Esta es la menor tasa a la cual son remunerados en promedio los depósitos de los agentes dentro del sistema financiero. En el caso de la tasa de interés de colocación, se utilizó la tasa preferencial, la cual es cobrada por los intermediarios del sistema financiero por préstamos de tipo corporativo. La fuente de esta información también fue el Banco de la República, y su disponibilidad fue semanal.

5.3. Modelo de Optimización.

A continuación se presenta una descripción del modelo de optimización que permite la construcción del forward sintético, no obstante, a partir del problema inicial se incluyen restricciones adicionales que permiten llegar a soluciones más interesantes para el agente que pretende cubrirse frente al riesgo cambiario, al limitar el número de activos que conforman el portafolio óptimo. En primera instancia, se hace descripción de las definiciones y notación que es utilizada:

Notación:

$BP = \{1, \dots, p\}$: Conjunto de bonos TES Tasa Fija Pesos.

$BU = \{1, \dots, q\}$: Conjunto de bonos TES UVR.

$BD = \{1, \dots, r\}$: Conjunto de bonos TES Dólares.

$A = \{1, \dots, m\}$: Conjunto de acciones.

²⁰ www.oanda.com

- $M = \{1, \dots, l\}$: Conjunto de monedas.
- $T = \{1, \dots, S\}$: Conjunto de puntos el tiempo.
- $i \in B$: Denota un bono TES, puede ser TES Tasa Fija Pesos, TES UVR, ó TES Dólares.
- $j \in A$: Denota una acción.
- $k \in M$: Denota una moneda.
- $t \in T$: Denota un punto en el tiempo, un día.
- d : Plazo en días del forward
- $PBP_{i,t}$: Precio sucio del TES Tasa Fija Pesos i el día t .
- $PBU_{i,t}$: Precio sucio del TES UVR i el día t .
- $PBD_{i,t}$: Precio sucio del TES Dólares i el día t .
- $PA_{j,t}$: Precio de una acción j el día t .
- $PM_{k,t}$: Precio de una moneda k el día t .
- $QBP_{i,t}$: Inversión en el TES Tasa Fija Pesos i el día t , expresado en valor nominal.
- $QBU_{i,t}$: Inversión en el TES UVR i el día t , expresado en unidades UVR y a valor nominal.
- $QBD_{i,t}$: Inversión en el TES Dólares i el día t , expresado en dólares y a valor nominal.
- $QA_{j,t}$: Número de acciones j el día t .
- $QM_{k,t}$: Unidades de la moneda k el día t .
- DP_t : Deuda en pesos requerida para financiar la adquisición del portafolio el día t .
- $F_{d,t}$: Tasa forward pactada el día t , con fecha de cumplimiento en d días.
- $Id_{d,t}$: Tasa de interés a un plazo de d días, vigente en la fecha t .
- $CBP_{i,t}$: Flujo de caja por pago de cupón y/o principal del TES Tasa Fija Pesos i el día t , expresado como % sobre el valor nominal del título adquirido.
- $CBU_{i,t}$: Flujo de caja por pago de cupón y/o principal del TES UVR i el día t , expresado como % sobre el valor nominal del título adquirido.
- $CBD_{i,t}$: Flujo de caja por pago de cupón y/o principal del TES Dólares i el día t , expresado como % sobre el valor nominal del título adquirido.
- $DA_{j,t}$: Flujo de caja por pago de dividendo por la acción j el día t .
- UVR_t : Valor de la unidad UVR el día t .
- SP_t : Tasa de cambio spot del dólar el día t , expresada como pesos por dólar.

5.3.1. Forward Sintético Versión 1

El problema de estructuración del portafolio óptimo que permite la replicación de los flujos de caja del forward, es definido bajo la siguiente formalización matemática:

Objetivo:

Min Costo Total del Portafolio =

$$PQB_t + \sum_{j=1}^m PA_{j,t} QA_{j,t} + \sum_{k=1}^l PM_{k,t} QM_{k,t}$$

donde :

$$PQB_t = \sum_{i=1}^p PBP_{i,t} QBP_{i,t} + \sum_{i=1}^q UVR_t PBU_{i,t} QBU_{i,t} + \sum_{i=1}^r SP_t PBD_{i,t} QBD_{i,t}$$

y

$$n = p + q + r$$

sujeto a :

$$PQB_t + \sum_{j=1}^m PA_{j,t} QA_{j,t} + \sum_{k=1}^l PM_{k,t} QM_{k,t} = DP_t \quad (1)$$

$$FCB_{t+d} + FCA_{t+d} + FCM_{t+d} = SP_{t+d} \quad (2)$$

donde :

$$FCB_{t+d} = FCBP_{t+d} + FCBU_{t+d} + FCBD_{t+d}$$

$$FCBP_{t+d} = \sum_{i=1}^p PBP_{i,t+d} QBP_{i,t} + \sum_{i=1}^p \sum_{v=1}^d (CBP_{i,t+v} QBP_{i,t}) * (1 + Id_{d-v,t+v})^{d-v}$$

$$FCBU_{t+d} = \sum_{i=1}^q UVR_{t+d} PBU_{i,t+d} QBU_{i,t} + \sum_{i=1}^q \sum_{v=1}^d (UVR_{t+v} CBU_{i,t+v} QBU_{i,t}) * (1 + Id_{d-v,t+v})^{d-v}$$

$$FCBD_{t+d} = \sum_{i=1}^r SP_{t+d} PBD_{i,t+d} QBD_{i,t} + \sum_{i=1}^r \sum_{v=1}^d (SP_{t+v} CBD_{i,t+v} QBD_{i,t}) * (1 + Id_{d-v,t+v})^{d-v}$$

$$FCA_{t+d} = \sum_{j=1}^m PA_{j,t+d} QA_{j,t} + \sum_{j=1}^m \sum_{v=0}^{d-1} (DA_{j,t+v} QA_{j,t}) * (1 + Id_{d-v,t+v})^{d-v}$$

$$FCM_{t+d} = \sum_{k=1}^l PM_{k,t+d} QM_{k,t}$$

$$DP_t * (1 + Id_{d,t})^d \leq F_{d,t} \quad (3)$$

$$PQB_t + \sum_{j=1}^m PA_{j,t} QA_{j,t} + \sum_{k=1}^l PM_{k,t} QM_{k,t} \leq F_{d,t} * (1 + Id_{d,t})^{-d} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} QBP_{i,t} \geq 0, \quad QBU_{i,t} \geq 0, \quad QBD_{i,t} \geq 0, \\ QA_{j,t} \geq 0, \quad QM_{k,t} \geq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Descripción del Modelo:

El objetivo del agente del sector real es minimizar la función que representa el costo total de portafolio que adquiere en el día t , el cual es igual a la suma del costo de la inversión en bonos TES B, acciones y monedas. A su vez, el valor invertido en los TES B, está dividido de acuerdo al tipo de unidad en la cual está denominado el bono, ya sea pesos, UVRs ó dólar. El costo de la inversión por instrumento es definido como el producto del precio del activo en fecha t , por la cantidad que es adquirida del mismo, y para el caso de los bonos denominados en UVRs y dólares, por el valor de cada una de estas unidades en la misma fecha. Con lo anterior, se llega a un costo total denominado en pesos, y valorado a precios de mercado.

El problema de minimización del costo total del portafolio, está sujeto a una serie de restricciones que aseguran que se replique de manera exacta el flujo de caja de la operación forward. La restricción (1), asegura que el flujo de caja neto en el periodo t sea igual a 0, al imponer la condición de que el costo total de adquisición del portafolio sea financiado, es decir que iguale el valor del desembolso en pesos que el agente requiere para su compra. Lo anterior implica, que se está suponiendo que el agente del sector real puede endeudarse en pesos en cualquier momento a la tasa promedio vigente en el mercado.

En la segunda restricción (2) se plantea que el flujo de caja que recibe el agente en el día $t+d$ debe ser igual al valor de la tasa de cambio spot en esa misma fecha. Como se observa en la restricción el flujo de caja, está compuesto por:

- Los ingresos en pesos y a valores de mercado que genera la venta del portafolio en $t+d$. Al igual que el costo de adquisición, la venta corresponde a una función lineal del precio de cada activo, en este caso en la fecha $t+d$, por la cantidad óptima que se adquirió de bonos TES B, acciones y monedas en t y en el caso de los bonos TES B, denominados en UVRs y dólares, cada uno por su respectiva unidad.
- Los ingresos en pesos que recibe el agente por concepto de pago de cupones y/o del principal en el caso de los bonos TES B, y de dividendos si se trata de acciones, y que son pagados en $t+d$, más los intereses y el capital que generan estos mismos activos si son recibidos en una fecha posterior a t y anterior a $t+d$, los cuales se supone son invertidos de forma inmediata en el mercado financiero, hasta el día $t+d$.

La restricción (3) requiere que el valor futuro de la deuda que permitió la adquisición del portafolio, que corresponde al egreso que tendrá que asumir el agente en $t+d$, sea igual a la tasa forward que fue pactada para esa fecha. Esta restricción obliga a que el agente tenga que realizar un pago en la fecha $t+d$ igual a la tasa forward, lo cual permite replicar el egreso que se hubiere generado en la operación del derivado. En la restricción (4) se establece que el costo total de portafolio en t tiene que ser menor o igual al valor presente de la tasa forward con cumplimiento en $t+d$. En caso de que esta condición no se cumpliera, el agente nunca

realizaría la adquisición del portafolio, dado que tanto la operación del derivado y del portafolio sintético le garantizan la misma tasa de cambio en el futuro, el valor presente del forward sería menor que el valor a invertir en el portafolio. No obstante, esta restricción es en realidad una condición que se encuentra implícita en combinación de las restricciones (1) y (2) que podría llegar a ser eliminada del modelo, sin afectar sus resultados. El problema de optimización del Forward Sintético Versión 1, fue desarrollado en el software Xpress, y su programación se encuentra en el *Anexo 4*.

Resultados:

Con el fin de realizar aplicaciones del modelo de optimización y lograr un análisis consistente de los resultados obtenidos, se realizaron ejercicios sobre los forward de compra sobre la tasa de cambio para plazos de 7, 15, 30 y 60 días, para el periodo entre el 3 de enero de 2000 y el 30 de junio de 2005.

Los resultados de los portafolios sintéticos en cada fecha t , para los distintos plazos, se encuentran en un CD anexo, debido a lo complejo de su impresión. En el documento, se presentan análisis que sintetizan los datos encontrados.

Análisis para el Forward con Plazo a 7 Días

El primer ejercicio que se realizó, consistió en la construcción del portafolio sintético en cada fecha t para el forward con plazo a 7 días, en el cual, la restricción (3) obliga a que la deuda en pesos con sus respectivos intereses en $t+d$ sea estrictamente igual al valor de la tasa pactada. Para el periodo de análisis se presentaron 0.4% de casos infactibles, el restante 99.6% correspondió a fechas en las cuales se pudo construir un portafolio óptimo, que cumpliera con las exigencias del modelo. Los puntos infactibles se encuentran en el año 2002 y 2003.

**Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Iguala la Tasa Forward**

(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

**Forward Sintético Versión 1:
Iguala la Tasa Forward**

Año	Infactible	Óptimo
2000	0%	100%
2001	0%	100%
2002	1.3%	98.7%
2003	1.2%	98.8%
2004	0%	100%
2005	0%	100%
Total	0.4%	99.6%

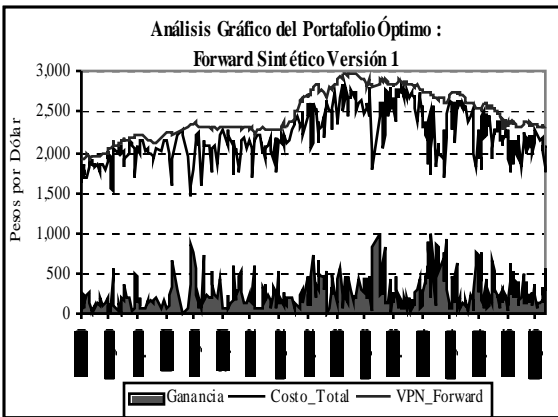
Activos	Periodo	Participación
	2000-2005 I Sem	%
BAVARIA	302	24.24
CTOS_PAZ_DEL_RIO	25	2.01
CTOS_ARGOS	36	2.89
CORFIVALLE	31	2.49
NAL_DE_CHOCOLATES	61	4.90
TEXT_FABRICATO	38	3.05
TABLYMAD_CALDAS	28	2.25
VALOREM	63	5.06
PAZ_DEL_RIO	45	3.61

Dentro del conjunto de activos que permitieron construir los portafolios sintéticos en cada fecha, se destaca que el mayor porcentaje de instrumentos corresponde a acciones, en particular, Bavaria con un 24.2% y Valorem con un 5.06%. Aunque los resultados anteriores son importantes, un ejercicio más interesante se puede lograr, si se relaja la condición de igualdad de la restricción (3), permitiendo así, que el valor a cancelar por la financiación del portafolio inicial, sea menor o igual que el valor del forward.

Esto significa que el portafolio sintético que se construye, garantizaría un ingreso igual al valor de la tasa spot en la fecha $t+d$, pero su costo sería menor o igual al del forward que se contrata con un IMC. Los resultados encontrados en este caso indican que sólo en un 0.2% de las fechas, la construcción de este portafolio sería infactible, mientras en el 99.8% se encontraría una respuesta óptima.

Principales Activos del Portafolio Óptimo : Forward Sintético Versión 1

(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)



Activos	Período		Participación
	2000 - 2005 I Sem		%
BAVARIA	21		3.43
CTOS_PAZ_DEL_RIO	26		4.25
CTOS_DEL_VALLE	18		2.94
CORFV ALLE	19		3.10
CORFNSURA	20		3.27
TEXT_FABRICATO	26		4.25
TABLYMAD_CALDAS	18		2.94
VALOREM	39		6.37
ADP_BANCOLOMBIA	18		2.94
ADP_CORFIVALLE	25		4.08
PAZ_DEL_RIO	36		5.88

En la gráfica anterior, se puede apreciar el costo del portafolio en la fecha t , así como el Valor Presente Neto, VPN, del forward de compra que se negoció en ese mismo día. La diferencia entre estos dos precios, representa la ganancia ó ahorro que obtiene el agente del sector real, en el caso de utilizar el portafolio sintético, y no contratar el forward con el IMC, la cual es promedio \$270.6 por dólar e indica la existencia de oportunidades de arbitraje. En este ejercicio, la acción de Bavaria sigue haciendo parte importante de los portafolios sintéticos que se construyen con una participación del 3.4%, sin embargo, como lo evidencia la tabla del Forward Sintético Versión 1, la composición ha cambiado, y son las acciones de Valorem y Paz del Río la más utilizadas con un 6.4% y 5.9%, respectivamente. Se realizaron otros ejercicios adicionales:

- La restricción (3), se estableció no con respecto al valor de la tasa forward, sino teniendo en cuenta la tasa spot futura. Los resultados encontrados para el costo del portafolio en cada fecha t , son idénticos que en caso anterior, lo cual no es extraño si se tiene en cuenta que en cada caso, lo que se busca es minimizar el costo del portafolio sintético, cuyo precio es menor que las tasas anteriores.
- En el modelo se había trabajado con la tasa de interés correspondiente a la curva spot, sin embargo para este nuevo ejercicio, se utilizó como tasa de interés pasiva, la DTF, y tasa de interés activa, la tasa preferencial. Los resultados encontrados son idénticos a los presentados en el caso del Forward Sintético Versión 1, lo que indica que la composición del portafolio es poco elástica a la tasa de interés utilizada. No obstante, cuando se analizan las ganancias en valor presente que se obtienen bajo cada especificación del modelo, se encuentra que con la tasa spot, la ganancia es en promedio \$1.8 por dólar mayor que utilizando la DTF, y la tasa preferencial.

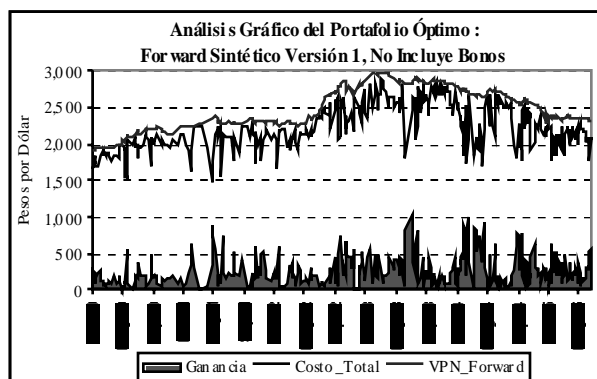
Sobre el mismo modelo Forward Sintético Versión 1, se establecen restricciones en la disponibilidad de los instrumentos que pueden ser utilizados en la replicación del portafolio sintético. Para esto se emplea el mismo modelo pero bajo tres escenarios diferentes:

- *Excluyendo Bonos:*

En este modelo se supone que los agentes del sector real no pueden disponer de bonos para construir el portafolio óptimo. No obstante, sólo el 0.4% de los casos resulta infactible. Para la mayoría de fechas, el portafolio óptimo es igual encontrado en el ejercicio inicial del modelo Forward Sintético Versión 1, sin embargo, la ganancia promedio pasa a \$263,7 por dólar, lo que significa una reducción de \$6.9 por dólar, con respecto al modelo original.

**Forward Sintético Versión 1 :
No Incluye Bonos**

Año	Infactible	Óptimo
2000	0%	100%
2001	0%	100%
2002	1.3%	98.7%
2003	1.2%	98.8%
2004	0%	100%
2005	0%	100%
Total	0.4%	99.6%

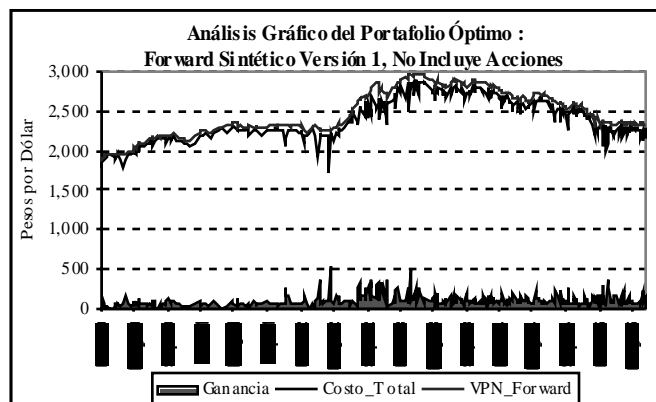


▪ *Excluyendo Acciones*

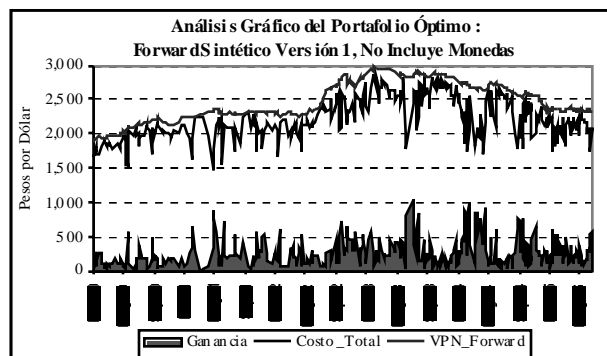
Cuando se realiza el mismo ejercicio anterior pero se excluyen las acciones, los resultados presentan un cambio muy interesante y de magnitud considerable. El número de fechas en las que la construcción del portafolio sintético resulta infactible aumenta al 0.9%. Como se puede observar gráficamente, el costo del portafolio óptimo se acerca al VPN del forward, lo que implica una reducción de la ganancia derivada de la diferencia entre estos dos precios. En promedio, el valor del ahorro ó ganancia promedio es de \$93,9 por dólar. Dentro del portafolio se destacan el dólar australiano, AUD, y el TES TDOT08180809, con un participaciones del 6.8% y 4.5%, respectivamente.

**Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 1. No Incluye Acciones**
(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Período 2000-2005 I Sem	Participación %
TDOT05150306	15	3.21
TDOT08180809	21	4.49
TUVT07120107	12	2.56
TFFP04091107	12	2.56
TFFP05140307	14	2.99
THFC05140307	15	3.21
EUR	12	2.56
JPY	19	4.06
CHF	14	2.99
CAD	15	3.21
AUD	32	6.84



▪ *Excluyendo Monedas*



**Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 1. No Incluye Monedas**
(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Período 2000-2005 I Sem	Participación %
BAVARIA	23	2.50
CTOS_PAZ_DEL_RIO	28	3.04
CTOS_DEL_VALLE	20	2.17
CORFVALLE	21	2.28
CORFINSURA	23	2.50
TEXT_FABRICATO	29	3.15
TABLYMAD_CALDAS	20	2.17
VALOREM	41	4.46
ADP_BANCOLOMBIA	20	2.17
ADP_CORFVALLE	27	2.93
PAZ_DEL_RIO	39	4.24

Al excluir las monedas, los resultados hallados se acercan a los del modelo Forward Sintético Versión 1, con resultados infactibles en sólo 0.6% de los casos. La ganancia promedio bajo la especificación de este modelo es de \$270.4 por dólar, sólo \$0.2 por dólar menos que cuando se utilizan todos los instrumentos. Nuevamente la acción de Valorem, tiene la mayor participación, 4.5%.

5.3.2. Forward Sintético Versión 2

Un aspecto de importancia dentro del modelo, radica en que el portafolio óptimo que se encuentre puede estar conformado por una gran cantidad de instrumentos, ante lo cual, podría ser de interés para el agente del sector real la limitación del número de activos sobre el cual construir el sintético. Estas restricciones son las que se incluyen a continuación:

Notación:

$D_QBP_{i,t}$: Dummy del TES Tasa Fija Pesos i el día t.

$D_QBU_{i,t}$: Dummy del TES UVR i en el día t.

$D_QBD_{i,t}$: Dummy del TES Dólares i en el día t.

$D_QA_{j,t}$: Dummy de la acción j en el día t.

$D_QM_{k,t}$: Dummy de la moneda k en el día t.

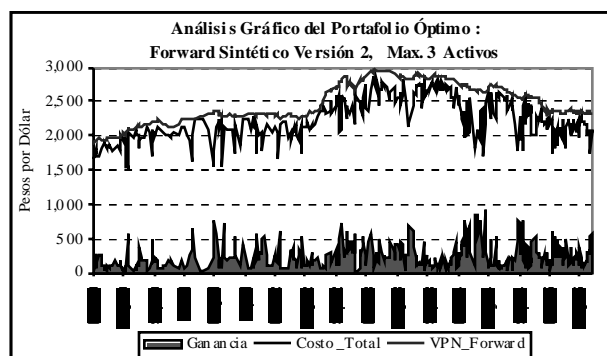
Nuevo conjunto de restricciones en el modelo:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^p D_QBP_{i,t} &\leq Max_I & \sum_{i=1}^q D_QBU_{i,t} &\leq Max_I \\ \sum_{i=1}^r D_QBD_{i,t} &\leq Max_I & \sum_{j=1}^m D_A_{j,t} &\leq Max_I & (6) \\ \sum_{k=1}^l D_M_{k,t} &\leq Max_I \end{aligned}$$

Descripción:

Se creó una variable dummy para cada instrumento y periodo de tiempo t, la cual asume un valor de 1, si se utiliza una cantidad positiva del activo dentro del portafolio que se construye, y 0 en cualquier otro caso. El conjunto de restricciones (6) asegura que la cantidad de activos utilizados en cada fecha t, sea menor o igual que un número fijado por el inversionista. Con las restricciones anteriores, se limita el número de activos en cada fecha que conforman el portafolio que pretende replicar los flujos de caja del Forward. El problema de optimización del Forward Sintético Versión 2, fue desarrollado en el software X-press, y su programación se encuentra en el Anexo 5.

Resultados:



Principales Activos del Portafolio Óptimo : Forward Sintético Versión 2

(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Periodo		Participación
	2000-2005 I Sem	%	
BAVARIA	23	4.16	
CTOS_PAZ_DEL_RIO	25	4.52	
CORFIVALLE	28	5.06	
CORFINSURA	26	4.70	
TEXT_FABRICATO	29	5.24	
VALOREM	50	9.04	
ADP_BANCOLOMBIA	22	3.98	
ADP_CORFIVALLE	28	5.06	
PAZ_DEL_RIO	43	7.78	

Se realizó el ejercicio para el modelo Forward Sintético Versión 2, estableciendo un número máximo de 3 activos dentro del portafolio. Los resultados no presentan grandes variaciones con respecto al modelo original. El número de casos infactibles es sólo del 0.2% para todo el periodo de análisis. Las acciones con la mayor participación dentro del portafolio sintético siguen siendo las mismas, no obstante, aumenta la concentración en ellas, con lo cual la acción de Valorem aumentó su porcentaje al 9%.

5.3.3. Forward Sintético Versión 3

Aunque el modelo en su versión 2, permita restringir el número de activos que hacen parte del portafolio, esta restricción se da en cada fecha t , lo que implica que el conjunto de instrumentos cada día puede ser diferente. El objetivo del modelo Forward Sintético Versión 3, pretende asegurar que los instrumentos utilizados a lo largo del periodo de análisis sean generalmente los mismos, de forma tal que el inversionista, sólo requiera concentrarse en un número reducido de activos y no en un gran conjunto de ellos.

Notación:

$D_QBP_{i,t}$: Dummy del TES Tasa Fija Pesos i en el día t .

$D_QBU_{i,t}$: Dummy del TES UVR i en el día t .

$D_QBD_{i,t}$: Dummy del TES Dólares i en el día t .

$D_QA_{j,t}$: Dummy de la acción j en el día t .

$D_QM_{k,t}$: Dummy de la moneda k en el día t .

Nuevo conjunto de restricciones en el modelo:

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^S D_QBP_{i,t} &\geq \text{Mín}_I & \sum_{t=1}^S D_QBU_{i,t} &\geq \text{Mín}_I \\ \sum_{t=1}^S D_QBD_{i,t} &\geq \text{Mín}_I & \sum_{t=1}^S D_A_{j,t} &\geq \text{Mín}_I & (7) \\ \sum_{t=1}^S D_M_{k,t} &\geq \text{Mín}_I \end{aligned}$$

Descripción:

Se creó una variable dummy para cada instrumento y periodo de tiempo t , la cual asume un valor de 1, si se utiliza una cantidad positiva del activo dentro del portafolio que se construye, y 0 en cualquier otro caso. El conjunto de restricciones (7) asegura que el número de veces que es utilizado un instrumento financiero en la construcción del portafolio óptimo, sea mayor o igual a una determinada cantidad. En este problema de optimización, se incluye un proceso iterativo que obliga a que los activos que no cumplen con este requerimiento no sean utilizados en ninguna fecha. Con estas restricciones y el proceso iterativo, se limita el número de activos que es utilizado en la construcción del portafolio sintético, y hace que estos sean generalmente los mismos. El problema de optimización del Forward Sintético Versión 3, fue desarrollado en el software X-press, y su programación se encuentra en el Anexo 6.

Resultados:

Las soluciones encontradas en el Forward Sintético Versión 3, son las más realistas, en la medida en que el inversionista se concentra en un número limitado de activos a lo largo de todo el periodo de análisis. Cuando se establece un número mínimo de 50 utilizaciones en la construcción del portafolio óptimo, se encuentran un 5.7% de casos infactibles, un número muy superior con respecto a los modelos versión 1 y versión 2. Sin embargo, el

incremento es mucho mayor, cuando se aumenta el número mínimo de participaciones a 100 y 200, ya que el número de casos infactibles pasa a 12.3% y 26.8%, respectivamente.

**Forward Sintético Versión 3:
Min. Participaciones =50**

Año	Infactible	Óptimo
2000	9.6%	90.4%
2001	6.1%	93.9%
2002	6.6%	93.4%
2003	4.8%	95.2%
2004	4.3%	95.7%
2005	4.2%	95.8%
Total	5.7%	94.3%

**Forward Sintético Versión 3:
Min. Participaciones =100**

Año	Infactible	Óptimo
2000	15.1%	84.9%
2001	16.3%	83.7%
2002	13.2%	86.8%
2003	10.7%	89.3%
2004	10.3%	89.7%
2005	11.3%	88.7%
Total	12.3%	87.7%

**Forward Sintético Versión 3:
Min. Participaciones =200**

Año	Infactible	Óptimo
2000	46.6%	53.4%
2001	26.5%	73.5%
2002	26.3%	73.7%
2003	24.7%	75.3%
2004	20.4%	79.6%
2005	19.7%	80.3%
Total	26.8%	73.2%

Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3, Min. Participaciones =100
(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

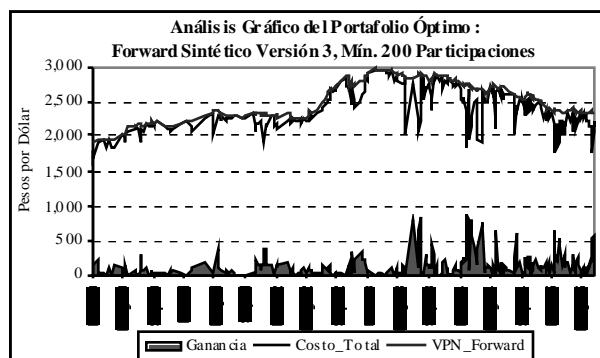
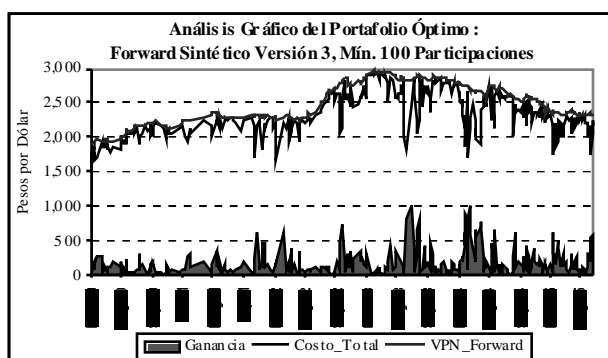
Activos	Periodo	Participación
	2000-2005 I Sem	%
BAVARIA	146	27.70
CTOS_PAZ_DEL_RIO	122	23.15
VALOREM	129	24.48
PAZ_DEL_RIO	130	24.67

Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3, Min. Participaciones =200
(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Periodo	Participación
	2000-2005 I Sem	%
BAVARIA	313	54.15
PAZ_DEL_RIO	265	45.85

Con el incremento en el número mínimo de participaciones exigidas, se aprecia una concentración en el porcentaje de utilización de determinadas acciones en los portafolios óptimos, en las cuales se destacan principalmente la acción de Bavaria, Valorem, Paz del Río y Cementos Paz del Río. Por ejemplo, en el caso de exigir al modelo mínimo 100 participaciones, la acción de Bavaria es utilizada en el 27.7% de los portafolios óptimos, mientras Valorem, Paz del río y Cementos Paz del Río, hacen lo mismo con el 24,7%, 24.5% y 23.2%, respectivamente.

Como se aprecia gráficamente, en la medida en que se exige una mayor participación de una acción dentro de los portafolios óptimos, el costo de ellos se acerca al valor de la tasa forward: cuando se exigen mínimo 50 participaciones, la ganancia promedio es de \$214.6 por dólar, cuando son mínimo 100 y 200 utilizaciones, la ganancia se reduce a \$178.6 y \$140.6 por dólar respectivamente.



El análisis realizado sobre el conjunto de instrumentos en el portafolio óptimo, permite indicar que las acciones de Bavaria y Valorem son los mejores candidatos para formar el activo sintético que replique los flujos de caja del Forward a 7 días. Aunque se realizó el mismo ejercicio para los forwards a 15, 30 y 60 días, los análisis se concentraron en el modelo Versión 3, debido a que este contempla el mayor grado de realismo.

Con respecto al forward a 15 días, se encontró que al exigir como mínimo una utilización del activo de 100 veces dentro del portafolio óptimo, la acción de Bavaria fue el único resultado encontrado, con una ganancia promedio de \$144.1 por dólar. Sin embargo, el número de casos infactibles aumentó al 32%. Al analizar el forward a 30 días, y el mismo número de utilizations que para el plazo de 15 días, resulta ser nuevamente la acción de Bavaria, la encontrada como óptima para el portafolio sintético. En forma diferente a los casos anteriores, en el forward a 60 días, con el misma cantidad mínima de participaciones, resultan todos los casos infactibles. Si relajamos el número a 100 utilizations, las acciones sugeridas dentro del portafolio óptimo serían Corfivalle y ADP Bancolombia, que generarían un portafolio cuyo costo, en promedio generaría una ganancia de \$483 por dólar.

Los análisis anteriores permiten concluir que en la construcción del activo sintético deberían utilizarse las acciones de Bavaria y Valorem. Los cuadros y gráficos que sustentan el análisis del portafolio sintético para los forwards de compra con vencimientos a 15, 30 y 60 días, se encuentran en los anexos el anexo 7, 8 y 9, respectivamente.

6. Análisis de Series de Tiempo y Simulación del Precio de los Activos Financieros

En esta sección se analizará el comportamiento de las series de tiempo de los instrumentos financieros que en capítulo anterior se determinó podrían haber conformado el portafolio sintético. Para esto se hará uso de los modelos de heterocedasticidad condicional que permiten el análisis de la volatilidad del rendimiento de estos activos, con el fin de realizar estimaciones de sus parámetros, para el periodo comprendido entre enero de 2000 y diciembre de 2004. A partir de los parámetros estimados en las simulaciones, se realizarán ejercicios de simulación del precio de los mismos activos para el primer semestre de 2005.

6.1. Modelo ARCH-GARCH

El retorno de un activo financiero, denotado por r_t , se puede suponer que sigue un modelo de series de tiempo estacionario como un ARMA(p,q)

$$r_t = \mu_t + a_t \quad \mu_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^p \phi_i r_{t-i} - \sum_{i=1}^q \theta_i a_{t-i}$$

donde p y q son enteros no negativos. A partir de este punto, la idea básica de los modelos ARCH es que el schok, a_t , es serialmente no correlacionado, pero dependiente, y la dependencia de a_t puede ser descrita por una simple función cuadrática de sus valores rezagados. Específicamente un modelo ARCH(m) asume que

$$a_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2 + \dots + \alpha_m a_{t-m}^2$$

donde $\{\varepsilon_t\}$ es una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas con media 0 y varianza 1, $\alpha_0 > 0$, y $\alpha_i \geq 0$ para todo $i > 0$. Estas restricciones sobre los coeficientes aseguran que la varianza no condicional de a_t sea finita. En la práctica se asume que ε_t sigue una distribución normal estándar. Aunque el modelo ARCH es simple, este frecuentemente requiere muchos parámetros para describir la volatilidad del schok, a_t , ante lo cual se utilizan como alternativa los modelos GARCH(m,s), que asumen que

$$a_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i a_{t-i}^2 + \dots + \sum_{j=1}^s \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

donde $\{\varepsilon_t\}$ es una secuencia de variables aleatorias *iid* con media 0 y varianza 1, $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$, $\beta_j \geq 0$ y

$\sum_{i=1}^{\max(m,s)} (\alpha_i + \beta_i) < 1$. Esta última condición garantiza que la varianza no condicional de a_t sea finita, mientras su

varianza condicional σ_t evoluciona a través del tiempo. Al igual que en el caso ARCH, se asume que ε_t se distribuye normal estándar. En finanzas, el retorno de un activo podría depender de su volatilidad. Para modelar este comportamiento se utilizan los modelos GARCH en media, GARCH-M. Este tipo de modelo implica que existen correlaciones seriales en el retorno del activo r_t y son introducidas en la volatilidad del proceso, σ_t . Un ejemplo de este tipo de modelo es el GARCH(1,1)-M que puede ser escrito por

$$r_t = \mu_t + c\sigma_t^2 + a_t \quad a_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad \sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$$

donde μ y c son constantes. El parámetro c es llamado la prima por riesgo, en la cual un valor positivo indica que el retorno esta positivamente relacionado con la volatilidad pasada.

6.1.1. Tasa de Cambio Peso / Dólar:

El periodo de análisis de la serie de tiempo, comprende entre enero de 2000 y diciembre de 2004. En primer lugar se realizó un análisis gráfico de la serie de la tasa de cambio y de su rendimiento (*definida como la primera diferencia del logaritmo natural de la variable*). A partir del rendimiento de la serie, se construyeron la función de autocorrelación y correlación parcial, con la cual se trataron de identificar los valores p y q del modelo ARMA, que se estimó.

Gráfico de la Variable y de su Rendimiento

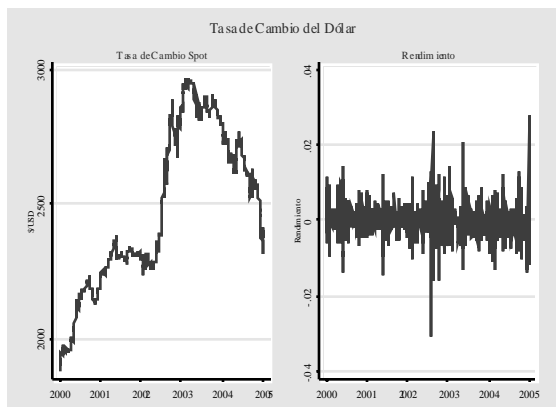
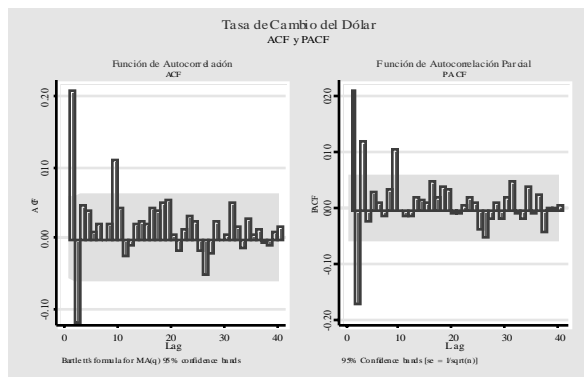


Gráfico de la Función de Autocorrelación y Autocorrelación Parcial



Se hicieron varias estimaciones del modelo ARMA para el rendimiento de la tasa de cambio, sin embargo, el que presentó los mejores resultados fue el siguiente:

Estimación de un Modelo ARMA(1,1)

ARMA regression						
Sample:	2 to 1221			Number of obs	=	1220
Log likelihood	= 4982.703			Wald chi2(2)	=	736.85
				Prob > chi2	=	0.0000

		Coef.	OPG Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]

ARMA						
ar	L1	-.3452939	.047997	-7.19	0.000	-.4393662 -.2512216
ma	L1	.6298613	.0399887	15.75	0.000	.5514849 .7082377
/sigma		.0040738	.0000434	93.94	0.000	.0039888 .0041588

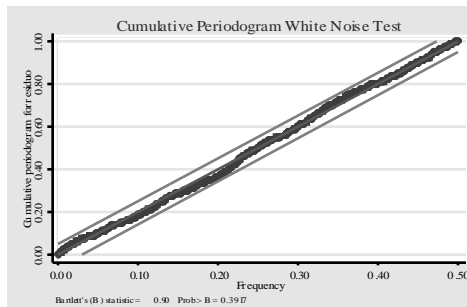
Cada uno de los coeficientes del modelo ARMA(1,1) estimado es significativo al 5%, no obstante, se plantea a continuación el análisis de los residuales del mismo.

Análisis de los Residuales del Modelo ARMA(1,1)

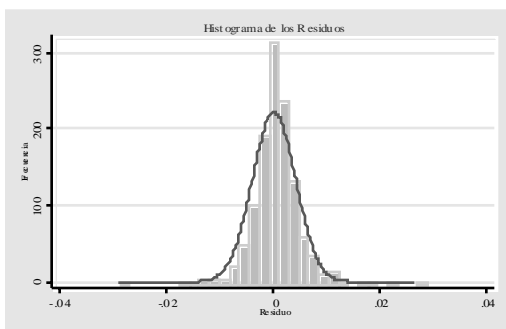
stats	residuo
mean	.0001639
sd	.0040726

Portmanteau test for white noise

Portmanteau (Q) statistic	=	282.0029
Prob > chi 2(305)	=	0.8234



De los residuales estimados se calcularon la media y desviación estándar. Así mismo se emplearon el test Portmanteau, (Q) y el test de Bartlett's, cuyos resultados evidencian que no existe autocorrelación de los errores, dado que la prueba de hipótesis $H_0 : \rho_i = 0$, no se rechaza.



stats	residuo
skewness	.038956
kurtosis	8.383521

Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi 2(2)	joint Prob>chi 2
residuo	0.576	0.000	.	0.0000

Se realizaron el histograma de los residuos, y el test de normalidad $H_0 : \hat{\epsilon}_i \approx Normal$, sin embargo, la hipótesis nula fue rechazada por problemas de curtosis en los datos. Lo anterior, permitió evidenciar que aunque los errores son ruido blanco, estos no son normales.

Test ARCH de Engle (1982)

regress resid2 11.resid2 12.resid2

Source	SS	df	MS
Model	2.2869e-07	2	1.1434e-07
Residual	2.2366e-06	1215	1.8408e-09
Total	2.4653e-06	1217	2.0257e-09

Number of obs = 1218
 F(2, 1215) = 62.12
 Prob > F = 0.0000
 R-squared = 0.0928
 Adj R-squared = 0.0913
 Root MSE = 4.3e-05

stats	nr2	vc
mean	112.9871	5.991465

resid2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
resid2					
L1	.1755955	.0279626	6.28	0.000	.120735 .2304559
L2	.2120773	.0279613	7.58	0.000	.1572195 .2669351
_cons	.0000101	1.36e-06	7.43	0.000	7.43e-06 .0000128

Se aplicó el test ARCH de Engle (1982) que determina la necesidad de utilizar un modelo GARCH. A partir de una regresión del residuo elevada al cuadrado, en términos de sus rezagos, permite construir una estadística que se distribuye Chi-Cuadrado. Debido a que $nr2 > vc$, se rechaza la hipótesis nula $H_0: No Hay Efecto ARCH$, indicando que es necesario estimar un modelo GARCH. Se realizaron varias estimaciones, sin embargo, los mejores resultados corresponden al siguiente modelo:

Estimación de un Modelo ARMA(1,1)-GARCH(1,1)

ARCH family regression -- ARMA disturbances

Sample: 2 to 1221 Number of obs = 1220
 Wald chi2(2) = 118.59
 Log likelihood = 5160.63 Prob > chi2 = 0.000

		Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	

ARMA	L1	-2.236721	.0889645	-2.51	0.012	-.3980393	-.0493048
	L1	.5005957	.0787192	6.36	0.000	.3463088	.6548825

ARCH	L1	.2277688	.0321666	7.08	0.000	.1647235	.2908142
	L1	.7589725	.0331467	22.90	0.000	.6940063	.8239888
_cons		6.15e-07	1.34e-07	4.59	0.000	3.52e-07	8.77e-07

Existencia de un efecto ARCH adicional

regress nt2 l.nt2 l2.nt2 l3.nt2

Source	SS	df	MS				
Model	4.85029585	3	1.61676528	Number of obs = 1217			
Residual	5469.68316	1213	4.50921943	F(3, 1213) = 0.36			
Total	5474.53346	1216	4.50208344	Prob > F = 0.7830			
				R-squared = 0.0009			
				Adj R-squared = -0.0016			
				Root MSE = 2.1235			

		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	

nt2	L1	-.0127627	.0287126	-0.44	0.657	-.0690945	.0435691
	L2	-.0265993	.0285249	-0.93	0.351	-.082563	.0293643
	L3	.0032411	.0285302	0.11	0.910	-.052733	.0592151
_cons		1.034372	.0791344	13.07	0.000	.8791165	1.189628

El test del efecto ARCH adicional, plantea como prueba de hipótesis $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$, lo cual implica que todos los coeficientes para valores rezagados del error estandarizado al cuadrado sean iguales a 0. Esta hipótesis se puede contrastar con el estadístico F tradicional. De acuerdo con los resultados, el $P\text{-value}=0.7830$ lo cual implica que no se rechaza la hipótesis nula, y por tanto todos los coeficientes son estadísticamente no significativos, lo que implica que no existe un efecto ARCH adicional. La curtosis del error es mayor que 3, sugiriendo que la distribución del error estandarizado no es Normal. Lo anterior queda verificado con el test de normalidad, que como se observa en la estimación, tiene un $p\text{-value}=0.00$, lo que implica que se rechaza la hipótesis nula $H_0: \hat{\eta}_t \approx Normal$

Análisis de los Residuales del Modelo ARMA(1,1)-GARCH(1,1)

Test de Simetría de Engle y Ng. (1993)

stats	nt
mean	.03307
sd	1.001873
skewness	-.1156076
kurtosis	5.530197

regress nt2 l.smen l.smenres l.smasres

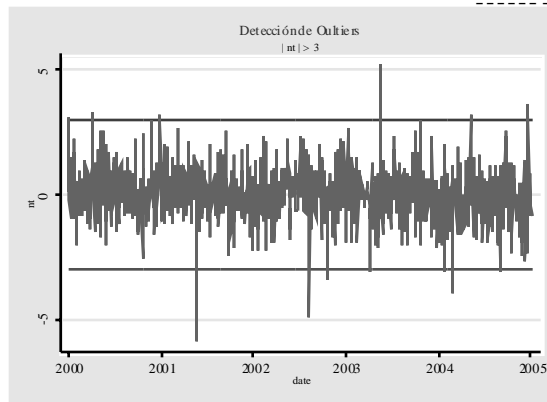
Source	SS	df	MS				
Model	10.4445018	3	3.4815006	Number of obs = 1219			
Residual	5534.40983	1215	4.55506982	F(3, 1215) = 0.76			
Total	5544.85433	1218	4.55242556	Prob > F = 0.5141			
				R-squared = 0.0019			
				Adj R-squared = -0.0006			
				Root MSE = 2.1343			

Skewness/Kurtosis tests for Normality				
Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	joint Prob>chi2
nt	0.098	0.000	64.73	0.0000

		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	

smen	L1	-.1890554	.1707189	-1.11	0.268	-.523992	.1458812
	L1	-2.018884	30.67964	-0.07	0.948	-62.20984	58.17207
smenres	L1	-2.018884	30.67964	-0.07	0.948	-62.20984	58.17207
	L1	-2.018884	30.67964	-0.07	0.948	-62.20984	58.17207
smasres	L1	-40.83157	28.67303	-1.42	0.155	-97.08571	15.42256
	L1	-40.83157	28.67303	-1.42	0.155	-97.08571	15.42256
_cons		1.156703	.1208076	9.57	0.000	.9196879	1.393717

stats	snr2	svc
mean	2.296155	7.814728



El test de Engle y Ng. (1993), indica que no existen asimetrías en el error estandarizado. A esta conclusión se puede llegar al observar el test estadístico F , cuyo $p\text{-value}=0.51$, no permite rechazar la hipótesis nula $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$, por tanto, cada uno de los coeficientes que acompaña a los términos de asimetría, son estadísticamente no significativos. Otro análisis que se hace, es a través del estadístico que se construyó, $anr2 < svc$, el cual también sugiere que no se puede rechazar H_0 , y por tanto no existen efectos de asimetría.

El hecho por el cual el error estandarizado no sigue una distribución normal, podría deberse a la existencia de outliers en la serie, como se aprecia en el gráfico anterior. Siguiendo la metodología indicada por Doornik y Ooms (2002), se seleccionaron los outliers, y para cada uno se creó una variable dummy. Se realizó nuevamente la estimación, incluyendo las variables dummy, encontrando los mejores resultados en el siguiente modelo:

Estimación de un Modelo AR(1)-GARCH(1,1)

```

ARCH family regression -- AR disturbances
Sample: 2 to 1221                Number of obs   =   1220
                                Wald chi2(14)    =   468.12
Log likelihood = 5226.047        Prob > chi2     =   0.0000

```

dly	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
dly					
d2	.0069514	.0018652	3.73	0.000	.0032957 .0106072
d3	.0064467	.0020814	3.10	0.002	.0023673 .0105262
d4	.0049495	.0014997	3.30	0.001	.00201 .0078889
d5	-.0062541	.0004655	-13.43	0.000	-.0071665 -.0053416
d6	-.0369428	.0036556	-10.11	0.000	-.0441076 -.029778
d7	-.0087919	.0022014	-3.99	0.000	-.0131067 -.0044772
d8	-.004691	.0019911	-2.36	0.018	-.0085934 -.0007885
d9	.0148376	.0019948	7.44	0.000	.010928 .0187473
d10	-.0105654	.0056517	-1.87	0.062	-.0216425 .0005117
d11	-.0110823	.0037222	-2.98	0.003	-.0183776 -.003787
d12	.0095172	.0031231	3.05	0.002	.0033961 .0156383
d13	-.0067679	.0023726	-2.85	0.004	-.0114181 -.0021176
d14	.0244988	.0082037	2.99	0.003	.0084199 .0405777

ARMA					
ar	L1	.2445735	.031666	7.72	0.000 .1825093 .3066376

ARCH					
arch	L1	.2443827	.0337952	7.23	0.000 .1781453 .3106202

GARCH					
garch	L1	.7425085	.0316581	23.45	0.000 .6804597 .8045573
_cons		5.00e-07	1.28e-07	3.92	0.000 2.50e-07 7.50e-07

Se analizaron nuevamente pruebas sobre los residuales de este modelo. El test de normalidad permite apreciar que tanto el p-value del sesgo, como de la curtosis, llevan a que no se rechace la hipótesis $H_0: \hat{\eta}_t \approx Normal$. De acuerdo con este resultado, los errores siguen una distribución Normal.

Análisis de los Residuales de un Modelo AR(1)-GARCH(1,1)

stats	nt
mean	0.391389
sd	1.000063
skewness	0.155456
kurtosis	3.281088

Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi 2(2)	Prob>chi:
nt	0.824	0.060	3.59	0.1660

Test de Simetría de Engle y Ng. (1993)

regress nt2 | .smen | .smenres | .smasres

Source	SS	df	MS	Number of obs =
Model	7.88979399	3	2.62993133	121
Residual	2780.62531	1215	2.2885805	F(3, 1215) = 1.1
Total	2788.5151	1218	2.28942127	Prob > F = 0.328
				R-squared = 0.002
				Adj R-squared = 0.000
				Root MSE = 1.512

nt2	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
smen					
smenres	L1	.0777379	.1263031	0.62	0.538 -.1700584 .325534
smasres	L1	43.65929	24.26661	1.80	0.072 -3.949815 91.2683
_cons	L1	.5514723	22.38714	0.02	0.980 -43.37028 44.4732
		1.019681	.089512	11.39	0.000 .8440655 1.19529

stats	snr2	svc
mean	3.449025	7.814728

El test de simetría nuevamente arroja como conclusión que no existen asimetrías en el error, dado que el estadístico F con el p -value=0.32, no permite rechazar la hipótesis $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 0$. En conclusión el modelo estimado para el rendimiento de la tasa de cambio COP/USD, excluyendo las variables dummy, es un $AR(1)$ - $GARCH(1,1)$.

$$r_t = 0.2445735r_{t-1} + a_t \quad a_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad \sigma_t^2 = 5.00e-07 + 0.2443827a_{t-1}^2 + 0.7425085\sigma_{t-1}^2$$

6.1.2. Precio de la Acción de Bavaria:

A partir de un análisis de series de tiempo similar al realizado con la tasa de cambio, se estimó para el rendimiento del precio de la acción de Bavaria, un modelo $ARMA(2,1)$ - $GARCH(1,1)$, excluyendo las variables dummy, su representación es la siguiente:

$$r_t = -0.3827577r_{t-1} + 0.1371316r_{t-2} + a_t + 0.7009857a_{t-1} \quad a_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad \sigma_t^2 = 1.1800e-05 + 0.2784656a_{t-1}^2 + 0.7022083\sigma_{t-1}^2$$

Las estimaciones econométricas del rendimiento de Bavaria se encuentran en el Anexo 10.

6.1.3. Precio de la Acción de Valorem:

Al igual que con el rendimiento del precio de la acción de Bavaria, se estimó un modelo $ARMA(2,1)$ - $GARCH(1,1)$, para el rendimiento del precio de la acción de Valorem. Excluyendo las variables dummy, su representación es la siguiente:

$$r_t = 0.687452r_{t-1} - 0.1338478r_{t-2} + a_t - 0.5626349a_{t-1} \quad a_t = \sigma_t \varepsilon_t \quad \sigma_t^2 = 6.62e-05 + 0.1034464a_{t-1}^2 + 0.8353202\sigma_{t-1}^2$$

Las estimaciones econométricas del rendimiento de Valorem se encuentran en el Anexo 11.

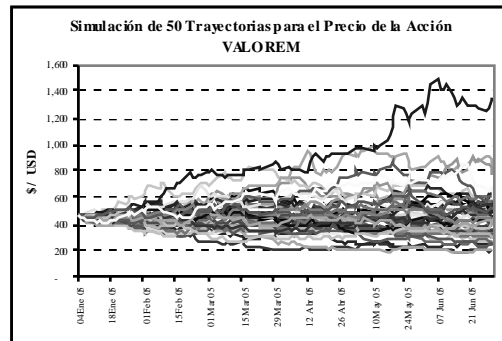
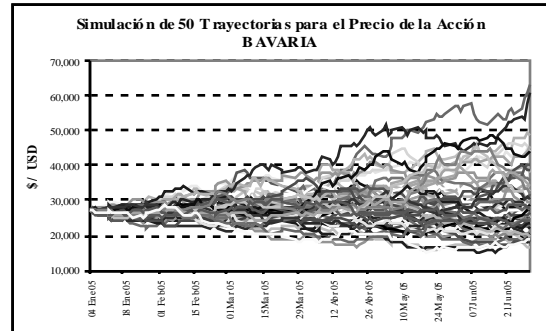
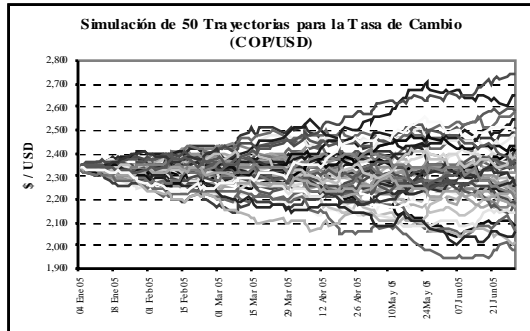
6.2. Simulaciones

A partir de los parámetros estimados en los modelos $GARCH$ en la sección anterior para el rendimiento de la tasa de cambio y el rendimiento del precio de la acción de Bavaria y de Valorem, se realizó la simulación de 50 trayectorias para cada una de los niveles de estas variables para el periodo comprendido entre enero y junio de 2005.

En primer lugar, se utilizó como punto de inicio de la simulación del rendimiento de cada serie, el valor del día 3 de enero de 2005, y como punto de inicio de la varianza no condicional, la varianza de los residuos estimados. En el caso del rendimiento: del dólar, $\hat{\sigma}_a = 0.0039375$, Bavaria, $\hat{\sigma}_a = 0.0155273$ y para Valorem, $\hat{\sigma}_a = 0.0331725$. Se simuló un error con observaciones en el primer semestre de 2005, para cada una de las tres series, a partir de una función de distribución normal multivariada, bajo una estructura de correlación predeterminada, haciendo uso del programa Stata. La matriz de correlación que fue incorporada en la simulación, fue creada a partir de los residuales que se estimaron para las tres series:

	res_usd	res_ba-a	res_va-m
res_usd	1.0000		
res_bavaria	0.0154	1.0000	
res_valorem	0.0154	0.1736	1.0000

Con los datos simulados para el rendimiento de las series, se hicieron las transformaciones necesarias, y se logró hallar el valor en niveles de cada variable. A continuación se presentan gráficamente las trayectorias simuladas para la tasa de cambio, el precio de la acción de Bavaria y Valorem, para el primer semestre del año 2005.



7. Estructuración Óptima del Portafolio Bajo Incertidumbre

Los resultados de la sección cinco, permitieron determinar que las acciones de Bavaria y Valorem, podrían ser los mejores activos financieros en el momento de construir el portafolio sintético para los forward de tasa de cambio. Mientras que en la sección seis, a través de métodos econométricos se estimaron los parámetros del modelo GARCH del rendimiento de : la tasa de cambio, de la acción de Bavaria y de Valorem, los cuales fueron utilizados para simular estas variables entre enero y junio de 2005. Con los datos que se simularon y algunas transformaciones simples, se construyeron las mismas variables pero en niveles.

El objetivo de la sección siete es integrar los resultados anteriores, en una aplicación del modelo de optimización en el que se incluya la incertidumbre. Es importante tener en cuenta, que en este ejercicio estadístico, se asume que el agente se encuentra en una fecha $t=0$ donde no puede ver los precios de los activos en fechas posteriores, por lo cual, el costo de adquisición del portafolio tiene que ser estimado. En primera instancia, se hace descripción de las definiciones y notación que será utilizada en el nuevo modelo de optimización, bajo incertidumbre:

Notación:

- $T = \{1, \dots, t\}$: Conjunto de puntos el tiempo.
- $S = \{1, \dots, s\}$: Conjunto de escenarios o estados.
- $t \in T$: Denota un punto en el tiempo, un día.
- $s \in S$: Denota los diferentes estados de la naturaleza.
- d : Plazo en días del forward
- $PBav_{s,t}$: Precio promedio de la acción Bavaria, en el estado s y el día t .
- $PVal_{s,t}$: Precio promedio de la acción Valorem, en el estado s y el día t .
- $QBav_t$: Número de acciones de Bavaria en el día t
- $QVal_t$: Número de acciones de Valorem en el día t

- DP_t : Deuda en pesos requerida para financiar la adquisición del portafolio el día t .
- $Id_{d,t}$: Tasa de interés a un plazo de d días, vigente en la fecha t .
- $SP_{s,t}$: Tasa de cambio spot del dólar en el estado s , y el día t .
- π_s : Probabilidad de que se de el escenario s .

El problema de estructuración del portafolio óptimo que permite la replicación de los flujos de caja del forward bajo incertidumbre, es definido bajo la siguiente formalización matemática:

Objetivo:

$$\text{Min Costo Total del Portafolio} = PBav_t QBav_t + PVal_t QVal_t$$

sujeto a :

$$PBav_t QBav_t + PVal_t QVal_t = DP_t \quad (1)$$

$$\sum_{s=1}^S \pi_s PBav_{s,t+d} QBav_t + \sum_{s=1}^S \pi_s PVal_{s,t+d} QVal_t = \sum_{s=1}^S \pi_s SP_{s,t+d} \quad (2)$$

$$DP_t * (1 + Id_{d,t})^d = \sum_{s=1}^S \pi_s SP_{s,t+d} \quad (3)$$

$$PBav_t QBav_t + PVal_t QVal_t = \sum_{s=1}^S \pi_s SP_{s,t+d} * (1 + Id_{d,t})^{-d} \quad (4)$$

$$QBav_t \geq 0, \quad QVal_t \geq 0, \quad (5)$$

Descripción del Modelo:

El objetivo del agente del sector real es minimizar la función que representa el costo total del portafolio que adquiere en el día t , el cual es igual a la suma del costo de la inversión en las acciones de Bavaria y Valorem, que es definido como el producto del precio del activo en la fecha t , por el número de acciones que son adquiridas. Con lo anterior, se llega a un costo total denominado en pesos, y valorado a precios de mercado. El problema de minimización del costo total del portafolio, está sujeto a:

- Restricción (1), asegura que el flujo de caja neto en el periodo t sea igual a 0, al imponer la condición de que el costo total de adquisición del portafolio sea financiado.
- Restricción (2), plantea que los ingresos esperados por la venta del portafolio en el día $t+d$ sean iguales al valor esperado de la tasa de cambio spot en esa misma fecha.
- Restricción (3) requiere que el valor futuro de la deuda que permitió la adquisición del portafolio, que corresponde al egreso que tendrá que asumir el agente en $t+d$, sea igual ó menor a la tasa spot esperada en esa fecha.

- Restricción (4), establece que el costo total esperado del portafolio en t tiene que ser menor o igual al valor presente de la tasa spot esperada en $t+d$.

Se asumió que la probabilidad de cada uno de los escenarios ó estados es $\pi(s) = 1/No. De Simulaciones$. El problema de optimización del Forward Sintético, bajo incertidumbre, fue desarrollado en el software X-Press, y su programación se encuentra en el *Anexo 12*.

Resultados:

La aplicación del modelo de optimización bajo incertidumbre se hizo sobre los forwards con plazo a 7 días, para el periodo entre el 4 de enero de 2005 y el 30 de junio de 2005. Es importante recordar que el agente toma la decisión sobre el portafolio que desea adquirir con información de los precios hasta ese momento, es decir, que se tiene certeza sobre el costo del portafolio, pero no sobre los ingresos futuros que resulten de su venta. Como el problema de optimización está planteado para que en cada fecha t , se decida el portafolio que debe ser adquirido para replicar los flujos de caja de un forward a un plazo específico, significa que el individuo toma sus decisiones en $t+d$ con el valor de las simulaciones generadas en t y no tiene en cuenta ningún tipo de información entre estas dos fechas, lo que es poco creíble.

La solución óptima a este problema sería que en cada fecha t , se realizaran las estimaciones econométricas de los modelos GARCH de las series que se escogieron, y con los parámetros estimados, se corriera el proceso de simulación de las variables. Sin embargo, se utilizó la siguiente solución: en el inicio de cada mes el agente tiene información de los precios hasta ese momento, y es en ese punto donde se realizan nuevas simulaciones. Lo anterior quiere decir, que el agente está haciendo corrección del precio esperado de los activos cada mes, y no en forma diaria.

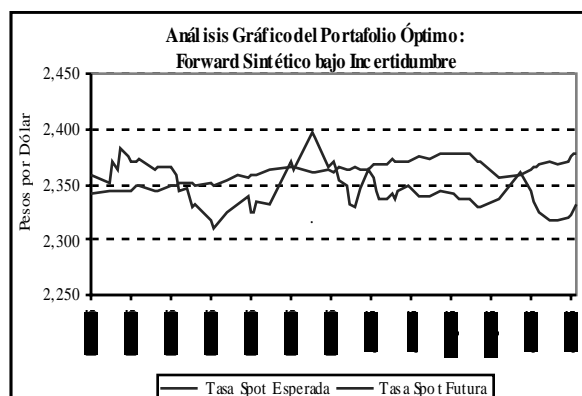
Siguiendo el planteamiento anterior, se presentan los cuadros y gráficas de resultados encontrados suponiendo como punto inicial el 4 de Enero de 2005. Los hallazgos para los otros cinco puntos de inicio son presentados en el *Anexo 13*.

4 de Enero de 2005.

El primer resultado que se presenta es el de factibilidad del modelo. Para todo el semestre, existen sólo 6% de casos infactibles, que se concentran principalmente en el mes de enero. En la siguiente gráfica se compara el comportamiento de la tasa de cambio vigente dentro de un plazo de 7 días, *tasa spot futura*, con respecto a la que fue proyectada a través del valor esperado de las simulaciones. En promedio, la tasa spot futura, se encuentra para todo el periodo \$13.1 por debajo de la tasa esperada. En términos absolutos, el promedio de la diferencia entre las dos variables asciende a \$24.8 por dólar.

**Forward Sintético
bajo Incertidumbre**

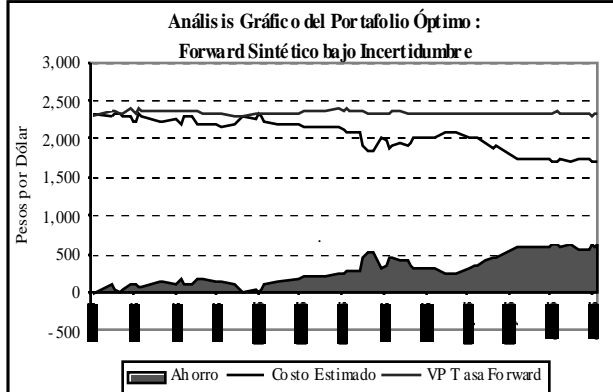
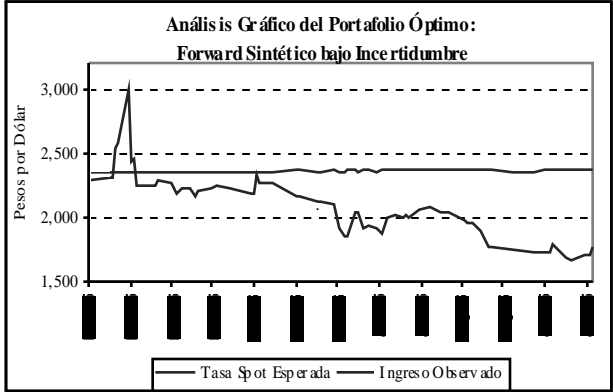
Cuenta de Fecha Mes	Estado	
	Infactible	Óptimo
1	31.6%	68.4%
2	0.0%	100.0%
3	5.0%	95.0%
4	0.0%	100.0%
5	0.0%	100.0%
6	0.0%	100.0%
Total	6.0%	94.0%



Otro análisis que es importante resaltar, es el referente a la comparación entre la tasa de cambio esperada, cuyo flujo de caja se quiere replicar en el momento de la venta del portafolio, frente al ingreso que realmente se observó con esta última operación. En promedio, el ingreso observado estuvo \$293 por dólar por debajo de la

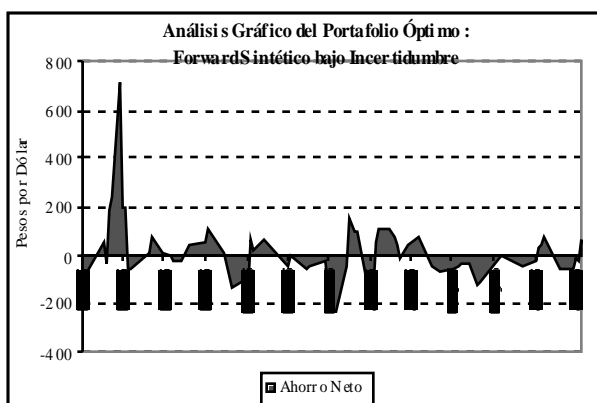
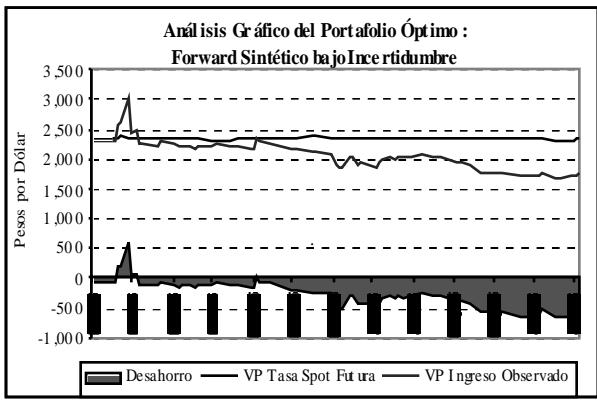
tasa spot esperada en los seis meses, sin embargo, si se realiza el mismo análisis para un periodo corto, por ejemplo, el primer mes, en el cual se supone es donde se dan las mejores proyecciones, en promedio, el ingreso observado estuvo \$69 por encima de la proyección de la tasa de cambio.

En general, los resultados anteriores podrían indicar la poca conveniencia de realizar un forward sintético en un mundo bajo incertidumbre. Sin embargo, es necesario realizar un análisis desde otro punto de vista. En la siguiente gráfica se presentan tanto el valor presente de la tasa forward pactada a 7 días, como el costo de adquisición del portafolio sintético. Como se puede apreciar gráficamente, para todo punto el costo es menor que el forward. Lo cual arroja un ahorro promedio de \$287 en los seis meses, por el hecho de no contratar el forwar, mientras se adquiere el portafolio. Si se realiza el mismo ejercicio, para el primer mes, el ahorro es de \$72.3 por dólar.



Así mismo, es necesario revisar, la diferencia que se presenta entre el valor presente de la tasa spot futura dentro de 7 días y el valor presente del ingreso observado, donde este último se aprecia es menor, en promedio \$278 por dólar en todo el periodo, y \$46.6 por dólar para el mes de enero. Esta diferencia, constituye un egreso para el agente quiere adquirir las divisas, porque después de vender el portafolio, tendrá que salir al mercado y colocar el valor de esta diferencia para adquirir un dólar.

No obstante, el análisis es necesario hacerlo sobre el valor neto de las diferencias que fueron presentadas anteriormente, y que son denominadas *Ahorro* y *Desahorro*. En la gráfica siguiente se presenta el ahorro neto, o ganancia que obtendría un individuo que realizara la compra del portafolio sintético en lugar de contratar el forward de compra.



El análisis arroja un ahorro neto de \$8.5 por dólar para todo el semestre, y de \$118.9 por dólar para el mes de enero. A continuación se presentan en forma sintética los mismos resultados anteriores, pero teniendo en cuenta los diferentes puntos de inicio en el tiempo:

- Se muestran resultados desde la fecha de inicio, hasta el final del semestre.

Ahorro Neto Promedio para el Resto del Semestre

Pesos por Dólar

Fecha Inicio	Ahorro	Desahorro	Ahorro Neto
4 de Enero	287.4	-278.9	8.5
31 de Enero	266.0	-271.5	-5.5
28 de Febrero	345.8	-329.4	16.4
31 de Marzo	203.1	-217.6	-14.5
29 de Abril	208.0	-226.3	-18.3
31 de Mayo	58.2	-58.9	-0.7

Los resultados que se hallaron muestran un panorama desalentador al realizar la operación con el forward sintético, debido a que el ahorro neto fue en promedio negativo, con excepción de los puntos de inicio del 4 de Enero y el 28 de Febrero.

- Se presentan resultados para el mes siguiente a la fecha de inicio.

Ahorro Neto Promedio para el Siguiete Mes

Pesos por Dólar

Fecha Inicio	Ahorro	Desahorro	Ahorro Neto
4 de Enero	72.3	46.6	118.9
31 de Enero	36.6	12.4	49.0
28 de Febrero	253.8	-229.7	24.0
31 de Marzo	131.0	-109.7	21.3
29 de Abril	84.9	-134.2	-49.3
31 de Mayo	58.2	-58.9	-0.7

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, cuando el horizonte de tiempo sobre el cual se construyen los precios esperados de los activos a través de las simulaciones es corto, el beneficio que obtiene el agente de realizar la operación con el forward sintético es en promedio positiva, sin embargo, para las fechas de inicio del 29 de abril y 31 de mayo este fue negativo.

8. Conclusiones

En Colombia, el mercado de contratos forward sobre la tasa de cambio COP/USD ha presentado un desarrollo sobresaliente en años recientes, sin embargo, el precio de este instrumento difiere significativamente de la tasa spot futura vigente en la fecha de vencimiento de la operación, lo cual indica la existencia de una prima que incorpora entre otros factores, el riesgo que asumen los agentes en el mercado, los costos de transacción y las expectativas sobre el valor futuro de la tasa de cambio. En promedio, el valor absoluto de la diferencia entre estas tasas para los plazos a 7, 15, 30 y 60 días es respectivamente de \$18, \$32, \$49 y \$79 por dólar, lo que evidencia, que entre mayor es el plazo del forward, también el diferencial.

Con el fin de estimar el precio del forward tasa de cambio en el mercado colombiano, se utilizó como metodología, *la valoración bajo la condición de no arbitraje*, la cual dentro de las finanzas modernas constituye la base en la determinación del precio de los activos financieros, al garantizar que bajo condiciones de eficiencia en el mercado, ningún agente pueda construir un portafolio con posiciones simultáneas en diferentes activos, que le permitan obtener un beneficio libre de riesgo sin incurrir en un costo de inversión positiva. Bajo este objetivo, se construyó un modelo de optimización que determinara las cantidades óptimas que deberían hacer parte de un

portafolio que se adquiriera el día t , para replicar los flujos de caja que se generan en la operación de un forward tradicional en la fecha $t+d$, cuando se da cumplimiento al derivado.

Para el caso del Forward con plazo a 7 días, el modelo en su versión más general, permitió construir portafolios en cada fecha con un costo inferior en promedio de \$270.6 por dólar, lo que indica la existencia de oportunidades de arbitraje. Los activos con la mayor representación dentro del forward sintético, corresponden a acciones, y dentro de estas la de Bavaria, Valorem, Cementos Paz del Río, Paz del Río. La utilización de especificaciones diferentes del modelo, al incluir como tasa de interés pasiva, la DTF, y activa, la preferencial, o utilizar la tasa spot como referencia, no generan modificaciones sustanciales. En promedio el costo del portafolio se incrementa en \$1.8 por dólar.

Los ejercicios realizados con el modelo, suponiendo que no se dispone en el mercado de bonos TES B, ó monedas para replicar los flujos de caja, genera en promedio una disminución de la ganancia de sólo \$6.9 por dólar, es decir, que se mantiene una diferencia de \$263.7 por dólar entre la tasa del forward a 7 días y el costo del portafolio. En forma contraria, si se supone que no se utilizan acciones, el valor del ahorro o ganancia promedio desciende a sólo \$93.9 por dólar.

Si se establecen restricciones adicionales al problema de optimización, exigiendo que los portafolios construidos se concentren en un número reducido de activos, por ejemplo mínimo 100 veces, se encuentra en promedio que la acción de Bavaria es utilizada en el 27.7% de los portafolios óptimos, mientras Valorem, Paz del río y Cementos Paz del Río, hacen lo mismo con el 24.7%, 24.5% y 23.2%, respectivamente. En la medida en que se exige una mayor participación de una acción dentro de los portafolios óptimos, el costo de ellos se acerca al valor de la tasa forward: cuando se exigen mínimo 50 participaciones, la ganancia promedio es de \$214.6 por dólar, cuando son mínimo 100 y 200 utilizaciones, la ganancia se reduce a \$178.6 y \$140.6 por dólar respectivamente.

Con respecto al forward a 15 días, se encontró que al exigir como mínimo una utilización del activo de 100 veces dentro del portafolio óptimo, la acción de Bavaria fue el único resultado encontrado, con una ganancia promedio de \$144.1 por dólar. Sin embargo, el número de casos infactibles para el modelo fue del 32%. Al analizar el forward a 30 días, y el mismo número de utilizaciones que para el plazo de 15 días, resulta ser nuevamente la acción de Bavaria, la encontrada como óptima para el portafolio sintético. En forma diferente a los casos anteriores, en el forward a 60 días, con la misma cantidad mínima de participaciones, resultan todos los casos infactibles. Si relajamos el número a 100 utilizaciones, las acciones sugeridas dentro del portafolio óptimo serían Corfivalle y ADP Bancolombia, que generarían un portafolio cuyo costo, en promedio generaría una ganancia de \$483 por dólar.

Los análisis realizados indicaron que las acciones de Bavaria y Valorem eran los mejores candidatos para formar el activo sintético que replicara los flujos de caja de los forwards. Los resultados anteriores permitieron concluir, que en un mundo en el que existe certeza sobre los precios de los activos financieros colombianos, se podría haber construido portafolios sintéticos, con una ganancia máxima de \$270 por dólar respecto al valor de la tasa forward a 7 días, lo que indica ineficiencia en el mercado, y la posibilidad de arbitraje. En el peor de los ejercicios realizados, la ganancia se vio reducida a sólo \$93 por dólar, cuando se supuso que no se podían utilizar acciones dentro del portafolio sintético.

El ejercicio final, se realizó sobre simulaciones del precio de la tasa de cambio, de la acción de Bavaria y Valorem entre enero y junio de 2005, realizadas a partir de los parámetros estimados de modelos ARMA-GARCH. El ejercicio fue aplicado a los Forward con plazo a 7 días, pero los resultados no fueron satisfactorios. En general, el ahorro o ganancia neta de un agente que decide adquirir el portafolio sintético, en lugar de contratar el forward, fue positiva en \$8.5 por dólar y \$16 por dólar con simulaciones con un horizonte de tiempo máximo del 30 de junio en las fechas del 4 de enero y el 28 de febrero, respectivamente. En los demás casos fue negativa. Cuando el horizonte de tiempo sobre el cual se construyen los precios esperados de los activos a través

de las simulaciones es corto, la ganancia es en promedio positiva, en promedio \$32 por dólar. Sin embargo, aún en periodos cortos, el ahorro neto ó ganancia, pueden ser negativos.

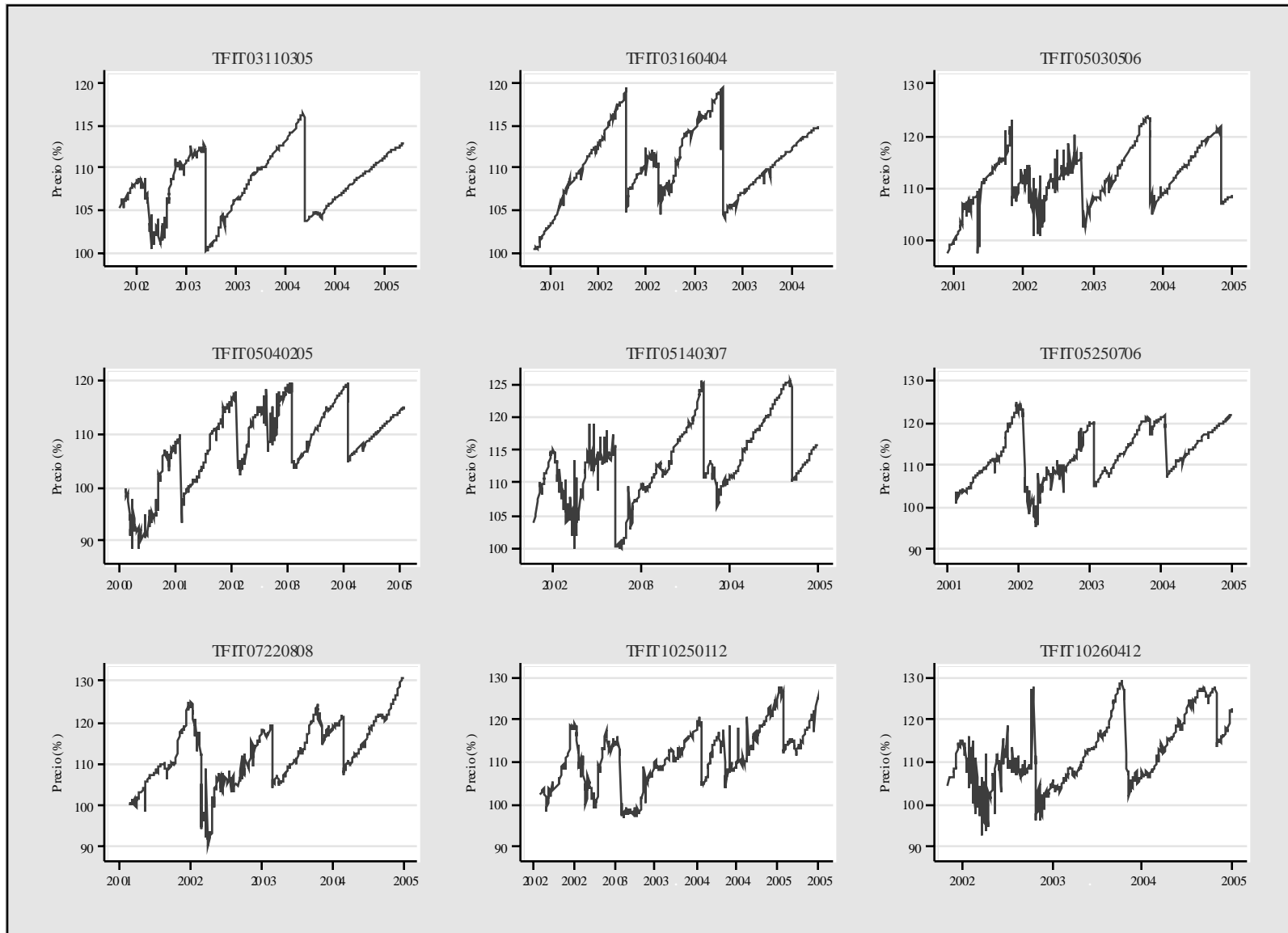
Los resultados del modelo cuando se incluye la incertidumbre conducen a ganancias mínimas ó pérdidas, frente a los beneficios que se obtienen en el portafolio sintético cuando se tiene certeza sobre los precios. El problema fundamental en el caso bajo incertidumbre, radica en el poco ajuste que se dio entre los valores esperados de los activos a partir de las simulaciones realizadas y el valor observado para estas variables. En términos generales se podría decir, que en el mercado colombiano, aunque se puedan construir ex post portafolios sintéticos que permitan la existencia de posibilidades de arbitraje frente al forward de tasa de cambio, la incertidumbre y riesgo asociado a la evolución del precio de los activos que lo conforman, compensarían esta diferencia, a no ser, que se dispongan de modelos de pronóstico que permitan un muy buen ajuste entre los valores proyectados y los valores observados.

Bibliografía.

- Alexander, C., 2001, *Market Models: A Guide to Financial Data Analysis*, Jhon Wiley & Sons.
- Allayannis, G., and E. Ofek, 2000, *Exchange-Rate Exposure, Hedging, and the Use of Foreign Currency Derivatives*, Journal of International Money and Finance.
- Allayannis, G., and J. Weston, 2001, *The Use of Foreign Currency Derivatives and Firm Market Value*, The Review of Financial Studies, 14, 243-276
- Baxter, M., and A. Rennie, 1996, *Financial Calculus, An Introduction to Derivative Pricing*, Cambridge University Press.
- Benninga, S., 2000, *Financial Modelling*, The MIT Press.
- Bertsimas, D., L. Kogan and A. Lo., 2000, *Hedging Derivative Securities and Incomplete Markets: An & Arbitrage Approach*, Sloan School of Management, MIT, Working Paper, 3973-97
- Campbell, J., and A. Mackinlay, 1997, *The Econometrics of Financial Markets*, Princeton University Press.
- Castellanos, C., and F. Beltrán, 2003, *Modelaje del Precio del Aceite de Palma como Mecanismo de Cobertura de Riesgo*, Working Paper, Universidad de los Andes.
- Dahl, H., Alexander M., and Stavros, Z., 1993., *Some Financial Optimization Models: I Risk Management*, Cambridge University Press.
- DeRosa, D., 1998, *Currency Derivatives: Pricing Theory, Exotic Options, and Hedging Applications*, John Wiley & Sons.
- Duffie, D., 1996, *Dynamic Asset Pricing*, Princeton University Press.
- Energy Derivative: Pricing and Risk Management, *Introduction to Energy Derivatives and Fundamentals of Modelling and Pricing*, Working Paper.
- Evans, M., and R. Lyons, 2005, *Meese-Rogo. Redux: Micro-Based Exchange Rate Forecasting*, Working Paper 11042, NBER.
- Fouque, J., and G. Papanicolaou, 2000, *Derivatives in Financial Markets With Stochastic Volatility*, Cambridge University Press.
- Geczy, C., B. Minton and C. Schrand, 1997, *Why Firms Use Currency Derivatives?*, Journal of Finance, 52, 1324-1354.
- Gómez, E., D., Vásquez and C., Zea, 2005, *Derivative Markets, Impact on Colombian Monetary Policy*, Borradores de Economía, Banco de la República, No.334..
- Gómez, R., and F. Beltrán, 2003, *Control de Riesgo en Portafolios Mediante el Uso de Opciones sobre Modelos de Volatilidad Estocástica*, Working Paper, Universidad de los Andes.
- Hull, J., 1993, *Options, Futures and Other Derivatives*, Prentice Hall, New Jersey.

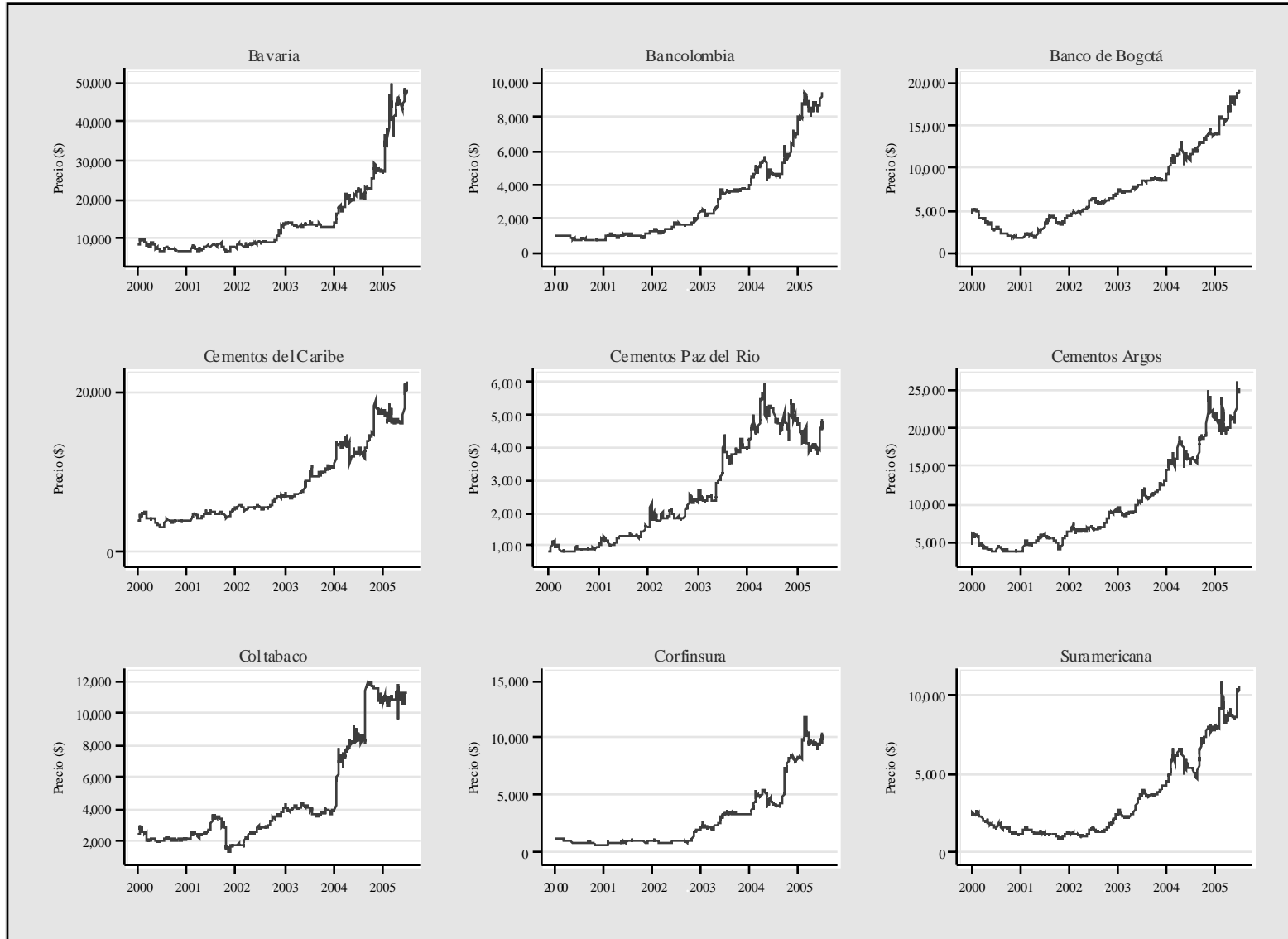
- Mian, S., 1996, *Evidence on Corporate Hedging Policy*, Journal of Financial and Quantitative Analysis, 31, 419-439.
- Mills, T., 1999, *The Econometric Modelling of Financial Time Series*, Cambridge University Press.
- Neftci, S., 1996, *An Introduction to the Mathematics of Financial Derivatives*, Academic Press.
- Pliska, S., 1997, *Introduction to Mathematical Finance, Discrete Time Models*, Blackwell Publishers.
- Ross, S., 1991, *An Introduction to Mathematical Finance, Options and Other Topics*, Cambridge University Press.
- Stulz, R., 1984, *Optimal Hedging Policies*, Journal of Financial and Quantitative Analysis, 19, 127-140.
- Tsay, R., 2002, *Analysis of Financial Time Series*, John Wiley & Sons.
- Urrutia, M., 2002, *Una Visión Alternativa : La Política Monetaria y Cambiaria en la última década*, Borradores de Economía, Banco de la República.
- Wilmontt, P., 2000, *On Quantitative Finance*, John Wiley & Sons.
- Wilmott, P., and S. Howison, 1997, *The Mathematics of Financial Derivatives: A Student Introduction*, Cambridge University Press.
- Zea, C., E., Gomez and D., Vasquez., 2005, *Derivative Markets' Impact on Colombian Monetary Policy*, Borradores de Economía, Banco de la República.

Anexo 1
Evolución Reciente del Precio Sucio de Algunos TES Renta Fija en el Mercado Colombiano
2000 – I Sem 2005



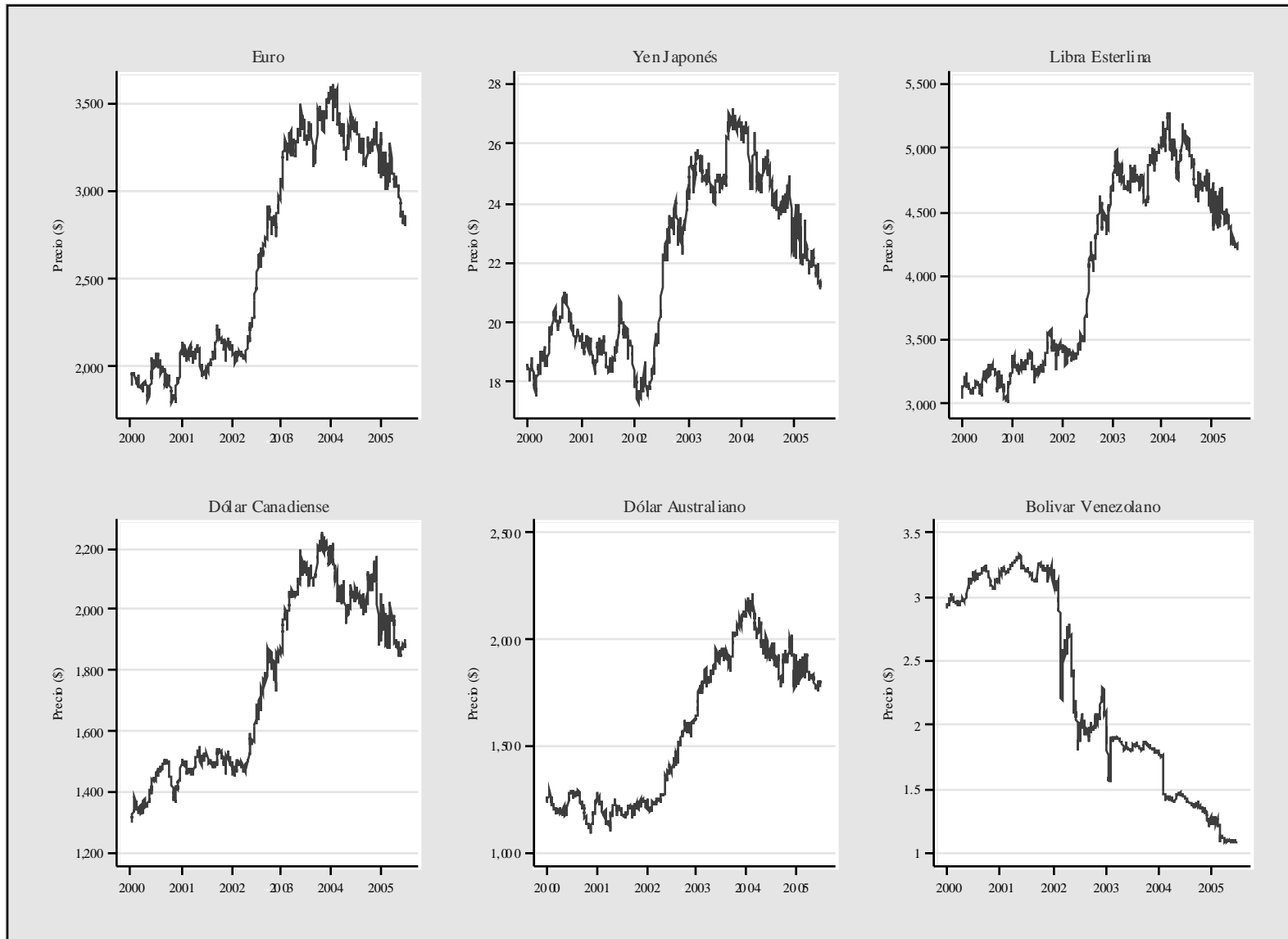
Fuente: Banco de la República

Anexo 2.
Evolución Reciente del Precio de Algunas Acciones en el Mercado Colombiano
2000 – I Sem 2005



Fuente: Banco de la República

Anexo 3
Evolución Reciente del Precio de Algunas Monedas en el Mercado Colombiano
2000 – I Sem 2005



Fuente: Banco de la República

Anexo 4
Modelo de Optimización : Forward Sintético Versión 1

```

(*)
Modelo      : Forward Sintético Caso 1
Creación   : 10/01/2006
Autor      : Alexander Guarín L.
Email      : al_guari@uniandes.edu.co
Institución : Universidad de los Andes
Descripción : Permite construir un portafolio sintético a partir de la replicación de los flujos de caja de un forward.
*****!

model "ForwaFc_Sintético Caso 1"      !Modelo Forward Sintético
uses "mxxprs"                          !Use Xpress- Optimizer

! Archivos de entrada y salida de datos

parameters
inputfile = ".inputfile.txt"
outputfile = ".outputfile.txt"
end-parameters

! Estado de factibilidad del problema de optimización

forward function Probl_Optim(Estado: integer): string

declarations

! Parámetros básicos del modelo

d      = 7                          ! Plazo pactado del forward : Número de días.
S_Ini  = 36528                       ! Fecha inicial : 3 de enero de 2000
S_Fin  = 38533                       ! Fecha final : 30 de junio de 2005

! Conjuntos que permiten realizar la indexación de las distintas variables del modelo

T      : set of integer              ! Periodos de Tiempo : corresponde a fechas diarias de calendario laboral.
DV     : set of integer              ! Número de Días para el Vencimiento del Forward
PF     : set of integer              ! Plazo de los forward utilizados en el modelo: Número de días

! Conjuntos de instrumentos financieros del mercado colombiano, utilizados en la construcción del activo sintético.

B_TFIT : set of string               ! Bonos TES tasa fija en pesos total : negocia el principal y los cupones.
B_USD  : set of string               ! Bonos TES denominados en dólares.
B_UVR  : set of string               ! Bonos TES denominados en UVR.
B_TFIP : set of string               ! Bonos TES tasa fija en pesos principal : negocia sólo el principal.
B_TFIC : set of string               ! Bonos TES tasa fija en pesos cupón : negocia sólo un cupón.
A      : set of string               ! Principales acciones transadas.
M      : set of string               ! Principales monedas negociadas.

! Precio sucio promedio diario de los TES, precio promedio diario de cotización de las acciones y de negociación de las monedas.

PB_TFIT : array(T, B_TFIT) of real ! Precio sucio : TES tasa fija en pesos total en el día t : % del valor nominal.
PB_USD  : array(T, B_USD)  of real ! Precio sucio : TES denominados en dólares en el día t : % del valor nominal.
PB_UVR  : array(T, B_UVR)  of real ! Precio sucio : TES denominados en UVR en el día t : % del valor nominal.
PB_TFIP : array(T, B_TFIP) of real ! Precio sucio : TES tasa fija en pesos principal en el día t : % del valor nominal.
PB_TFIC : array(T, B_TFIC) of real ! Precio sucio : TES tasa fija en pesos cupón en el día t : % del valor nominal.
PA      : array(T, A)      of real ! Precio promedio diario de cotización de acciones en el día t : $ pesos por acción.
PM      : array(T, M)      of real ! Precio promedio diario de negociación de monedas en el día t : $ pesos por moneda.

! Flujo de caja por concepto de pago de cupones y principal para los TES, y de los dividendos para las acciones.

CPB_TFIT : array(T, B_TFIT) of real ! Cupón y principal : TES tasa fija en pesos total en el día t : % del valor nominal.
CPB_USD  : array(T, B_USD)  of real ! Cupón y principal : TES denominados en USD en el día t : % del valor nominal.
CPB_UVR  : array(T, B_UVR)  of real ! Cupón y principal : TES denominados en UVR en el día t : % del valor nominal.
CPB_TFIP : array(T, B_TFIP) of real ! Principal : TES tasa fija en pesos principal en el día t : % del valor nominal.
CPB_TFIC : array(T, B_TFIC) of real ! Cupón : TES tasa fija en pesos cupón en el día t : % del valor nominal.
DA      : array(T, A)      of real ! Dividendo : Acciones en el día t : $ pesos por acción.

! Tasas de Interés (Curva Spot, la DTF y la tasa de interés activa)

Ti_CS   : array(T, DV) of real ! Tasa de interés de la curva spot en el día t a un plazo de v días : % Tasa nom día venc.
Ti_DTF  : array(T)   of real ! Tasa de interés pasiva : Tasa DTF en el periodo t : % Tasa nom día venc.
Ti_Act  : array(T)   of real ! Tasa de interés activa : Tasa preferencial en el día t : % Tasa nom día venc.

! Forwards de compra, venta y valor medio para el USD, con vencimientos a diferentes plazos.

Fw_C    : array(T, PF) of real ! Tasa pactada para el forward de compra de 1 dólar : $ pesos por dólar.
Fw_V    : array(T, PF) of real ! Tasa pactada para el forward de venta de 1 dólar : $ pesos por dólar.
Fw_M    : array(T, PF) of real ! Valor medio de la tasa pactada para el forward : $ pesos por dólar.

! Tasa spot para el dólar y tasa UVR.

UVR     : array(T)   of real ! Valor diario de la UVR : unidades por UVR.
SP      : array(T)   of real ! Tasa spot del dólar : $ pesos por dólar.

! Otras constantes

T_Ini = "TFIT01021100" ! Nombre del primer título en la base de datos.

end-declarations

! Inicialización de los Datos

initializations from inputfile

T B_TFIT B_USD B_UVR B_TFIP B_TFIC A M PB_TFIT PB_USD PB_UVR PB_TFIP PB_TFIC PA PM SP DV PF UVR CPB_TFIT CPB_USD
CPB_UVR CPB_TFIP CPB_TFIC DA Ti_CS Ti_DTF Ti_Act Fw_C Fw_V Fw_M

end-initializations

! Variables de Decisión

declarations

```

```

OB_TFIT : array(B_TFIT) of mpvar ! Valor nominal TES tasa fija en pesos total en el día t : $ pesos.
OB_USD : array(B_USD) of mpvar ! Valor nominal TES denominados en USD en el día t : Unidades UVR.
OB_UVR : array(B_UVR) of mpvar ! Valor nominal TES denominados en UVR en el día t : Dólares.
OB_TFIP : array(B_TFIP) of mpvar ! Valor nominal TES tasa fija en pesos principal en el día t : $ pesos.
OB_TFIC : array(B_TFIC) of mpvar ! Valor nominal TES tasa fija en pesos cupón en el día t : $ pesos.
QA : array(A) of mpvar ! Número de acciones en el día t.
QM : array(M) of mpvar ! Número de unidades de moneda extranjera en el día t.
DP : array(T) of mpvar ! Valor en pesos de las necesidades de financiación en el día t.

```

end-declarations

! Apertura del Archivo de Resultados

```
fopen(outputfile , F_OUTPUT)
```

! Modelo de Optimización

! Programación del activo sintético para cada fecha t de negociación del forward

```
forall (s in T | s>=S_Ini and s<=S_Fin-d and Fw_C(s,d)<>0 ) do
```

! Costo de adquisición del portafolio óptimo en el día t de negociación del forward

```

Ct_B_TFIT := sum(i in B_TFIT | PB_TFIT(s,i)>0 and PB_TFIT(s+d,i)>0) PB_TFIT(s,i)*QB_TFIT(i)
Ct_B_USD := sum(i in B_USD | PB_USD(s,i)>0 and PB_USD(s+d,i)>0) SP(s)*PB_USD(s,i)*QB_USD(i)
Ct_B_UVR := sum(i in B_UVR | PB_UVR(s,i)>0 and PB_UVR(s+d,i)>0) UVR(s)*PB_UVR(s,i)*QB_UVR(i)
Ct_B_TFIP := sum(i in B_TFIP | PB_TFIP(s,i)>0 and PB_TFIP(s+d,i)>0) PB_TFIP(s,i)*QB_TFIP(i)
Ct_B_TFIC := sum(i in B_TFIC | PB_TFIC(s,i)>0 and PB_TFIC(s+d,i)>0) PB_TFIC(s,i)*QB_TFIC(i)

```

```

Ct_Bonos := Ct_B_TFIT + Ct_B_USD + Ct_B_UVR + Ct_B_TFIP + Ct_B_TFIC
Ct_Acciones := sum(j in A | PA(s,j)>0 and PA(s+d,j)>0) PA(s,j)*QA(j)
Ct_Monedas := sum(k in M | PM(s,k)>0 and PM(s+d,k)>0) PM(s,k)*QM(k)

```

! Ingreso por la venta del portafolio óptimo en el día t+d de vencimiento del forward

```

In_B_TFIT := sum(i in B_TFIT | PB_TFIT(s,i)>0 and PB_TFIT(s+d,i)>0) PB_TFIT(s+d,i)*QB_TFIT(i)
In_B_USD := sum(i in B_USD | PB_USD(s,i)>0 and PB_USD(s+d,i)>0) SP(s+d)*PB_USD(s+d,i)*QB_USD(i)
In_B_UVR := sum(i in B_UVR | PB_UVR(s,i)>0 and PB_UVR(s+d,i)>0) UVR(s+d)*PB_UVR(s+d,i)*QB_UVR(i)
In_B_TFIP := sum(i in B_TFIP | PB_TFIP(s,i)>0 and PB_TFIP(s+d,i)>0) PB_TFIP(s+d,i)*QB_TFIP(i)
In_B_TFIC := sum(i in B_TFIC | PB_TFIC(s,i)>0 and PB_TFIC(s+d,i)>0) PB_TFIC(s+d,i)*QB_TFIC(i)

```

```

In_Bonos := In_B_TFIT + In_B_USD + In_B_UVR + In_B_TFIP + In_B_TFIC
In_Acciones := sum(j in A | PA(s,j)>0 and PA(s+d,j)>0) PA(s+d,j)*QA(j)
In_Monedas := sum(k in M | PM(s,k)>0 and PM(s+d,k)>0) PM(s+d,k)*QM(k)
In_Total := In_Bonos + In_Acciones + In_Monedas

```

! Ingreso por pago de cupones, principal y dividendos en la fecha t+v, entre el día posterior a la fecha de negociación del forward y la fecha de vencimiento del forward. Incluye también los rendimientos asociados a la inversión de dicho flujo de caja hasta la el día de vencimiento del forward.

```

Fc_B_TFIT := sum(i in B_TFIT, v in DV | PB_TFIT(s,i)>0 and PB_TFIT(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_TFIT(s+v,i)>0)
(CPB_TFIT(s+v,i)*QB_TFIT(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
Fc_B_USD := sum(i in B_USD, v in DV | PB_USD(s,i)>0 and PB_USD(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_USD(s+v,i)>0)
(CPB_USD(s+v,i)*SP(s+v)*QB_USD(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
Fc_B_UVR := sum(i in B_UVR, v in DV | PB_UVR(s,i)>0 and PB_UVR(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_UVR(s+v,i)>0)
(CPB_UVR(s+v,i)*UVR(s+v)*QB_UVR(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
Fc_B_TFIP := sum(i in B_TFIP, v in DV | PB_TFIP(s,i)>0 and PB_TFIP(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_TFIP(s+v,i)>0)
(CPB_TFIP(s+v,i)*QB_TFIP(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
Fc_B_TFIC := sum(i in B_TFIC, v in DV | PB_TFIC(s,i)>0 and PB_TFIC(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_TFIC(s+v,i)>0)
(CPB_TFIC(s+v,i)*QB_TFIC(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))

```

```

Fc_Bonos := Fc_B_TFIT + Fc_B_USD + Fc_B_UVR + Fc_B_TFIP + Fc_B_TFIC
Fc_Acciones := sum(j in A, v in DV | v>0 and v<=d and DA(s+v,j)>0) (DA(s+v,j)*QA(j))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
Fc_Total := Fc_Bonos + Fc_Acciones
Ingreso_Total := In_Total + Fc_Total

```

! Función Objetivo: Costo Total (CT) del Portafolio Sintético (PS) en t.

```
Costo_Total := Ct_Bonos + Ct_Acciones + Ct_Monedas
```

! El PS debe ser financiado. El Flujo de Caja (FC) en t debe ser igual a 0.

```
Restr_1 := Ct_Bonos + Ct_Acciones + Ct_Monedas = DP(s)
```

! El valor Futuro (VF) del PS debe ser igual a la Tasa Spot del dólar en t+d.

```
Restr_2 := Ingreso_Total = SP(s+d)
```

! El VF de la Deuda en Pesos debe ser igual a la Tasa Forward pactada en t con cumplimiento en t+d

```
Restr_3 := DP(s)*(1+Ti_CS(s,d))^(d) <= Fw_C(s,d)
```

! El CT del PS debe ser menor ó igual que el VP de la tasa Forward pactada en t con cumplimiento en t+d

```
Restr_4 := Ct_Bonos + Ct_Acciones + Ct_Monedas <= Fw_C(s,d)*(1+Ti_CS(s,d))^(d)
```

! Restricciones que asegura un determinado conjunto de instrumentos (bonos, acciones ó monedas) no sean utilizados en el sintético

```

!forall(i in B_TFIT) QB_TFIT(i)=0
!forall(i in B_USD) QB_USD(i) =0
!forall(i in B_UVR) QB_UVR(i) =0
!forall(i in B_TFIP) QB_TFIP(i)=0
!forall(i in B_TFIC) QB_TFIC(i)=0
!forall(j in A) QA(j)=0
!forall(k in M) QM(k)=0

```

! Minimización de la Función Objetivo

```
minimize(Costo_Total)
```

! Generación e impresión del reporte de salida

```

forall(i in B_TFIT | i=T_Ini and s=S_Ini) write( "Fecha," Estado ")
forall(i in B_TFIT | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(i in B_USD | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(i in B_UVR | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(i in B_TFIP | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(i in B_TFIC | s=S_Ini) write( i, " ")

```

```

forall(i in B_TFIC | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(j in A | s=S_Ini) write( j, " ")
forall(k in M | s=S_Ini) write( k, " ")
forall(i in B_TFIT | i=T_Ini and s=S_Ini) write( " Costo_Total", " Deuda_Pesos", " Spot", " Spot_Futura", " Forward",
" Vpn_Forward", " Ct_Bonos", " Ct_Acciones", " Ct_Monedas", " Ct_B_TFIT", " Ct_B_USD", " Ct_B_UVR", " Ct_B_TFIP", " Ct_B_TFIC",
" Ingreso_Total", " In_Total", " In_Bonos", " In_Acciones", " In_Monedas", " In_B_TFIT", " In_B_USD", " In_B_UVR", " In_B_TFIP",
" In_B_TFIC", " Fc_Total", " Fc_Bonos", " Fc_Acciones", " Fc_B_TFIT", " Fc_B_USD", " Fc_B_UVR", " Fc_B_TFIP", " Fc_B_TFIC")
writeln
write(s, " ")
write( Probl_Optim(getprobstat), " ")
forall(i in B_TFIT ) write( strfmt(getsol(OB_TFIT(i)), 12, 4))
forall(i in B_USD ) write( strfmt((getsol(OB_USD(i))*SP(s)), 12, 4))
forall(i in B_UVR ) write( strfmt((getsol(OB_UVR(i))*UVR(s)), 12, 4))
forall(i in B_TFIP ) write( strfmt(getsol(OB_TFIP(i)), 12, 4))
forall(i in B_TFIC ) write( strfmt(getsol(OB_TFIC(i)), 12, 4))
forall(j in A) write( strfmt(getsol(OA(j)), 12, 4))
forall(k in M) write( strfmt(getsol(OM(k)), 12, 4))
write( strfmt(getobjval, 12, 4))
write( strfmt(getsol(DP(s)), 12, 4))
write( strfmt(SP(s), 12, 4))
write( strfmt(SP(s+d), 12, 4))
write( strfmt(Fw_C(s, d), 12, 4))
write( strfmt(Fw_C(s, d)*(1+Ti_CS(s, d))^(-d), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_Bonos), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_Acciones), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_Monedas), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_TFIT), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_USD), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_UVR), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_TFIP), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_TFIC), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ingreso_Total), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_Total), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_Bonos), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_Acciones), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_Monedas), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_TFIT), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_USD), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_UVR), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_TFIP), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_TFIC), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_Total), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_Bonos), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_Acciones), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_TFIT), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_USD), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_UVR), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_TFIP), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_TFIC), 12, 4))

end-do

! Cierre del Archivo de Resultados
fclose(F_OUTPUT)

! Definición del Estado del Problema de Optimización

function Probl_Optim( Estado: integer): string
case Estado of
XPRS_OPT: returned := "Optimo"
XPRS_INF: returned := "Infactible"
XPRS_UNF: returned := "Interminable"
XPRS_UNB: returned := "Sin Frontera"
else returned := "Estado Desconocido."
end-case
end-function

end-model

```

Anexo 5 y 6 Modelo de Optimización : Forward Sintético Versión 2 y 3

```

(!*****
Modelo      : Forward Sintético Caso 3
Creación    : 10/01/2006
Autor       : Alexander Guarín L.
Email       : al-guari@uniandes.edu.co
Institución : Universidad de los Andes
Descripción : Permite construir un portafolio sintético a partir de la replicación de los flujos de caja de un forward.
              Contiene un proceso iterativo de eliminación de los instrumentos cuya participación dentro de la construcción
              del activo sintético en el periodo T es mínima. Esto garantiza que el inversionista se concentre en la
              evolución de un conjunto reducido de activos.
*****!)
model "ForwaFc_Sintético Caso 3" !Modelo Forward Sintético
uses "mmxprs" !Use Xpress- Optimizer

! Archivos de entrada y salida de datos

parameters
inputfile = "./inputfile.txt"
outputfile = "./outputfile.txt"
end-parameters

! Estado de factibilidad del problema de optimización

forward function Probl_Optim(Estado: integer): string

declarations

! Parámetros básicos del modelo

```

d = 7 ! Plazo pactado del forward : Número de días.
 S_Ini = 36528 ! Fecha inicial : 3 de enero de 2000
 S_Fin = 38533 ! Fecha final : 30 de junio de 2005

! Conjuntos que permiten realizar la indexación de las distintas variables del modelo

T : set of integer ! Periodos de Tiempo : corresponde a fechas diarias de calendario laboral.
 DV : set of integer ! Número de Días para el Vencimiento del Forward
 PF : set of integer ! Plazo de los forward utilizados en el modelo: Número de días

! Conjuntos de instrumentos financieros del mercado colombiano, utilizados en la construcción del activo sintético.

B_TFIT : set of string ! Bonos TES tasa fija en pesos total : negocia el principal y los cupones.
 B_USD : set of string ! Bonos TES denominados en dólares.
 B_UVR : set of string ! Bonos TES denominados en UVR.
 B_TFIP : set of string ! Bonos TES tasa fija en pesos principal : negocia sólo el principal.
 B_TFIC : set of string ! Bonos TES tasa fija en pesos cupón : negocia sólo un cupón.
 A : set of string ! Principales acciones transadas.
 M : set of string ! Principales monedas negociadas.

! Precio sucio promedio diario de los TES, precio promedio diario de cotización de las acciones y de negociación de las monedas.

PB_TFIT : array(T, B_TFIT) of real ! Precio sucio : TES tasa fija en pesos total en el día t : % del valor nominal.
 PB_USD : array(T, B_USD) of real ! Precio sucio : TES denominados en dólares en el día t : % del valor nominal.
 PB_UVR : array(T, B_UVR) of real ! Precio sucio : TES denominados en UVR en el día t : % del valor nominal.
 PB_TFIP : array(T, B_TFIP) of real ! Precio sucio : TES tasa fija en pesos principal en el día t : % del valor nominal.
 PB_TFIC : array(T, B_TFIC) of real ! Precio sucio : TES tasa fija en pesos cupón en el día t : % del valor nominal.
 PA : array(T, A) of real ! Precio promedio diario de cotización de acciones en el día t : \$ pesos por acción.
 PM : array(T, M) of real ! Precio promedio diario de negociación de monedas en el día t : \$ pesos por moneda.

! Flujo de caja por concepto de pago de cupones y principal para los TES, y de los dividendos para las acciones.

CPB_TFIT : array(T, B_TFIT) of real ! Cupón y principal : TES tasa fija en pesos total en el día t : % del valor nominal.
 CPB_USD : array(T, B_USD) of real ! Cupón y principal : TES denominados en USD en el día t : % del valor nominal.
 CPB_UVR : array(T, B_UVR) of real ! Cupón y principal : TES denominados en UVR en el día t : % del valor nominal.
 CPB_TFIP : array(T, B_TFIP) of real ! Principal : TES tasa fija en pesos principal en el día t : % del valor nominal.
 CPB_TFIC : array(T, B_TFIC) of real ! Cupón : TES tasa fija en pesos cupón en el día t : % del valor nominal.
 DA : array(T, A) of real ! Dividendo : Acciones en el día t : \$ pesos por acción.

! Tasas de Interés (Curva Spot, la DTF y la tasa de interés activa)

Ti_CS : array(T, DV) of real ! Tasa de interés de la curva spot en el día t a un plazo de v días : % Tasa nom día venc.
 Ti_DTF : array(T) of real ! Tasa de interés pasiva : Tasa DTF en el período t : % Tasa nom día venc.
 Ti_Act : array(T) of real ! Tasa de interés activa : Tasa preferencial en el día t : % Tasa nom día venc.

! Forwards de compra, venta y valor medio para el USD, con vencimientos a diferentes plazos.

Fw_C : array(T, PF) of real ! Tasa pactada para el forward de compra de 1 dólar : \$ pesos por dólar.
 Fw_V : array(T, PF) of real ! Tasa pactada para el forward de venta de 1 dólar : \$ pesos por dólar.
 Fw_M : array(T, PF) of real ! Valor medio de la tasa pactada para el forward : \$ pesos por dólar.

! Tasa spot para el dólar y tasa UVR.

UVR : array(T) of real ! Valor diario de la UVR : unidades por UVR.
 SP : array(T) of real ! Tasa spot del dólar : \$ pesos por dólar.

! Definición de variables en el problema de reducción del número de instrumentos que hacen parte del forward sintético

SQB_TFIT : array(T, B_TFIT) of real ! Variable que replica el resultado de la cantidad QB_TFIT.
 SQB_USD : array(T, B_USD) of real ! Variable que replica el resultado de la cantidad QB_USD.

SQB_UVR : array(T, B_UVR) of real ! Variable que replica el resultado de la cantidad QB_UVR.
 SQB_TFIP : array(T, B_TFIP) of real ! Variable que replica el resultado de la cantidad QB_TFIP.
 SQB_TFIC : array(T, B_TFIC) of real ! Variable que replica el resultado de la cantidad QB_TFIC.
 SQA : array(T, A) of real ! Variable que replica el resultado de la cantidad QA.
 SQM : array(T, M) of real ! Variable que replica el resultado de la cantidad QM.

VDB_TFIT : array(T, B_TFIT) of integer ! Variable dummy : 0 si SQB_TFIT = 0, ó 1 en cualquier otro caso.
 VDB_USD : array(T, B_USD) of integer ! Variable dummy : 0 si SQB_USD = 0, ó 1 en cualquier otro caso.
 VDB_UVR : array(T, B_UVR) of integer ! Variable dummy : 0 si SQB_UVR = 0, ó 1 en cualquier otro caso.

VDB_TFIP : array(T, B_TFIP) of integer ! Variable dummy : 0 si SQB_TFIP = 0, ó 1 en cualquier otro caso.
 VDB_TFIC : array(T, B_TFIC) of integer ! Variable dummy : 0 si SQB_TFIC = 0, ó 1 en cualquier otro caso.
 VDA : array(T, A) of integer ! Variable dummy : 0 si SQA = 0, ó 1 en cualquier otro caso.
 VDM : array(T, M) of integer ! Variable dummy : 0 si SQM = 0, ó 1 en cualquier otro caso.

VCB_TFIT : array(B_TFIT) of integer ! Suma las variables dummy para cada instrumento perteneciente a B_TFIT.
 VCB_USD : array(B_USD) of integer ! Suma las variables dummy para cada instrumento perteneciente a B_USD.
 VCB_UVR : array(B_UVR) of integer ! Suma las variables dummy para cada instrumento perteneciente a B_UVR.
 VCB_TFIP : array(B_TFIP) of integer ! Suma las variables dummy para cada instrumento perteneciente a B_TFIP.
 VCB_TFIC : array(B_TFIC) of integer ! Suma las variables dummy para cada instrumento perteneciente a B_TFIC.
 VCA : array(A) of integer ! Suma las variables dummy para cada instrumento perteneciente a A.
 VCM : array(M) of integer ! Suma las variables dummy para cada instrumento perteneciente a M.

! Definición de constantes en el problema de reducción del número de instrumentos a utilizar en la construcción del sintético

IT : real ! Número de repeticiones que se exige al programa que sean realizadas.
 MI = 30 ! Número mínimo de veces que un instrumento debe hacer parte del portafolio sintético durante todo el período de tiempo T.

! Otras constantes

T_Ini = "TFIT01021100" ! Nombre del primer título en la base de datos.

end-declarations

! Inicialización de los Datos

initializations from inputfile

T B_TFIT B_USD B_UVR B_TFIP B_TFIC A M PB_TFIT PB_USD PB_UVR PB_TFIP PB_TFIC PA PM SP DV PF UVR CPB_TFIT CPB_USD
 CPB_UVR CPB_TFIP CPB_TFIC DA Ti_CS Ti_DTF Ti_Act Fw_C Fw_V Fw_M

end-inicializacions

! Variables de Decisión

declaracions

OB_TFIT : array(B_TFIT) of mpvar ! Valor nominal TES tasa fija en pesos total en el día t : \$ pesos.
 OB_USD : array(B_USD) of mpvar ! Valor nominal TES denominados en USD en el día t : Unidades UVR.
 OB_UVR : array(B_UVR) of mpvar ! Valor nominal TES denominados en UVR en el día t : Dólares.
 OB_TFIP : array(B_TFIP) of mpvar ! Valor nominal TES tasa fija en pesos principal en el día t : \$ pesos.
 OB_TFIC : array(B_TFIC) of mpvar ! Valor nominal TES tasa fija en pesos cupón en el día t : \$ pesos.
 QA : array(A) of mpvar ! Número de acciones en el día t.
 QM : array(M) of mpvar ! Número de unidades de moneda extranjera en el día t.
 DP : array(T) of mpvar ! Valor en pesos de las necesidades de financiación en el día t.

end-declaracions

! Apertura del Archivo de Resultados

fopen(outputfile , F_OUTPUT)

! Modelo de Optimización

! Define unos valores iniciales para IT y las variables contadoras de instrumentos antes de iniciar el proceso repetitivo.

IT:=0
 forall(i in B_TFIT) VCB_TFIT(i):=1
 forall(i in B_USD) VCB_USD(i):=1
 forall(i in B_UVR) VCB_UVR(i):=1
 forall(i in B_TFIP) VCB_TFIP(i):=1
 forall(i in B_TFIC) VCB_TFIC(i):=1
 forall(j in A) VCA(j):=1
 forall(k in M) VCM(k):=1

! Genera un proceso repetitivo

repeat

! Programación del activo sintético para cada fecha t de negociación del forward

forall(s in T | s>=S_Ini and s<=S_Fin-d and Fw_C(s,d)<>0) do

! Costo de adquisición del portafolio óptimo en el día t de negociación del forward

Ct_B_TFIT := sum(i in B_TFIT | PB_TFIT(s,i)>0 and PB_TFIT(s+d,i)>0) PB_TFIT(s,i)*QB_TFIT(i)
 Ct_B_USD := sum(i in B_USD | PB_USD(s,i)>0 and PB_USD(s+d,i)>0) SP(s)*PB_USD(s,i)*QB_USD(i)
 Ct_B_UVR := sum(i in B_UVR | PB_UVR(s,i)>0 and PB_UVR(s+d,i)>0) UVR(s)*PB_UVR(s,i)*QB_UVR(i)
 Ct_B_TFIP := sum(i in B_TFIP | PB_TFIP(s,i)>0 and PB_TFIP(s+d,i)>0) PB_TFIP(s,i)*QB_TFIP(i)
 Ct_B_TFIC := sum(i in B_TFIC | PB_TFIC(s,i)>0 and PB_TFIC(s+d,i)>0) PB_TFIC(s,i)*QB_TFIC(i)

Ct_Bonos := Ct_B_TFIT + Ct_B_USD + Ct_B_UVR + Ct_B_TFIP + Ct_B_TFIC
 Ct_Acciones := sum(j in A | PA(s,j)>0 and PA(s+d,j)>0) PA(s,j)*QA(j)
 Ct_Monedas := sum(k in M | PM(s,k)>0 and PM(s+d,k)>0) PM(s,k)*QM(k)

! Ingreso por la venta del portafolio óptimo en el día t+d de vencimiento del forward

In_B_TFIT := sum(i in B_TFIT | PB_TFIT(s,i)>0 and PB_TFIT(s+d,i)>0) PB_TFIT(s+d,i)*QB_TFIT(i)
 In_B_USD := sum(i in B_USD | PB_USD(s,i)>0 and PB_USD(s+d,i)>0) SP(s+d)*PB_USD(s+d,i)*QB_USD(i)
 In_B_UVR := sum(i in B_UVR | PB_UVR(s,i)>0 and PB_UVR(s+d,i)>0) UVR(s+d)*PB_UVR(s+d,i)*QB_UVR(i)
 In_B_TFIP := sum(i in B_TFIP | PB_TFIP(s,i)>0 and PB_TFIP(s+d,i)>0) PB_TFIP(s+d,i)*QB_TFIP(i)
 In_B_TFIC := sum(i in B_TFIC | PB_TFIC(s,i)>0 and PB_TFIC(s+d,i)>0) PB_TFIC(s+d,i)*QB_TFIC(i)

In_Bonos := In_B_TFIT + In_B_USD + In_B_UVR + In_B_TFIP + In_B_TFIC
 In_Acciones := sum(j in A | PA(s,j)>0 and PA(s+d,j)>0) PA(s+d,j)*QA(j)
 In_Monedas := sum(k in M | PM(s,k)>0 and PM(s+d,k)>0) PM(s+d,k)*QM(k)
 In_Total := In_Bonos + In_Acciones + In_Monedas

! Ingreso por pago de cupones, principal y dividendos en la fecha t+v, entre el día posterior a la fecha de negociación del forward y la fecha de vencimiento del forward. Incluye también los rendimientos asociados a la inversión de dicho flujo de caja hasta la el día de vencimiento del forward.

Fc_B_TFIT := sum(i in B_TFIT, v in DV | PB_TFIT(s,i)>0 and PB_TFIT(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_TFIT(s+v,i)>0) (CPB_TFIT(s+v,i)*QB_TFIT(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
 Fc_B_USD := sum(i in B_USD, v in DV | PB_USD(s,i)>0 and PB_USD(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_USD(s+v,i)>0) (CPB_USD(s+v,i)*SP(s+v)*QB_USD(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
 Fc_B_UVR := sum(i in B_UVR, v in DV | PB_UVR(s,i)>0 and PB_UVR(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_UVR(s+v,i)>0) (CPB_UVR(s+v,i)*UVR(s+v)*QB_UVR(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
 Fc_B_TFIP := sum(i in B_TFIP, v in DV | PB_TFIP(s,i)>0 and PB_TFIP(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_TFIP(s+v,i)>0) (CPB_TFIP(s+v,i)*QB_TFIP(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
 Fc_B_TFIC := sum(i in B_TFIC, v in DV | PB_TFIC(s,i)>0 and PB_TFIC(s+d,i)>0 and v>0 and v<=d and CPB_TFIC(s+v,i)>0) (CPB_TFIC(s+v,i)*QB_TFIC(i))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))

Fc_Bonos := Fc_B_TFIT + Fc_B_USD + Fc_B_UVR + Fc_B_TFIP + Fc_B_TFIC
 Fc_Acciones := sum(j in A, v in DV | v>0 and v<=d and DA(s+v,j)>0) (DA(s+v,j)*QA(j))*((1+Ti_CS(s+v,d-v))^(d-v))
 Fc_Total := Fc_Bonos + Fc_Acciones
 Ingreso_Total := In_Total + Fc_Total

! Función Objetivo: Costo Total (CT) del Portafolio Sintético (PS) en t.

Costo_Total := Ct_Bonos + Ct_Acciones + Ct_Monedas

! El PS debe ser financiado. El Flujo de Caja (FC) en t debe ser igual a 0.

Restr_1 := Ct_Bonos + Ct_Acciones + Ct_Monedas = DP(s)

! El valor Futuro (VF) del PS debe ser igual a la Tasa Spot del dólar en t+d.

Restr_2 := Ingreso_Total = SP(s+d)

! El VF de la Deuda en Pesos debe ser igual a la Tasa Forward pactada en t con cumplimiento en t+d

Restr_3 := DP(s)*(1+Ti_CS(s,d))^d <= Fw_C(s,d)

! El CT del PS debe ser menor ó igual que el VP de la tasa Forward pactada en t con cumplimiento en t+d

```

Restr_4      := Ct_Bonos + Ct_Acciones + Ct_Monedas <= Fw_C(s,d)*(1+Ti_CS(s,d))^(-d)
! Restricciones que aseguran que los instrumentos con el menor número de utilizaciones dentro de la construcción de un
! activo sintético para cada fecha t, no sean requeridos

forall(i in B_TFIT | VCB_TFIT(i)<=IT) Restr_5(i) := QB_TFIT(i)=0
forall(i in B_USD | VCB_USD(i)<=IT) Restr_6(i) := QB_USD(i) =0
forall(i in B_UVR | VCB_UVR(i)<=IT) Restr_7(i) := QB_UVR(i) =0
forall(i in B_TFIP | VCB_TFIP(i)<=IT) Restr_8(i) := QB_TFIP(i)=0
forall(i in B_TFIC | VCB_TFIC(i)<=IT) Restr_9(i) := QB_TFIC(i)=0
forall(j in A | VCA(j)<=IT) Restr_10(j) := QA(j)=0
forall(k in M | VCM(k)<=IT) Restr_11(k) := QM(k)=0

! Minimización de la Función Objetivo
minimize(Costo_Total)

! Generación e impresión del reporte de salida
if IT=MI-1 then
forall(i in B_TFIT | i=T_Ini and s=S_Ini) write( "Fecha", " Estado ")
forall(i in B_TFIT | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(i in B_USD | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(i in B_UVR | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(i in B_TFIP | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(i in B_TFIC | s=S_Ini) write( i, " ")
forall(j in A | s=S_Ini) write( j, " ")
forall(k in M | s=S_Ini) write( k, " ")
forall(i in B_TFIT | i=T_Ini and s=S_Ini) write( " Costo_Total", " Deuda_Pesos", " Spot", " Spot_Futura", " Forward",
" Vpn_Forward", " Ct_Bonos", " Ct_Acciones", " Ct_Monedas", " Ct_B_TFIT", " Ct_B_USD", " Ct_B_UVR", " Ct_B_TFIP", " Ct_B_TFIC",
" Ingreso_Total", " In_Total", " In_Bonos", " In_Acciones", " In_Monedas", " In_B_TFIT", " In_B_USD", " In_B_UVR", " In_B_TFIP",
" In_B_TFIC", " Fc_Total", " Fc_Bonos", " Fc_Acciones", " Fc_B_TFIT", " Fc_B_USD", " Fc_B_UVR", " Fc_B_TFIP", " Fc_B_TFIC")
writeln
write(s, " ")
write( Probl_Optim(getprobstat), " ")
forall(i in B_TFIT ) write( strfmt(getsol(QB_TFIT(i)), 12, 4))
forall(i in B_USD ) write( strfmt((getsol(QB_USD(i))*SP(s)), 12, 4))
forall(i in B_UVR ) write( strfmt((getsol(QB_UVR(i))*UVR(s)), 12, 4))
forall(i in B_TFIP ) write( strfmt(getsol(QB_TFIP(i)), 12, 4))
forall(i in B_TFIC ) write( strfmt(getsol(QB_TFIC(i)), 12, 4))
forall(j in A) write( strfmt(getsol(QA(j)), 12, 4))
forall(k in M) write( strfmt(getsol(QM(k)), 12, 4))
write( strfmt(getobjval, 12, 4))
write( strfmt(getsol(DP(s)), 12, 4))
write( strfmt(SP(s), 12, 4))
write( strfmt(SP(s+d), 12, 4))
write( strfmt(Fw_C(s,d), 12, 4))
write( strfmt(Fw_C(s,d)*(1+Ti_CS(s,d))^(-d), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_Bonos), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_Acciones), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_Monedas), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_TFIT), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_USD), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_UVR), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_TFIP), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_B_TFIC), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ingreso_Total), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_Total), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_Bonos), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_Acciones), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_Monedas), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_TFIT), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_USD), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_UVR), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_TFIP), 12, 4))
write( strfmt(getsol(In_B_TFIC), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_Total), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_Bonos), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_Acciones), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_TFIT), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_USD), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_UVR), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_TFIP), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Fc_B_TFIC), 12, 4))
end-if

! Creación de variables que replican las cantidades óptimas encontradas por el modelo
forall(i in B_TFIT ) do
SQB_TFIT(s,i) := getsol(QB_TFIT(i))
end-do
forall(i in B_USD ) do
SQB_USD(s,i) := getsol(QB_USD(i))
end-do
forall(i in B_UVR ) do
SQB_UVR(s,i) := getsol(QB_UVR(i))
end-do
forall(i in B_TFIP ) do
SQB_TFIP(s,i) := getsol(QB_TFIP(i))
end-do
forall(i in B_TFIC ) do
SQB_TFIC(s,i) := getsol(QB_TFIC(i))
end-do
forall(j in A ) do
SQA(s,j) := getsol(QA(j))
end-do
forall(k in M ) do
SQM(s,k) := getsol(QM(k))
end-do

! Definición de las variables dummy, que son iguales a 0 cuando las cantidades óptimas son 0, y 1 en cualquier otro caso
forall(i in B_TFIT ) VDB_TFIT(s,i):=0
forall(i in B_TFIT ) if SQB_TFIT(s,i)<>0 then
VDB_TFIT(s,i):=1
end-if
forall(i in B_USD) VDB_USD(s,i):=0
forall(i in B_USD) if SQB_USD(s,i)<>0 then

```

```

VDB_USD(s,i):=1
end-if
forall(i in B_UVR) VDB_TFIT(s,i):=0
forall(i in B_UVR) if SQB_UVR(s,i)<>0 then
VDB_TFIT(s,i):=1
end-if
forall(i in B_TFIP) VDB_TFIP(s,i):=0
forall(i in B_TFIP) if SQB_TFIP(s,i)<>0 then
VDB_TFIP(s,i):=1
end-if
forall(i in B_TFIC) VDB_TFIC(s,i):=0
forall(i in B_TFIC) if SQB_TFIC(s,i)<>0 then
VDB_TFIC(s,i):=1
end-if
forall(j in A) VDA(s,j):=0
forall(j in A) if SQA(s,j)<>0 then
VDA(s,j):=1
end-if
forall(k in M) VDM(s,k):=0
forall(k in M) if SQM(s,k)<>0 then
VDM(s,k):=1
end-if
end-do

! Definición de las variables que cuentan la cantidad de veces que cada instrumento hace parte de cada portafolio sintético
! en el periodo T

forall(i in B_TFIT) VCB_TFIT(i) := sum(s in T) VDB_TFIT(s,i)
forall(i in B_USD) VCB_USD(i) := sum(s in T) VDB_USD(s,i)
forall(i in B_UVR) VCB_UVR(i) := sum(s in T) VDB_UVR(s,i)
forall(i in B_TFIP) VCB_TFIP(i) := sum(s in T) VDB_TFIP(s,i)
forall(i in B_TFIC) VCB_TFIC(i) := sum(s in T) VDB_TFIC(s,i)
forall(j in A) VCA(j) := sum(s in T) VDA(s,j)
forall(k in M) VCM(k) := sum(s in T) VDM(s,k)

IT +=1
until IT=M

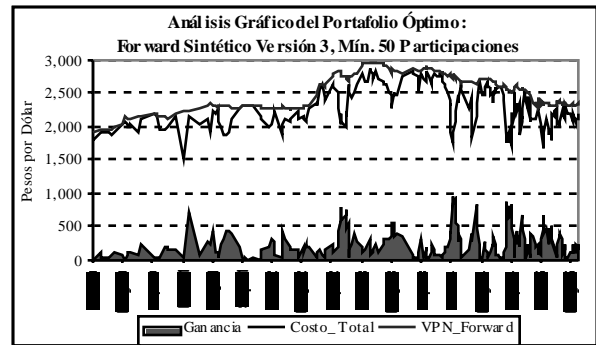
! Cierre del Archivo de Resultados
fclose(F_OUTPUT)

```

**Anexo 7
Forwards a 15 Días**

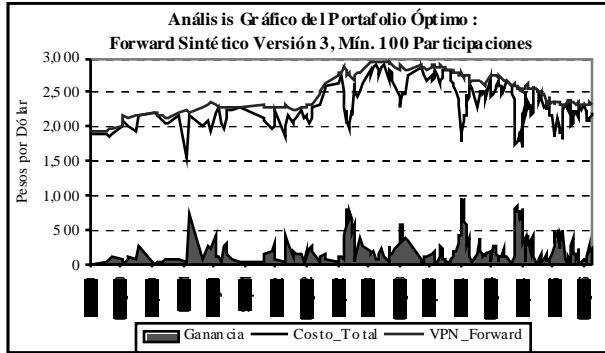
Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3. Min. Participaciones =50
(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Periodo		Participación	
	2000-2005 I Sem		%	
BAVARIA	72		21.05	
COLTABACO	78		22.81	
CORFINSURA	72		21.05	
TABLYMAD_CALDAS	67		19.59	



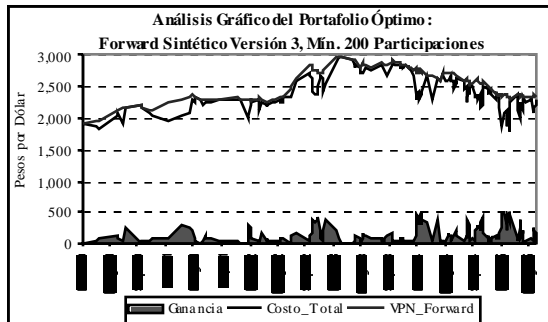
Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3. Min. Participaciones =100
(Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Periodo		Participación	
	2000-2005 I Sem		%	
BAVARIA	127		35.38	
COLTABACO	119		33.15	
CORFINSURA	113		31.48	



Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3, Mín. Participaciones =200
 (Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

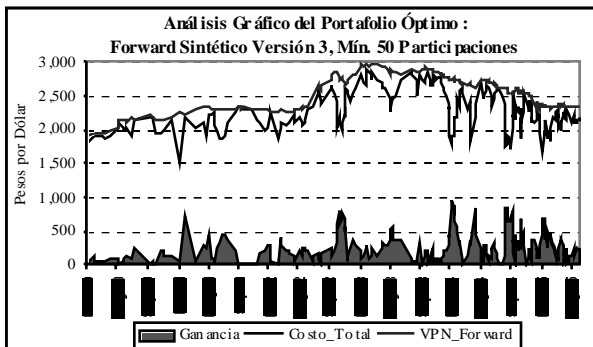
Activos	Periodo	Participación
	2000-2005 I Sem	%
BAVARIA	214	100.00



Anexo 8
Forwards a 30 Días

Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3, Mín. Participaciones =50
 (Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Periodo	Participación
	2000-2005 I Sem	%
BAVARIA	72	21.05
COLTA BACO	78	22.81
CORFINSURA	72	21.05
TABLYMAD_CALDAS	67	19.59
ADP_CORFWALLE	52	15.20

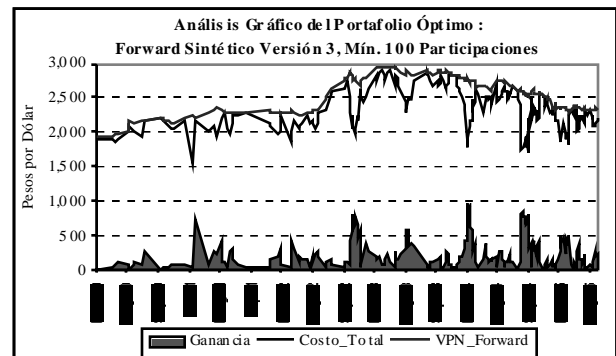


Forward Sintético Versión 3:
Min. Participaciones =100

Año	Infactible	Óptimo
2000	28.6%	71.4%
2001	33.3%	66.7%
2002	17.6%	82.4%
2003	7.1%	92.9%
2004	16.1%	83.9%
2005	22.8%	77.2%
Total	18.4%	81.6%

Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3, Mín. Participaciones =100
 (Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Periodo	Participación
	2000-2005 I Sem	%
BAVARIA	141	35.52
COLTABACO	119	29.97
CORFINSURA	113	28.46

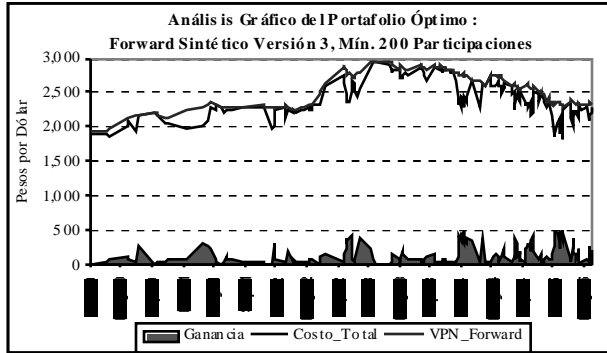


Forward Sintético Versión 3:
Min. Participaciones =200

Año	Infactible	Óptimo
2000	53.6%	46.4%
2001	40.7%	59.3%
2002	31.4%	68.6%
2003	28.6%	71.4%
2004	30.8%	69.2%
2005	24.5%	75.5%
Total	32.4%	67.6%

Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3, Mín. Participaciones =200
 (Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

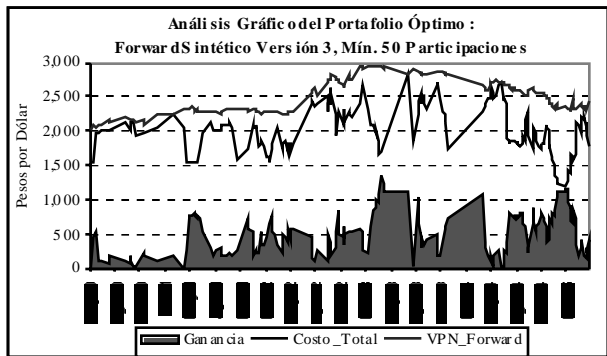
Activos	Periodo	Participación
	2000-2005 I Sem	%
BAVARIA	214	100.00



Anexo 9
Forwards a 60 Días

Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3, Mín. Participaciones =50
 (Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Periodo 2000-2005 I Sem	Participación %
COLTABACO	79	27.92
CORFIVALLE	77	27.21
ADP_BANCOLOMBIA	82	28.98
PAZ_DE_L_RD	38	13.43

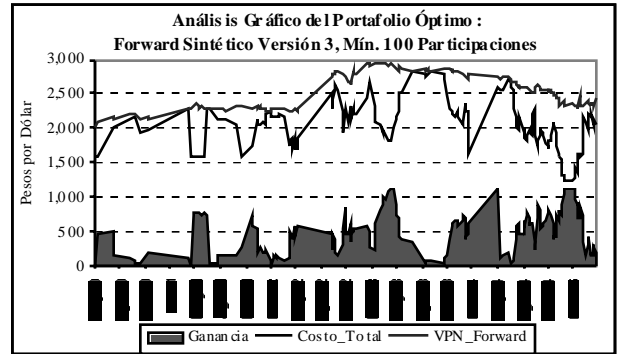


Forward Sintético Versión 3:
Mín. Participaciones =100

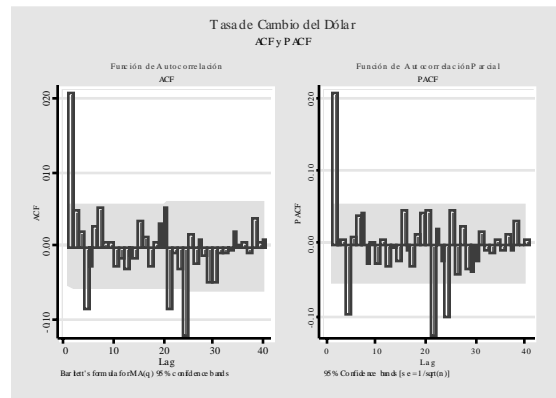
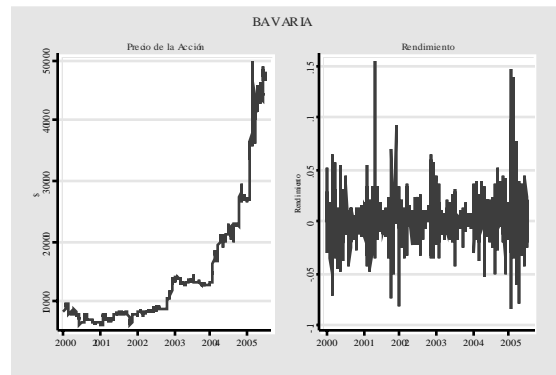
Año	Infactible	Óptimo
2000	47.4%	52.6%
2001	34.2%	65.8%
2002	23.5%	76.5%
2003	18.4%	81.6%
2004	21.5%	78.5%
2005	18.2%	81.8%
Total	24.1%	75.9%

Principales Activos del Portafolio Óptimo :
Forward Sintético Versión 3, Mín. Participaciones =100
 (Número de veces que el activo hizo parte del portafolio sintético)

Activos	Periodo 2000-2005 I Sem	Participación %
CORFIVALLE	124	36.69
ADP_BANCOLOMBIA	170	50.30



Anexo 10
Estimación de modelos GARCH
Precio de la Acción de Bavaria :



ARIMA regression

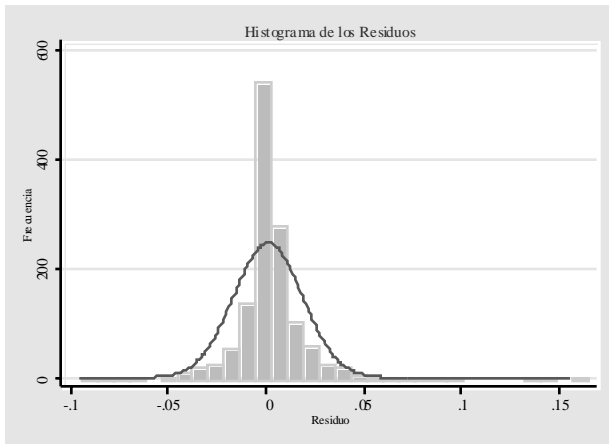
Sample: 2 to 1342 Number of obs = 1341
 Wald chi2(4) = 419.79
 Log likelihood = 3512.764 Prob > chi2 = 0.0000

		OPG				
dly		Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
ARMA	L1	.8355072	.1938427	4.31	0.000	.4555824 1.215432
	L2	-.484298	.0986207	-4.91	0.000	-.677591 -.2910049
ma	L1	-.6454541	.1941676	-3.32	0.001	-1.026016 -.2648926
	L2	.4170543	.0894254	4.66	0.000	.2417837 .5923248
/sigma		.0176243	.0001277	138.00	0.000	.017374 .0178746

stats		residuo	
mean		.0010991	
sd		.0175968	

Portmanteau test for white noise

Portmanteau (Q) statistic = 274.6218
 Prob > chi2(335) = 0.9931



stats		residuo	
skewness		1.40521	
kurtosis		16.83321	

Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	Prob>chi2
residuo	0.000	0.000		0.0000

regress resi d2 | 1.resi d2 | 2.resi d2

Source	SS	df	MS	Number of obs = 1339
Model	.00096936	2	.00048468	F(2, 1336) = 32.64
Residual	.001982575	1336	1.4840e-06	Prob > F = 0.0000
Total	.002079511	1338	1.5542e-06	R-squared = 0.0464
				Adj R-squared = 0.0452
				Root MSE = .00123

resi d2		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
resi d2	L1	.0851407	.0268609	3.17	0.002	.0324465 .1378341
	L2	.1896668	.0268608	7.06	0.000	.1369729 .2423607
_cons		.000225	.0000351	6.41	0.000	.0001561 .0002939

stats		nr2		vc	
mean		62.41747		5.991465	

ARCH family regression -- ARMA disturbances

Sample: 2 to 1342 Number of obs = 1341
 Wald chi2(3) = 794253.91
 Log likelihood = 3677.048 Prob > chi2 = 0.0000

dly		OPG					
ARMA		Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ARMA	L1	1.233487	.0247341	49.87	0.000	1.185009 1.281966	
	L2	-.2309499	.0249576	-9.25	0.000	-.2798659 -.1820339	
ma		L1	-.001917	.0029252	-342.51	0.000	-1.00765 -.996183
ARCH		L1	.0772149	.0049535	15.59	0.000	.0675062 .0869234
garch		L1	.9157127	.0032281	283.67	0.000	.9098858 .9220399
_cons		4.72e-06	4.10e-07	11.51	0.000	3.92e-06 5.53e-06	

regress nt2 | 1.nt2 | 2.nt2 | 3.nt2

Source	SS	df	MS	Number of obs = 1339
Model	59.6295959	3	19.876532	F(3, 1334) = 0.91
Residual	28021.615	1334	21.0057084	Prob > F = 0.4717
Total	28081.2446	1337	21.0031747	R-squared = 0.002
				Adj R-squared = -0.0007
				Root MSE = 4.583

nt2		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
nt2	L1	.0144703	.0273775	0.53	0.597	-.0392373 .068171
	L2	.042309	.0273549	1.55	0.122	-.0113543 .095972
	L3	-.0116002	.0273762	-0.42	0.672	-.0653053 .0421049
_cons		.9560737	.1336126	7.16	0.000	.69396 1.21818

stats		nt	
mean		.0315917	
sd		1.000518	
skewness		1.533759	
kurtosis		21.73384	

Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	Prob>chi2
nt	0.000	0.000		0.0000

regress nt2 | . smen | . smenres | . smasres

Source	SS	df	MS	Number of obs =
Model	51.6862916	3	17.2287639	1340
Residual	28032.907	1336	20.9827148	F(3, 1336) = 0.82
Total	28084.5933	1339	20.9743042	Prob > F = 0.4822
				R-squared = 0.0018
				Adj R-squared = -0.0004
				Root MSE = 4.5807

nt2		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
smen	L1	-.467012	.3114992	-1.50	0.134	-1.078093 .1440687
smenres	L1	-15.45646	14.31237	-1.08	0.280	-48.53362 12.6207
smasres	L1	-6.407101	11.12055	-0.58	0.565	-28.22275 15.40855
_cons		1.196334	.2155757	5.55	0.000	.7734302 1.619238

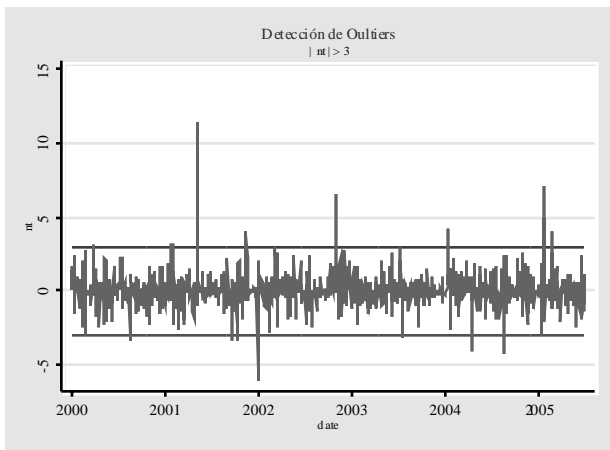
stats	snr2	svc
mean	2.466108	7.814728

regress nt2 | . nt2 | . nt2 | . nt2

Source	SS	df	MS	Number of obs =
Model	4.51706648	3	1.50568883	1338
Residual	5727.93921	1334	4.2938075	F(3, 1334) = 0.35
Total	5732.45627	1337	4.28755144	Prob > F = 0.7887
				R-squared = 0.0008
				Adj R-squared = -0.0015
				Root MSE = 2.0722

nt2		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
nt2	L1	.0217087	.0273775	0.79	0.428	-.0319989 .0754164
	L2	-.015123	.0273597	-0.55	0.581	-.0687957 .0385496
	L3	.010683	.0273549	0.39	0.696	-.0429804 .0643464
_cons		.9828666	.0736442	13.35	0.000	.8383946 1.127337

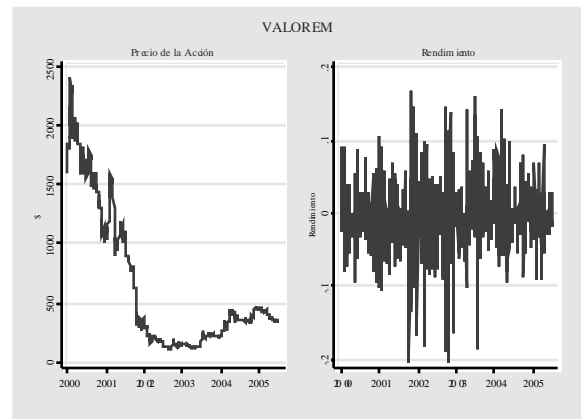
stats	nt
mean	.0550896
sd	.9993568
skewness	.0893998
kurtosis	5.268829



Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	Pr>chi2
nt	0.180	0.000	62.85	0.0000

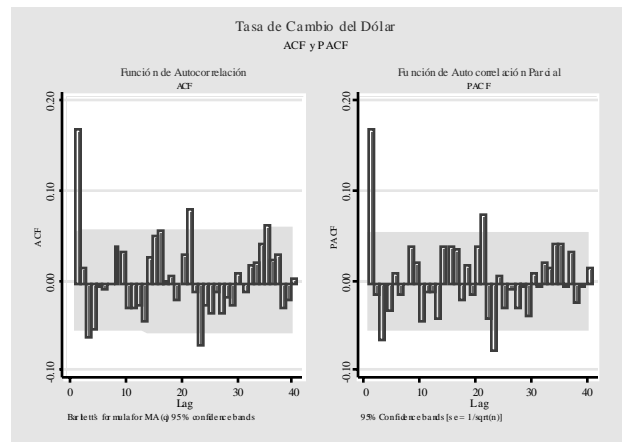
Anexo 11 Estimación de modelos GARCH Precio de la Acción de Valorem :



ARCH family regression -- ARMA disturbances

Sample: 2 to 1342
Log Likelihood = 3948.223
Number of obs = 1341
Wald chi2(20) = 3928.88
Prob > chi2 = 0.0000

dy		Coef.	OPG Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
ARMA						
ar	L1	-.3827577	.1414579	-2.71	0.007	-.6600101 -.1055053
	L2	.1371316	.0631571	2.17	0.030	.013346 .2609171
ma	L1	.7009857	.1321688	5.30	0.000	.4419396 .9600318
ARCH						
arch	L1	.2784666	.0247193	11.27	0.000	.2300167 .3269144
garch	L1	.7022083	.0196628	35.71	0.000	.6636699 .7407468
_cons		.0000118	1.36e-06	8.69	0.000	9.16e-06 .0000145



ARIMA regression

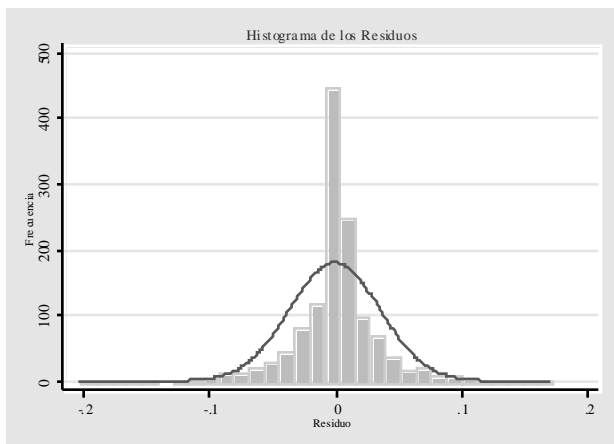
Sample: 2 to 1342
 Number of obs = 134
 Wald chi2(4) = 199.4
 Log likelihood = 2562.683
 Prob > chi2 = 0.000

		OPG				
dly		Coeff.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
ARMA	L1	.8185485	.189298	4.32	0.000	.4475313 1.189561
	L2	-.3894092	.1018403	-3.82	0.000	-.5890125 -.189808
ma	L1	-.6456748	.1912018	-3.38	0.001	-1.020423 -.270926
	L2	.2715879	.1226264	2.21	0.027	.0312445 .511931
/sigma		.0357934	.0003524	101.56	0.000	.0351027 .036484

stats		residuo
mean		-.0010287
sd		.0357929

Portmanteau test for white noise

Portmanteau (Q) statistic = 380.6362
 Prob > chi2(335) = 0.0432



stats		residuo
skewness		-.3105434
kurtosis		8.853301

Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	joint Prob>chi2
residuo	0.000	0.000	.	0.0000

regress resi d2 l1. resi d2 l2. resi d2

Source	SS	df	MS		
Model	.000670663	2	.000335332	Number of obs =	133
Resi dual	.016625916	1336	.00012445	F(2, 1336) =	26.91
Total	.017296579	1338	.00012927	Prob > F =	0.000
				R-squared =	0.0381
				Adj R-squared =	0.037
				Root MSE =	.0035

resi d2		Coeff.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
resi d2	L1	.133874	.0271039	4.94	0.000	.0807032 .187044
	L2	.1250804	.0271037	4.61	0.000	.0719099 .178250
_cons		.0009449	.0001065	8.87	0.000	.000736 .001153

stats		nr2	vc
mean		51.91882	5.991465

ARCH family regression -- ARMA disturbances

Sample: 2 to 1342
 Number of obs = 134
 Wald chi2(3) = 28.5
 Log likelihood = 2692.604
 Prob > chi2 = 0.000

dly		Coeff.	OPG Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
ARMA	L1	.7792585	.2553774	3.05	0.002	.2787281 1.27978
	L2	-.133629	.034998	-3.82	0.000	-.2022237 -.065034
ma	L1	-.6521979	.2564257	-2.54	0.011	-1.154783 -.149612
	L2	.0943296	.009048	10.43	0.000	.0765959 .112063
garch	L1	.8659289	.0105669	81.95	0.000	.8452181 .886639
	L2	.0000514	5.92e-06	8.69	0.000	.0000398 .000063
_cons		.0000514	5.92e-06	8.69	0.000	.0000398 .000063

regress nt2 l1. nt2 l2. nt2 l3. nt2

Source	SS	df	MS		
Model	18.0301135	3	6.01003785	Number of obs =	133
Resi dual	8318.60365	1334	6.23583482	F(3, 1334) =	0.9
Total	8336.63376	1337	6.23532817	Prob > F =	0.409
				R-squared =	0.002
				Adj R-squared =	-0.000
				Root MSE =	2.497

nt2		Coeff.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
nt2	L1	.0344494	.0273693	1.26	0.208	-.0192422 .088140
	L2	.0165908	.0273244	0.61	0.544	-.0370127 .070194
	L3	-.0268048	.0273121	-0.98	0.327	-.0803841 .026774
_cons		.9744728	.0823806	11.83	0.000	.8128632 1.13608

stats		nt
mean		-.0551434
sd		.9999615
skewness		-.2642436
kurtosis		7.183615

Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	joint Prob>chi2
nt	0.000	0.000	.	0.0000

regress nt2 l.smen l.smenres l.smasres

Source	SS	df	MS	Number of obs =	1340
Model	21.8192043	3	7.27306811	F(3, 1336) =	1.16
Residual	8350.1254	1336	6.25009386	Prob > F =	0.3224
				R-squared =	0.0026
				Adj R-squared =	0.0004
Total	8371.9446	1339	6.25238581	Root MSE =	2.5

nt2		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
smen	L1	.2068404	.1712983	1.21	0.227	-.1292025 .5428833
smenres	L1	-1.600557	3.188223	-0.50	0.616	-7.855026 4.653912
smasres	L1	5.616622	3.556966	1.58	0.115	-1.361225 12.59447
_cons		.8172303	.1266533	6.45	0.000	.5687692 1.065691

stats	snr2	svc
mean	3.492347	7.814728

ARCH family regression -- ARMA disturbances

Sample: 2 to 1342
 Log likelihood = 2770.483
 Number of obs = 1341
 Wald chi2(18) = 275.75
 Prob > chi2 = 0.0000

dly		Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
ARMA	L1	.687452	.2672389	2.57	0.010	.1636734 1.211231
	L2	-.1338478	.0368228	-3.63	0.000	-.2060192 -.0616764
ma	L1	-.5626349	.2685043	-2.10	0.036	-1.088894 -.0363761
ARCH	L1	.1034464	.0119099	8.69	0.000	.0801034 .1267894
garch	L1	.8353202	.0167311	49.93	0.000	.8025279 .8681125
_cons		.0000662	9.01e-06	7.35	0.000	.0000486 .0000839

regress nt2 l.nt2 l2.nt2 l3.nt2

Source	SS	df	MS	Number of obs =	1334
Model	17.0156346	3	5.67187819	F(3, 1334) =	1.01
Residual	7038.33933	1334	5.27611644	Prob > F =	0.3581
				R-squared =	0.0021
				Adj R-squared =	0.0000
Total	7055.35497	1337	5.27700446	Root MSE =	2.29

nt2		Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
nt2	L1	.0388742	.0273687	1.42	0.156	-.0148161 .0925641
	L2	-.0112654	.0272864	-0.41	0.680	-.0647944 .0422631
	L3	-.027471	.0272677	-1.01	0.314	-.0809632 .0260211
_cons		.998449	.0780643	12.79	0.000	.8453068 1.15159

stats	nt
mean	-.0308715
sd	1.001381
skewness	.1131215
kurtosis	6.290009

Variable	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	joint Prob>chi2
nt	0.090	0.000	.	0.000

Anexo 12

Modelo de Optimización : Forward Sintético bajo Incertidumbre

```
(! *****!
Modelo      : Forward Sintético bajo Incertidumbre
Creación    : 10/01/2006
Autor       : Alexander Guarín L.
Email       : al_guari@uniandes.edu.co
Institución : Universidad de los Andes
Descripción : Permite construir un portafolio sintético a partir de la replicación de los flujos de caja de un forward.
              Este modelo incluye incertidumbre en el precio de los activos con los cuales se pretende construir el sintético,
              así como de la tasa spot futura, que es la que se pretende replicar.
*****!)

model "Forward_Sintético Caso Estocástico"      !Modelo Forward Sintético
uses "mmxprs"                                    !Use Xpress- Optimizer

! Archivos de entrada y salida de datos

parameters
inputfile = ".\inputfile_Stoc.txt"
outputfile = ".\outputfile_Stoc30.txt"
end-parameters

! Estado de factibilidad del problema de optimización

forward function Probl_Optim(Estado: integer): string

declarations

! Parámetros básicos del modelo

d = 30          ! Plazo pactado del forward : Número de días.
F_Ini = 38356   ! Fecha inicial.
F_Fin = 38533   ! Fecha final : 30 de junio de 2005.
```

```

! Conjuntos que permiten realizar la indexación de las distintas variables del modelo

T      : set of integer      ! Periodos de Tiempo : corresponde a fechas diarias de calendario laboral.
S      : set of integer      ! Fecha en la cual se encuentra ubicado el agente.
DV     : set of integer      ! Número de Días para el Vencimiento del Forward.
PF     : set of integer      ! Plazo de los forward utilizados en el modelo: Número de días.

! Precio promedio diario de cotización de las acciones.

PE_Bavaria : array(T,S) of real ! Precio promedio diario de cotización de Bavaria en el día t, proyectada en s : $ pesos por
acción.
PE_Valorem : array(T,S) of real ! Precio promedio diario de cotización de Valorem en el día t, proyectada en s : $ pesos por
acción.
PR_Bavaria : array(T) of real ! Precio promedio diario de cotización de Bavaria en el día t ( Valor Real)
PR_Valorem : array(T) of real ! Precio promedio diario de cotización de Valorem en el día t ( Valor Real)

! Tasas de Interés (Curva Spot, la DTF y la tasa de interés activa)

Ti_CS : array(T,DV) of real ! Tasa de interés de la curva spot en el día t a un plazo de v días : % Tasa nom día venc.
Ti_DTF : array(T) of real ! Tasa de interés pasiva : Tasa DTF en el periodo t : % Tasa nom día venc.
Ti_Act : array(T) of real ! Tasa de interés activa : Tasa preferencial en el día t : % Tasa nom día venc.

! Forwards de compra, venta y valor medio para el USD, con vencimientos a diferentes plazos.

Fw_C : array(T,PF) of real ! Tasa pactada para el forward de compra de 1 dólar : $ pesos por dólar.
Fw_V : array(T,PF) of real ! Tasa pactada para el forward de venta de 1 dólar : $ pesos por dólar.
Fw_M : array(T,PF) of real ! Valor medio de la tasa pactada para el forward : $ pesos por dólar.

! Tasa spot para el dólar.

SPE : array(T,S) of real ! Tasa spot Esperada para el dólar el día t, proyectada en la fecha s
SPR : array(T) of real ! Tasa spot real

end-declarations

! Inicialización de los Datos

initializations from inputfile

T S DV PF PE_Valorem PE_Bavaria SPE Ti_CS Ti_DTF Ti_Act Fw_C Fw_V Fw_M PR_Bavaria PR_Valorem SPR

end-initializations

! Variables de Decisión

declarations

QA_Bavaria : array(T) of mvar ! Número de acciones de Bavaria en el día t.
QA_Valorem : array(T) of mvar ! Número de acciones de Valorem en el día t.
DP : array(T) of mvar ! Valor en pesos de las necesidades de financiación en el día t.

end-declarations

! Apertura del Archivo de Resultados

fopen(outputfile , F_OUTPUT)

! Modelo de Optimización

! Programación del activo sintético para cada fecha t de negociación del forward

forall (f in T | f>=F_Ini and f<=F_Fin-d ) do

! Costo de adquisición del portafolio óptimo en el día t de negociación del forward

Ct_Bavaria := PR_Bavaria(f)*QA_Bavaria(f)
Ct_Valorem := PR_Valorem(f)*QA_Valorem(f)

! Ingreso por la venta del portafolio óptimo en el día t+d de vencimiento del forward

IE_Bavaria := sum (e in S | e=F_Ini) PE_Bavaria(f+d,e)*QA_Bavaria(f)
IE_Valorem := sum (e in S | e=F_Ini) PE_Valorem(f+d,e)*QA_Valorem(f)
IE_Tot := IE_Bavaria + IE_Valorem
IR_Bavaria := PR_Bavaria(f+d)*QA_Bavaria(f)
IR_Valorem := PR_Valorem(f+d)*QA_Valorem(f)
IR_Tot := IR_Bavaria + IR_Valorem

! Función Objetivo: Costo Total (CT) del Portafolio Sintético (PS) en t.

Costo_Total := Ct_Bavaria + Ct_Valorem

! El PS debe ser financiado. El Flujo de Caja (FC) en t debe ser igual a 0.

```

```

Restr_1      := Ct_Bavaria + Ct_Valorem = DP(f)

! El valor Futuro (VF) del PS debe ser igual a la Tasa Spot del dólar en t+d.

Restr_2      := IE_Bavaria + IE_Valorem = sum(e in S | e=F_Ini) SPE(f+d,e )

! El VF de la Deuda en Pesos debe ser igual a la Tasa Forward pactada en t con cumplimiento en t+d

Restr_3      := DP(f)*(1+Ti_CS(f,d))^(d) <= sum(e in S | e=F_Ini) SPE(f+d,e)

! El CT del PS debe ser menor ó igual que el VP de la tasa Forward pactada en t con cumplimiento en t+d

Restr_4      := Ct_Bavaria + Ct_Valorem + Ct_CtosPdR <= Tasa_SP(f+d)*(1+Ti_CS(f,d))^(d)

! Restricciones que aseguran que los instrumentos con el menor número de utilizaciones dentro de la construcción de un
! activo sintético para cada fecha t, no sean requeridos

!Restr_5     := QA_Bavaria(f) =0
!Restr_6     := QA_Valorem(f) =0

! Minimización de la Función Objetivo

minimize(Costo_Total)

! Generación e impresión del reporte de salida

if f=F_Ini then
write( "Fecha", " Estado ", " QA_Bavaria", " QA_Valorem",
" C_Total", " DE_Pesos", " SPE", " SPE_Fut", " VPN_SPE_Fut", " Forward", " VPN_Forward",
" C_Bavaria", " C_Valorem", " IE_Total", " IE_Bavaria", " IE_Valorem", " SPR", " VPN_SPR", " PR_Bavaria",
" PR_Valorem", " IR_Total", " VPN_IR_Total", " IR_Bavaria", " IR_Valorem", " PE_Bavaria", " PE_Valorem", " Ganancia")
end-if
writeln
write(f, " ")
write( Probl_Optim(getprobat), " ")
write( strfmt(getsol(QA_Bavaria(f)), 12, 4))
write( strfmt(getsol(QA_Valorem(f)), 12, 4))
write( strfmt(getobjval, 12, 4))
write( strfmt(getsol(DP(f)), 12, 4))
write( strfmt(sum(e in S | e=F_Ini) SPE(f,e ), 12, 4))
write( strfmt(sum(e in S | e=F_Ini) SPE(f+d,e ), 12, 4))
write( strfmt(sum(e in S | e=F_Ini) SPE(f+d,e )*(1+Ti_CS(f,d))^(d), 12, 4))
write( strfmt(Fw_C(f,d), 12, 4))
write( strfmt(Fw_C(f,d)*(1+Ti_CS(f,d))^(d), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_Bavaria), 12, 4))
write( strfmt(getsol(Ct_Valorem), 12, 4))
write( strfmt(getsol(IE_Tot), 12, 4))
write( strfmt(getsol(IE_Bavaria), 12, 4))
write( strfmt(getsol(IE_Valorem), 12, 4))
write( strfmt(SCR(f+d), 12, 4))
write( strfmt(SCR(f+d)*(1+Ti_CS(f,d))^(d), 12, 4))
write( strfmt(PR_Bavaria(f+d), 12, 4))
write( strfmt(PR_Valorem(f+d), 12, 4))
write( strfmt(getsol(IR_Tot), 12, 4))
write( strfmt(getsol(IR_Tot)*(1+Ti_CS(f,d))^(d), 12, 4))
write( strfmt(getsol(IR_Bavaria), 12, 4))
write( strfmt(getsol(IR_Valorem), 12, 4))
write( strfmt(sum(e in S | e=F_Ini) PE_Bavaria(f+d,e ), 12, 4))
write( strfmt(sum(e in S | e=F_Ini) PE_Valorem(f+d,e ), 12, 4))
write( strfmt(getsol(IR_Tot-IE_Tot), 12, 4))

```

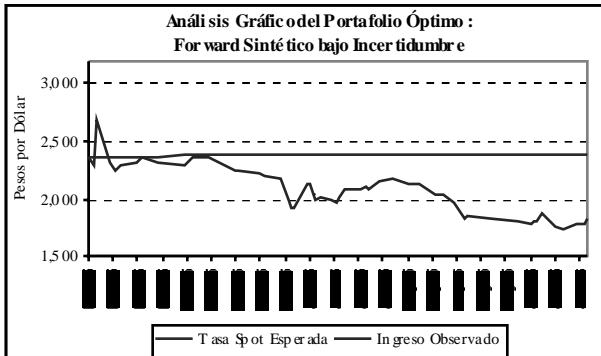
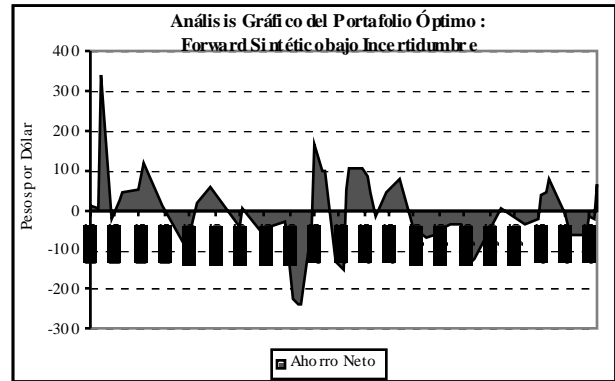
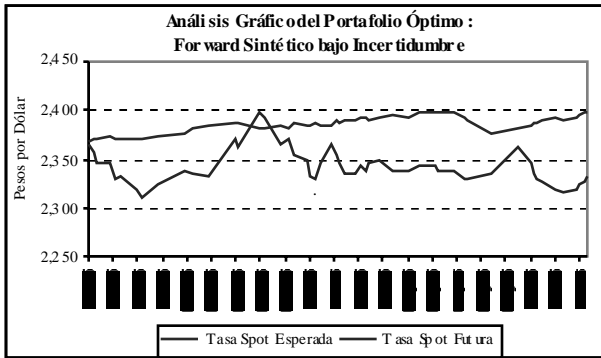
Anexo 13

Resultados del Forward Sintético bajo Incertidumbre

31 de Enero de 2005.

Forward Sintético bajo Incertidumbre

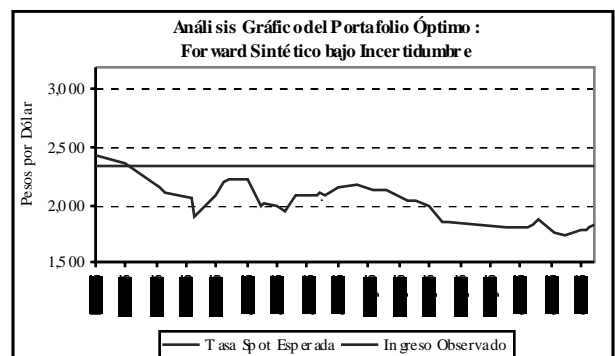
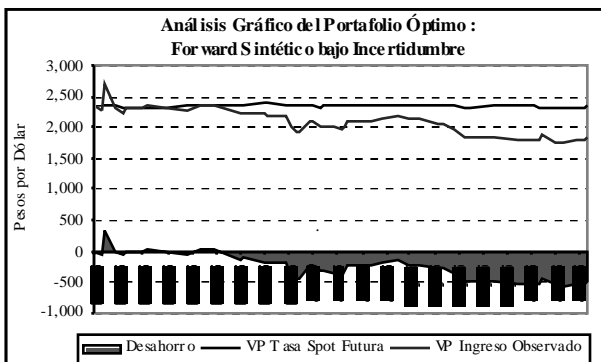
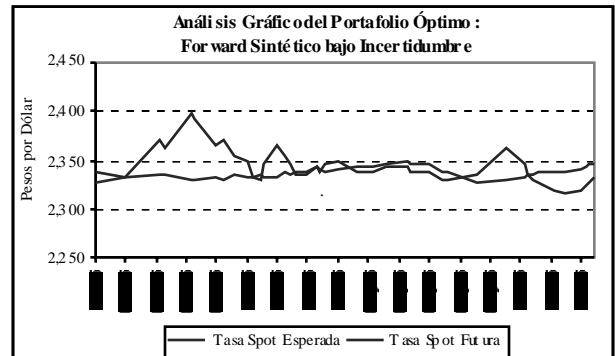
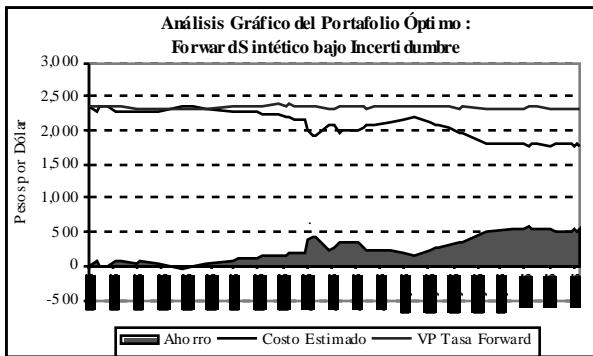
Cuenta de Fecha Mes	Estado	
	Infactible	Óptimo
2	5.0%	95.0%
3	25.0%	75.0%
4	0.0%	100.0%
5	0.0%	100.0%
6	0.0%	100.0%
Total	6.2%	93.8%

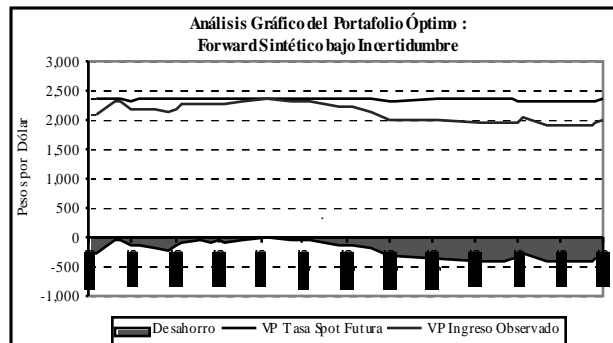
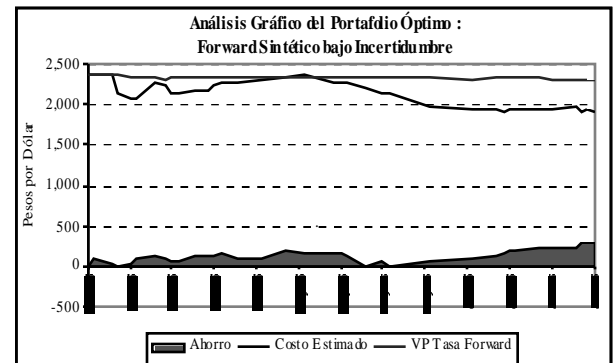
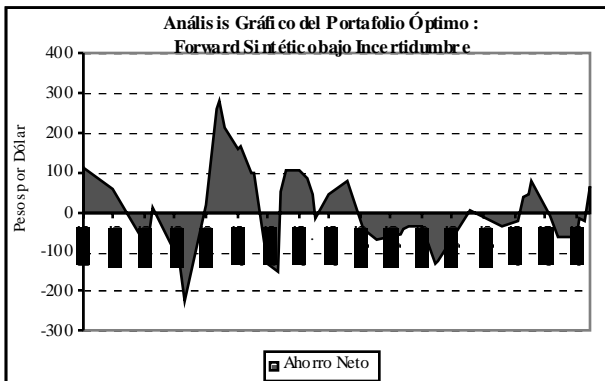
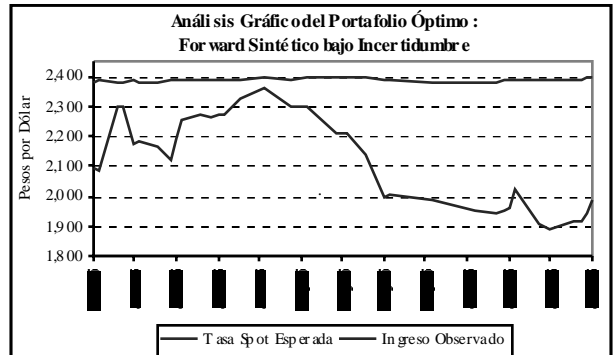
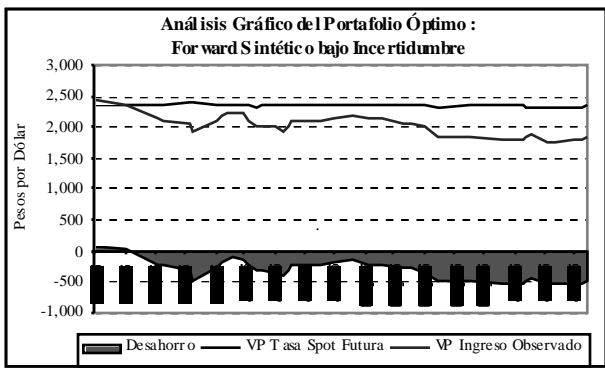
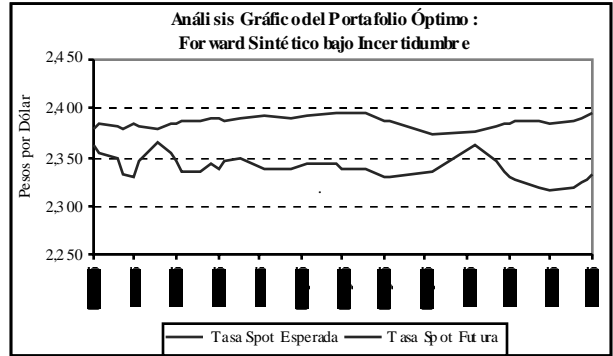
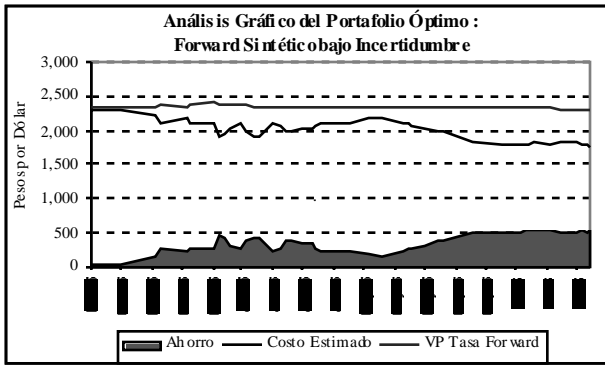


28 de Febrero de 2005.

**Forward Sintético
bajo Incertidumbre**

Cuenta de Fecha Mes	Estado	
	Infactible	Óptimo
3	30.0%	70.0%
4	0.0%	100.0%
5	0.0%	100.0%
6	0.0%	100.0%
Total	7.8%	92.2%

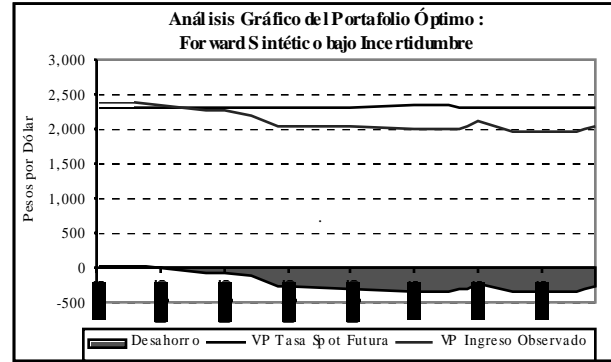
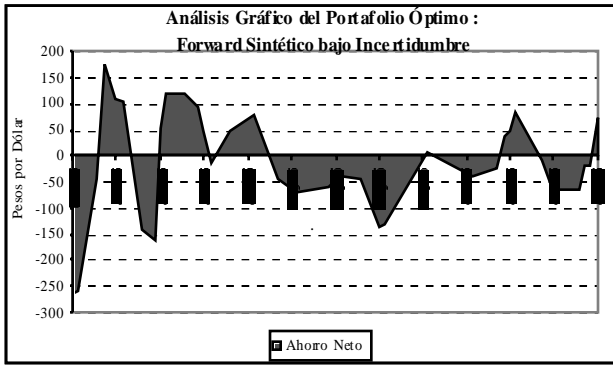




31 de Marzo de 2005.

**Forward Sintético
bajo Incertidumbre**

Cuenta de Fecha	Estado
Mes	Óptimo
	4
	5
	6
Total	100.0%



29 de Abril de 2005.

