

No. 07-07

2007

DETERMINANTES DE LA TASA DE CAMBIO NOMINAL: VERIFICACIÓN EMPÍRICA DEL MODELO DE PRECIOS RÍGIDOS EN LA ECONOMÍA COLOMBIANA, 1995:I–2006:I

*Humberto Franco González
Alfonso de Jesús Gómez Cifuentes
Andrés Ramírez Hassan*

Documentos de trabajo

Economía y Finanzas

Centro de Investigaciones Económicas y Financieras (CIEF)



**UNIVERSIDAD
EAFIT**
Abierta al mundo

Determinantes de la Tasa de Cambio Nominal: Verificación Empírica del Modelo de Precios Rígidos en la Economía Colombiana, 1995:I–2006:I

Humberto Franco González[♦]
Alfonso de Jesús Gómez Cifuentes^{*}
Andrés Ramírez Hassan[∞]

Departamento de Economía, Universidad EAFIT, Colombia.

Resumen

En este artículo se exponen en primera instancia, las características relevantes de los diversos modelos que se han desarrollado a través de la historia con el objetivo de explicar el comportamiento que presenta la tasa de cambio nominal, y en segundo lugar, se realiza la aplicación empírica del modelo de precios rígidos de determinación de la tasa de cambio para la economía colombiana mediante la técnica econométrica de cointegración. De la aplicación econométrica se destaca que las variables relevantes en el modelo de precios rígidos forman una relación estable de largo plazo, y que los signos de las elasticidades estimadas son conformes a lo planteado por el modelo.

Palabras clave: *Tasa de Cambio Nominal, Modelo de Precios Rígidos, Cointegración.*

Clasificación JEL: F41, C32.

Abstract

First at all, this paper shows the relevant characteristics of different models that are been created throughout the history in order to explain the nominal exchange rate's behavior. Second, it is done an econometric exercise of the sticky-price nominal exchange rate model on the Colombian economic, through the cointegration technique. From the empirical exercise is found that the relevant variables implied in the sticky-price nominal exchange rate model form a stable long term relationship and the estimated elasticities' sing confirm the model.

[♦] Docente e investigador Universidad EAFIT. hfranco@eafit.edu.co

^{*} Docente e investigador Universidad EAFIT. agomez@eafit.edu.co

[∞] Docente e investigador Universidad EAFIT. aramir21@eafit.edu.co

Introducción

A través de la historia se ha observado una constante evolución en el entorno económico, lo cual ha implicado un cambio agudo en la forma de tratar de explicar los fenómenos y variables que son relevantes al interior de éste; la tasa de cambio nominal no es la excepción, y fruto de la dinámica evolutiva del sistema se ha evidenciado una continua transformación en los modelos destinados a explicar el comportamiento de dicha variable. La validez empírica de estos modelos es un factor trascendental para determinar la relevancia de los mismos, puesto que los supuestos en los cuales se fundamentan éstos tratan de reflejar realidades específicas que no necesariamente son razonables para algunas economías.

El objetivo del presente artículo es ilustrar “*grosso modo*” los modelos para la determinación de la tasa de cambio nominal, además de su respectiva clasificación y marco temporal. Además esclarecer la validez empírica del modelo de precios rígidos desarrollado por Dornbusch (1976), a la luz de la técnica de cointegración desarrollada por Johansen y Juselius (1991), en la economía colombiana en el período 1995-2006.

La evidencia empírica encontrada al respecto de la validación de los diversos modelos para explicar el comportamiento de la tasa de cambio en la economía colombiana es la siguiente: Carrasquilla (1997) plantea un análisis teórico de la evolución de la tasa de cambio al interior de las bandas cambiarias, este autor discute los determinantes de las desviaciones de la tasa de cambio observada con respecto a la tendencia central de la banda. Arias y Misas (1998) establecen un SVAR en el cual determinan los efectos de las perturbaciones nominales y reales sobre la tasa de cambio real y nominal; en éste trabajo establecen que la tasa de cambio real no ve afectada su senda temporal ante perturbaciones nominales y que el período de convergencia ante dichas perturbaciones es aproximadamente seis meses, pero este lapso de tiempo se ha reducido a partir de la introducción del esquema de bandas cambiarias.

Por su parte, Alonso, Cárdenas y Bernal (1998), encontraron que dentro de la familia de modelos para la determinación de la tasa de cambio pertenecientes al enfoque de activos, el que mejor explica el comportamiento de la tasa de cambio en el período 1985:02–1996:12 es el modelo de enfoque de cartera, lo cual se explica básicamente por el incumplimiento de la paridad descubierta de intereses.

Gómez (1999), utilizando la técnica de cointegración propuesta por Johansen y Juselius (1991), establece un modelo para la determinación de la tasa de cambio en el cual se consideran las variables: tasa de cambio, nivel de precio doméstico, nivel de precio foráneo, gasto público, términos de intercambio e ingresos de capital, para el período 1981:1–1999:2. El autor encuentra que la tasa de cambio se determina endógenamente, la política monetaria es independiente, el mercado cambiario es ineficiente y la tasa de cambio real es neutral, es decir, la tasa de cambio nominal se determina por los fundamentales macroeconómicos y otras variables nominales, en tanto que la tasa de cambio real está determinada estrictamente por variables reales. Además, el ejercicio econométrico propuesto por el autor enseña que la elasticidad de la tasa de cambio con respecto al gasto

público, los términos de intercambio y los ingresos de capital son -2.08, -1.07 y -1.24, respectivamente.

Oliveros y Huertas (2002) establecen un modelo que descompone la tendencia de la tasa de cambio nominal y real en sus componentes permanentes y transitorios; partiendo del enfoque de equilibrio de cartera, encuentran que la tasa de cambio real permaneció por debajo de su nivel de equilibrio hasta finales del año 2002.

Rowland (2003) desarrolla un estudio en el cual compara los pronósticos para la tasa de cambio Colombia–Estados Unidos que arroja un modelo de corrección de errores, cuyo componente estacionario está determinado por la paridad descubierta de intereses, contra un random walk con drift. El autor encuentra que el poder predictivo en el muy corto plazo de los modelos guiados por los fundamentales es consistente, pero que en el largo plazo dicha consistencia se ve seriamente lesionada. Patiño y Alonso (2005) estiman diversos modelos para la tasa de cambio nominal con el objeto de comparar la capacidad predictiva de éstos contra un paseo aleatorio, encuentran que ni el modelo de precios rígidos, ni el modelo propuesto por Balassa–Samuelson, superan los resultados predictivos que se obtienen vía paseo aleatorio, lo anterior para el período 1984: I–2004: I.

El presente artículo tiene la siguiente estructura: en la sección uno se realiza una descripción histórica de la evolución de los modelos de la Tasa de Cambio, enfatizando los diversos enfoques que se han implementado para explicar el comportamiento de esta variable desde su ámbito nominal. En este capítulo, se precisa el modelo de precios rígidos que es el modelo objeto del análisis central del artículo. En la sección dos se profundiza el análisis del modelo en consideración para la determinación de la tasa de cambio, en tanto que el capítulo tres contiene el marco de referencia econométrico utilizado para comprobar empíricamente la validez del modelo en el período de análisis. Los lectores familiarizados con la técnica de cointegración podrán omitir la lectura de dicho apartado. En la sección cuatro se encuentra la implementación de la metodología econométrica y los resultados estimados, seguida de algunas conclusiones propias del análisis realizado. Finalmente, se presenta un listado de fuentes bibliográficas consultadas y los anexos correspondientes al desarrollo del trabajo econométrico desarrollado.

1. Evolución histórica del sistema monetario internacional: modelos para la determinación de la tasa de cambio nominal

El Patrón oro y la Tasa de Cambio Fija

El sistema monetario internacional ha sido el encargado de controlar y determinar el comportamiento de la tasa de cambio, de tal forma que esta tienda a un nivel de equilibrio que no favorezca a ninguno de los países participantes en el comercio mundial. Fue así como en su fase prehistórica el dinero se basaba en las monedas acuñadas con metales preciosos, y su valor se determinaba con base en la cantidad de metal contenida en ellos. A manera de ilustración, recuérdese que durante la edad media y comienzos de la edad moderna, la plata fue el dinero predominante, papel que también desempeñó el cobre y el oro, aunque en menor medida.

Ya en el siglo XIX la legislación monetaria de algunos países permitía la circulación tanto de monedas de oro como de plata, período conocido como el bimetalismo, aunque países como Gran Bretaña aceptaban únicamente el oro por la dificultad de mantener en circulación dos monedas diferentes cuyos precios en términos de metal precioso variaban significativamente.

En tales circunstancias puede manifestarse, que el patrón oro tuvo su inicio en 1717, cuando Sir Isaac Newton, en calidad de director de la casa de la moneda inglesa, fijó el precio de la plata en oro en un nivel tan bajo que desaparecieron de circulación las monedas de plata, persistiendo su uso solo para transacciones de baja denominación, es decir aquellas cuyo monto fuera menor a 25 libras. Este manejo monetario llevó a que en el año de 1821, la plata dejara de ser moneda de curso legal en Gran Bretaña incluso para las transacciones de baja denominación.

Dado que este país era la potencia industrial y comercial del mundo a mediados del siglo XIX, los países que actuaban como sus socios en el ámbito económico mundial, se vieron en la necesidad de adoptar el patrón oro puro, para poder desempeñar su papel en el comercio mundial. Así lo hicieron Portugal en 1854, Alemania, segunda potencia industrial, en 1871, la mayoría de países europeos del norte (Dinamarca, Holanda, Noruega, Suecia) y los países de la Unión Monetaria Latina (Bélgica, Francia, Italia y Suiza) en la década de 1870. Estados Unidos, por su parte, se vinculó de forma efectiva al patrón oro en 1873, aunque el tesoro tuvo la obligación de comprar plata y emitir su correspondiente equivalente en papel moneda hasta 1900.

Durante el período conocido como la “edad de oro del patrón oro”, comprendido entre 1870 y comienzos de la primera guerra mundial, no se presentaron controles sobre las transacciones financieras internacionales y el resultado fue un tipo de cambio fijo, aún con un elevado movimiento de capital a nivel internacional. Las razones de la estabilidad de la tasa de cambio, radicaban en lo que Keynes denominó el “respeto por las reglas del juego”, es decir los países no alteraban el valor de su moneda en oro, ni le colocaban trabas al flujo del metal precioso en sus fronteras; el resultado consecuente fue el de una tasa de cambio fija.

Pero el sistema no fue tan sólido como se a menudo se creía; el estallido de la primera guerra mundial, generó temporalmente el fin del sistema, dado que con la esta, los países establecieron reglamentaciones que prohibían el libre comercio de oro, ya que este se convertía en el recurso indispensable para comprar los bienes que la guerra exigía. El resultado, presumible por supuesto, fue la inevitable fluctuación de las tasas de cambio, que empezaron a variar de acuerdo a las fuerzas del mercado. Como era de esperarse las tasas de cambio de los países en conflicto sufrieron una fuerte volatilidad, la que dependía de sus resultados en el frente de guerra además de su respectivo proceso inflacionario, causado a su vez por la alta emisión monetaria para financiar la guerra. La hiperinflación de Alemania en la primera posguerra, en la que “su índice de precios creció desde un nivel de 262 en enero de 1919 a un nivel de 126.160.000.000.000 en diciembre de 1923, lo que representa ¡un factor multiplicador de 481,5 miles de millones!” (Krugman y Obstfeld 1999. Pág 438), se constituye en el ejemplo clásico de los fenómenos altamente inflacionarios a causa de los manejos monetarios en consideración.

Terminada la guerra se buscó el retorno al patrón oro; muchos teóricos estaban convencidos que éste recuperaría la estabilidad cambiaria y macroeconómica que se había tenido en el período anterior. Bajo dicho patrón los bancos centrales de todo el mundo estaban obligados a fijar el precio del oro y no podían tener políticas monetarias expansivas, porque estas ocasionarían una devaluación de sus monedas. Se llegó así al acuerdo de Génova de 1922, que requirió volver a las paridades de las monedas en oro, existentes previas a la guerra. Al acuerdo se vincularon países tales como Gran Bretaña y Estados Unidos, posteriormente en 1923 Austria, Alemania y Polonia en 1924, Hungría en 1925 y Francia en 1926. Pero dicho acuerdo solo duró hasta 1931, año en el cual Gran Bretaña suspendió la convertibilidad de la libra al oro, ante la fuerte caída de reservas del banco central. Los efectos desastrosos de la depresión de 1929 y de la segunda guerra mundial, impidieron el restablecimiento de un sistema monetario internacional equilibrado. Fue necesario entonces, esperar al fin de la segunda guerra para restablecer el orden monetario internacional.

El Sistema de Bretton Woods

Bretton Woods, Estado de New Hampshire, fue el sitio escogido por los aliados para aprobar el nuevo orden monetario internacional; fue así como en 1944, cuarenta y cuatro países firmaron un acuerdo para reestablecer el sistema monetario internacional, bajo la presión de los nostálgicos del patrón oro y de la tasa de cambio fija y los que exigían una tasa de cambio flexible, acorde con una economía más dinámica, como era el pensar de los ingleses liderados por John Maynard Keynes.

Con el sistema de Bretton Woods se modificó el patrón oro en tres aspectos fundamentales, a saber: tipos de cambio ajustables en determinadas condiciones, controles para limitar los movimientos internacionales de capital y la creación del Fondo Monetario Internacional (FMI), como ente encargado de vigilar la política económica de los distintos países y como financiador de sus desequilibrios en Balanza de Pagos (Eichengreen, 2000).

El primero de los casos, tipo de cambio ajustable, se refería al hecho de que los tipos de cambio fijo, tenían la posibilidad de ser modificados (devaluados), cuando los países se encontraran ante un desequilibrio fundamental de su Balanza de Pagos. Si los países tenían su balanza en equilibrio, debían comprometerse a mantener la convertibilidad de sus monedas y una paridad fija con el dólar, con un margen de fluctuación alrededor de la paridad central de más o menos el 1%. Por su parte el dólar fijaba su paridad en oro en una relación de U\$35 por onza troy, paridad que Estados Unidos garantizaba de forma indefinida.

El sistema de cambio fijo de Bretton Woods descansaba sobre la condición fundamental de la estabilidad del dólar, hecho argumentado por Requeijo cuando señala que “Sin un dólar estable, la construcción entera se vendría abajo porque los bancos centrales de los demás países lo convertirían en oro y reducirían, hasta límites intolerables, la base metálica del sistema; y un dólar estable significaba un cierto equilibrio continuado de la balanza de pagos norteamericana” (Requeijo, 1997, pag 201).

La cooperación económica entre los países firmantes del acuerdo y sus respectivos bancos centrales con un fuerte apoyo a las monedas consideradas claves para el sistema permitió que la estabilidad monetaria de Bretton Woods se sostuviera hasta 1960. Dado lo costoso de esta cooperación para los países, en especial porque tenían que apoyar el dólar, aunque Estados Unidos cada vez perdiera más reservas del metal precioso, surgió una creciente desconfianza en el dólar.

Así lo afirmó Robert Triffin, profesor de Yale, quien en 1960 pronosticó problemas del sistema de Bretton Woods a futuro: Triffin observó que desde 1947, la tendencia del sistema de Bretton Woods a hacer frente a la demanda de reservas por medio del crecimiento de los saldos extranjeros en dólares, es decir por una alta emisión por parte de los Estados Unidos, hacía que fuese dinámicamente inestable; si los países acumulaban dólares por encima de las reservas de dólares de Estados Unidos, se perdía la credibilidad en la convertibilidad del dólar al oro, pues el aquel no tendría el respaldo en oro que se había establecido y por lo tanto, este se devaluaría.

El gran aumento que registró el precio del oro en los mercados privados al llegar a los cuarenta dólares la onza durante 1960, aumentó la desconfianza en el dólar como moneda base del sistema: ante estas circunstancias, los gobiernos de Kennedy y Johnson con la cooperación de los países miembros del sistema, adoptaron una serie de estrategias entre las que se destaca el “Pool del oro”, que pretendía mantener el precio de este metal fijo mediante la intervención de los bancos centrales. Eichengreen lo resume de la siguiente manera: “En 1962-1963, la Reserva Federal FED negoció, además una serie de acuerdos swap, en virtud de los cuales los bancos centrales extranjeros le prestaban divisas. La FED intervino en los mercados de contado y a plazos para apoyar el dólar y el Bundesbank alemán al igual que otros bancos centrales europeos realizaron una intervención coordinada en su nombre” (Eichengreen, 2000, pag 184).

Existió también la amenaza norteamericana de interrumpir el comercio internacional, si los bancos centrales no apoyaban el dólar y los gobiernos no impulsaban las compras de productos norteamericanos.

La percepción de la inestabilidad de la economía norteamericana aumentaba, su creciente inflación, el potencial crecimiento del déficit fiscal por la escalada de la guerra del Vietnam y su expansión monetaria, implicaron la huida masiva de capitales en dólares al marco alemán en 1971; surgió entonces, el rumor de que Francia y Gran Bretaña planeaban convertir dólares de sus reservas a oro, por lo que la administración Nixon tomó la decisión de cerrar la ventanilla de oro, suspendiendo en forma definitiva su compromiso de convertir los dólares que tuviesen los países del acuerdo a oro, a un precio fijo de 35 dólares o a cualquier otro precio, e impuso un recargo aduanero del 10% sobre las importaciones provenientes de los países con altas reservas en dólares, presionándolos así a revaluar su moneda y favorecer los intereses norteamericanos; tales medidas se tomaron el 13 de agosto de 1971, fecha en la cual comenzó la crisis del dólar. Era el comienzo del fin de los tipos de cambio fijos de Bretton Woods.

Las negociaciones entre Estados Unidos y los países industriales se dieron por cuatro meses, hasta llegar al acuerdo Smithsonian, firmado en Washington en diciembre del

citado año; en él se acordó una devaluación del dólar del 8%, y una revaluación de las otras monedas fuertes, entre 8 y 12%. A cambio, Estados Unidos suprimió el recargo arancelario a sus importaciones dejándose en claro, que no se volvería a la libre convertibilidad del dólar al oro. Adicionalmente, se estableció una banda de fluctuación de las monedas de 2,25%. Hacia 1972, monedas como la libra esterlina se ubicaban por fuera de los márgenes de la banda; en tanto que en 1973 la mayoría de monedas de la Comunidad Económica Europea, fluctuaban casi todas. El acuerdo de Bretton Woods llegaría así a su fin, en tanto que la tasa de cambio fija daría paso a la tasa de cambio flexible.

La Tasa de Cambio Flexible

Para muchos países la transición hacia una tasa de cambio fluctuante¹, después de la crisis de Bretton Woods, fue traumática; en efecto, los tipos de cambio fijos se sostenían en parte con un fuerte control de la cuenta de capital, en especial la política monetaria tenía como objetivo primordial fijar la tasa de cambio. Pero los cambios estructurales de la economía mundial, la crisis petrolera y la fuerte movilidad de capitales, obligaban a los gobiernos a resolver el problema de la sostenibilidad de los tipos de cambio fijos, pero ajustables, “el mero indicio de que un país estuviera considerando la posibilidad de modificar la paridad, podía provocar enormes salidas de capital, lo que disuadía a las autoridades de considerar incluso la posibilidad de modificarla. La defensa de la paridad no impedía, por supuesto, que continuaran aumentando las presiones de la Balanza de Pagos sobre los tipos fijos o que los mercados pusieran en cuestión las paridades que sospechaban eran insostenibles” (Eichengreen, 2000, pag 194).

Marco teórico de los determinantes de la tasa de cambio

Hasta la referenciada crisis de Bretton Woods, la teoría predominante sobre el determinante de la tasa de cambio fue el denominado *equilibrio de flujos*: en él, la tasa de cambio es el resultado del mercado de divisas (oferta y demanda) producto de los flujos de bienes y servicios que se transaban en el mercado internacional. En este contexto, la variación de la tasa de cambio a su vez, alteraba los flujos comerciales, equilibrando de nuevo el mercado de divisas; ante el gran control que los países hacían a su cuenta de capital, era poco la influencia de ésta en la tasa de cambio.

Como se anotó anteriormente, al pasar a economías caracterizadas por factores tales como la alta movilidad de capitales y por sistemas cambiarios que propician tasas de cambio fluctuantes con gran volatilidad en el corto plazo, la rigurosidad en el análisis teórico, requirió de nuevas explicaciones con el fin de encontrar los nuevos determinantes de la tasa de cambio. Bajo esta lógica, aparece la *teoría de las expectativas racionales* y el nuevo marco institucional monetario internacional, cuyos desarrollos alcanzan su máxima expresión a partir de la década de los setenta. Surge así, la explicación conocida como el enfoque *mercado de activos* la que según, Gámez, “explica las fluctuaciones del tipo de

¹ Se considera que una tasa de cambio es flexible o fluctuante cuando ella, o sea el precio de la divisa, es determinada por las libres fuerzas del mercado pertinente, es decir, por la oferta y demanda de divisas.

cambio basándose en que éste se comporta como el precio de un activo financiero que se determina en un mercado eficiente y que como tal, presenta las características generales del precio de los demás activos financieros” (Gámez, 1997, pag 5).

Este enfoque posee varias características, que vale la pena señalar (Appleyard, 2003, pag 500): en primer lugar, los mercados financieros están integrados entre países y en ellos los agentes pueden mantener activos extranjeros y nacionales. En segunda instancia, los activos extranjeros y nacionales son sustitutos imperfectos, pues la tenencia de activos extranjeros constituye un riesgo mayor, que debe ser compensado con una prima de riesgo positiva. En tercer lugar, al buscar maximizar su ganancia, los agentes, están dispuestos a cambiar de un activo a otro, dando lugar a ajustes en el portafolio que tienen implicaciones sobre la balanza de pagos y sobre el tipo de cambio. Finalmente, el inversionista tiene expectativas relacionadas con el precio futuro de los activos, pues puede utilizar toda la información disponible.

En suma, el enfoque Mercado de Activos considera que el tipo de cambio responde a las fuerzas que determinan otros activos que se negocian en el mercado, “En tales mercados los precios se determinan, no por el equilibrio entre las ofertas y demandas de flujos sino, por las condiciones de equilibrio de stocks, es decir, los precios serán aquellos a los cuales el mercado en conjunto está dispuesto a mantener voluntariamente los stocks totales existentes de los activos en cuestión. El tipo de cambio se concibe, entonces, como uno de los precios que equilibran los mercados internacionales de activos financieros, denominados en diferentes monedas” (Gámez, 1997, pag 5).

Comprendidos en el enfoque mercado de activos, se encuentran dos tipologías de modelos, el monetario y el de equilibrio de cartera. En ambos se parte de la movilidad perfecta de capitales como supuesto fundamental, pero mientras que en el monetario se supone sustituibilidad perfecta de los activos, en el de equilibrio de cartera se considera que dicha sustituibilidad es imperfecta.

Modelo monetario del tipo de cambio

Aquí se parte del supuesto según el cual los mercados financieros y de bienes están perfectamente integrados, con la condición adicional de que en los últimos opera la **paridad de poder adquisitivo**. No sobra recordar que ésta argumenta que el nivel de la tasa de cambio nominal de un país depende de la relación entre las inflaciones de los países: así, si la tasa de inflación de un país es superior a la inflación de su socio comercial, la moneda doméstica se depreciará; por el contrario, si la tasa de inflación del país socio es superior a la doméstica, la moneda doméstica se apreciará.

En este modelo se encuentran dos versiones dependiendo del contexto de los precios en el mercado: una hace alusión a la rigidez de los precios, en tanto que la otra se encuentra en una situación de precios flexibles. En el **modelo monetario del tipo de cambio con precios flexibles**, se cumplen siempre la paridad del poder adquisitivo y la paridad no cubierta de intereses entendiéndose por ésta, el riesgo que asume el inversionista al no cubrirse de las variaciones del tipo de cambio cuando invierte en un activo financiero internacional; recuérdese que la decisión de invertir en un bono internacional, por ejemplo, está

determinada por la ganancia que de él se espera, en relación con la rentabilidad de su par en el interior del país (diferencias de tasas de interés), mas la variación de la tasa de cambio².

En este modelo el tipo de cambio dependerá de los componentes fundamentales (oferta monetaria, nivel de precios, ingreso real etc.), más el tipo de cambio esperado. Importa manifestar que en los fundamentales la principal variable es la cantidad de dinero relativa; así, un incremento de la cantidad de dinero interna provocará una depreciación de la moneda doméstica. Con respecto a la tasa de cambio esperada, ella se determina por las expectativas racionales de los agentes, quienes poseen creencias sobre el tipo de cambio futuro, por lo que en dicho modelo se puede afirmar que “el tipo de cambio actual depende no solo de los valores actuales de los fundamentos sino también de sus valores futuros. De modo que, aún cuando no cambien los fundamentos del tipo de cambio en el momento presente, la sola creencia de los participantes en los mercados de divisas de que se van a producir cambios en el futuro, es suficiente para que se produzcan alteraciones en el tipo de cambio en el presente” (Gámez, 1997, pag 7).

Igualmente, en este modelo se establece que la trayectoria que siga la tasa de cambio está asociada al comportamiento de los fundamentos, por lo que la tasa de cambio de largo plazo se verá modificada, por las variaciones de los fundamentos o por nueva información de los agentes que les hace replantear sus expectativas iniciales, pero hay que destacar que el modelo explica el comportamiento aleatorio y volátil de la tasa de cambio de corto plazo.

Por su parte, los modelos monetarios de precios rígidos, se basan en la explicación inicial de Dornbusch en 1976, quien consideró que la determinación del tipo de cambio de largo plazo, sigue el comportamiento del modelo de precios flexibles, más no ocurre lo mismo en el corto plazo; frente a una rigidez de precios, la paridad de poder adquisitiva no funciona en el corto plazo, surgiendo así el fenómeno de sobre reacción (overshooting) del tipo de cambio, ya que las velocidades de ajuste de los mercados de activos financieros y de bienes son diferentes.

Modelos de equilibrio de cartera y de la cuenta corriente

El segundo modelo del enfoque de activos lo constituye el *modelo de equilibrio de cartera*, el cual parte del supuesto de la no sustituibilidad perfecta entre los activos denominados en diferentes monedas en la cartera del inversionista, ya que los riesgos de cada inversión son diferentes. Como los agentes tienen aversión al riesgo, no se cumple la paridad no cubierta de intereses, así, el inversionista no puede aceptar que el interés interno sea equivalente al

² Los flujos financieros internacionales son una gama alta de posibilidades, de tal suerte que un inversionista puede invertir en un bono doméstico o en un bono extranjero, acciones domésticas o extranjeras, entre muchas otras alternativas y la decisión de invertir en un documento financiero nacional o internacional, dependerá de la tasa de ganancia esperada del activo internacional comparada con la rentabilidad del activo en el ámbito local; la diferencia se determina por las tasa de interés de cada mercado, más la variación esperada de la tasa de cambio. Si el inversionista incurre en todos los riesgos de la variación del tipo de cambio, se habla de la paridad no cubierta de intereses. Si por el contrario, se cubre en los mercados forward o de futuros, será paridad cubierta de intereses, pero en este último caso, el inversionista tendrá que descontar de su rentabilidad el costo de dicha cobertura.

interés externo más la depreciación esperada, sino que es preciso modelar funciones de demanda de los activos financieros y la prima de riesgo de las monedas.

El mercado financiero estará en equilibrio cuando las demandas de los activos se igualen con las oferta de los mismos, por tanto las ofertas y las demandas individuales de activos también estarán en equilibrio; la demanda doméstica de dinero es igual a la oferta doméstica de dinero, la demanda por bonos domésticos es igual a los bonos domésticos que poseen los residentes domésticos y la demanda doméstica por bonos extranjeros es igual al saldo de bonos extranjeros en poder de los residentes nacionales. Cuando estos mercados están en equilibrio, se determinan también el equilibrio del bono, la tasa de interés de equilibrio de cada país y el tipo de cambio de equilibrio. En el modelo, la tasa de cambio aparece como resultado de la desviación del dinero o los bonos domésticos hacia (o desde) los bonos extranjeros, que causan nuevas demandas (u ofertas) de divisas.

Aunque el mercado haya logrado su equilibrio, constantemente factores exógenos tienden a alterar dicho equilibrio, por lo que inmediatamente se ponen en marcha los procesos de ajuste para retornar al equilibrio; en ese proceso los poseedores de activos reordenan sus portafolios, alterando la oferta y la demanda existentes hasta lograr de nuevo una posición de equilibrio.

Reflejo de esos shocks externos, serían las situaciones de superávit o déficit de la Cuenta Corriente de la Balanza de Pagos, que a su vez modifican la riqueza de un país y tienen efectos sobre el mercado de activos. Según la teoría tradicional de la balanza de pagos, un superávit de cuenta corriente se compensa con un déficit en la cuenta de capital y viceversa; o sea que con un superávit en la cuenta corriente se generan ingresos de divisas y el país doméstico adquiriría mayor riqueza. El mayor nivel de riqueza podría ocasionar una mayor demanda de dinero, una mayor demanda de bonos domésticos y una mayor demanda de bonos extranjeros, generándose una redistribución de activos entre las carteras internas y externas modificándose de esta manera, los tipos de interés de los activos denominados en diferentes monedas y, en consecuencia, induciendo variaciones indeseadas en los tipos de cambio.

Ahora bien, téngase presente que los ajustes del portafolio, pueden darse por factores tales como la venta de títulos de valores gubernamentales en el mercado abierto, las expectativas de los ciudadanos de un país por una mayor inflación en el futuro, el aumento del ingreso real, el aumento de la oferta de bonos domésticos corporativos o el aumento de oferta de bonos extranjeros, ante la presión de un déficit presupuestal del gobierno extranjero (Appleyard, 2003, pp 504-506). En cualquiera de estos casos los shocks externos ocasionarían modificaciones en la tasa de cambio (apreciación o depreciación de la moneda doméstica) tal como se ha insinuado en el transcurso del presente escrito y serían temporales, mientras el proceso de ajuste del portafolio logra el nuevo equilibrio.

Enfoque de la nueva información

Finalmente el desarrollo teórico relacionado con el análisis de la evolución de la tasa de cambio presenta el *enfoque de la nueva información*. Este supone que el tipo de cambio responde de forma rápida a la nueva información, sobre los valores futuros de las variables

que determinan la tasa de cambio. Dicha información, modifica las expectativas que inicialmente se tenían sobre la tasa, ocasionando desviaciones con relación a los valores actuales de los fundamentos.

En este contexto, la variación de la tasa de cambio observada se descompone en un componente anticipado y otro no anticipado; las variaciones anticipadas son pequeñas y predecibles, mientras que las no anticipadas son aleatorias e impredecibles, ya que dependen de los shocks no tenidos en cuenta o de la nueva información que modificaría las expectativas sobre el comportamiento de los fundamentos en el futuro.

Desarrollos recientes

En los desarrollos posteriores a la década de los años 90, se encuentran dos grandes corrientes: los modelos de corto plazo, basados fundamentalmente en las no linealidades de la tasa de cambio, y los modelos de la tasa de cambio de equilibrio de largo plazo, fundamentados en la optimización intertemporal de la cuenta corriente.

Zonas objetivo

Una zona objetivo de tasa de cambio, que es una de las modalidades de corto plazo y no linealidad de la tasa de cambio, se define como un sistema mixto entre tipos de cambio fijos y flexibles, en los cuales se definen unas bandas de fluctuación para la tasa de cambio y la necesidad de intervenciones de la autoridad monetaria para mantener la tasa de cambio en dicho rango. En este escenario, la dinámica de la tasa de cambio es no lineal con respecto a los fundamentales y presenta una forma de S, debido al efecto de las expectativas de los agentes. La sola creencia de una intervención lleva a que la tasa de cambio retorne a su tendencia central; esto se conoce en la literatura como el efecto luna de miel. En la práctica se ha encontrado que las intervenciones del hacedor de política monetaria son intramarginales y que las bandas no son perfectamente creíbles, lo cual se traduce en realineamientos de éstas; esto ocasiona la evidencia del efecto divorcio (Gámez y Torres, 1997).

Microestructuras del mercado de divisas

La evidencia empírica ha mostrado importantes y permanentes desviaciones de la tasa de cambio respecto de los fundamentales. Una corriente teórica ha tratado de explicar el fenómeno a partir de los distintos agentes que intervienen en el mercado. La existencia de diversos agentes en los mercados de divisas da lugar a la heterogeneidad en la formación de las expectativas sobre la evolución futura del tipo de cambio. Básicamente los movimientos de la tasa de cambio obedecen a la interacción de dos tipos de agentes: los chartistas, que realizan análisis técnicos de tipo extrapolativo, y los fundamentalistas, que se basan en las variables macroeconómicas para determinar la evolución futura de la tasa de cambio. En estos modelos las expectativas sobre la evolución futura de la tasa de cambio se forman en función de los agentes que intervienen en él y en el peso relativo de los mismos.

No linealidades y caos determinista

Finalmente, la presencia de no linealidades lleva a que se puede aplicar la dinámica caótica determinista en la explicación de los movimientos del tipo de cambio. Este tipo de modelos provoca una evolución del tipo de cambio alrededor de su equilibrio fundamental pero sin converger a él, ocasionado por la interacción de diferentes agentes en el mercado de divisas. En este escenario, la dinámica del tipo de cambio no sería ni estable ni inestable, lo cual se denomina atractor extraño. La consideración del tipo de cambio como un proceso caótico determinista tiene importantes consecuencias, implicando que la estructura del modelo sea determinista, lo cual conduce a que se pueda predecir a partir de ciertas condiciones iniciales, pero el pronóstico requiere el conocimiento exacto del proceso que lo domina donde cualquier modificación de éste ocasiona una dinámica completamente diferente (Gámez y Torres, 1997, pp 14-17).

El diagrama anexo al final del presente artículo, permite evidenciar de manera clara, la evolución de los anteriores modelos teóricos de la tasa de cambio a través del tiempo.

2. Modelo de precios rígidos

Tal como se manifestó anteriormente, el modelo de precios rígidos fue introducido inicialmente por Dornbusch en 1976. Dicho economista fue el pionero en la introducción de la hipótesis de expectativas racionales como factor fundamental para la determinación de la tasa de cambio, la cual en principio deberá tender en forma monótonica hacia su senda de estado estacionario. Se observa bajo dicho modelo que las perturbaciones monetarias no anticipadas ocasionan el fenómeno de sobre-reacción de la tasa de cambio nominal debido a la diferencia en las velocidades de ajuste que se evidencian en el mercado de bienes; el cual se ajusta lentamente según los excesos de demanda sobre oferta, y el mercado financiero; cuya velocidad de ajuste es instantánea (el mercado monetario permanece en equilibrio).

El modelo contiene como supuesto la hipótesis de paridad descubierta de intereses, lo cual implica perfecta sustitución entre los activos domésticos y foráneos, es decir, ausencia de aversión al riesgo país por parte de los inversionistas, y perfecta movilidad de capitales. Además se asume que la economía en consideración es pequeña, lo cual se establece por facilidad, puesto que esta premisa permite tratar las variables foráneas como exógenas y por lo tanto se facilita el tratamiento matemático. Finalmente, se considera el cumplimiento de la paridad del poder adquisitivo sólo en el largo plazo.

El fenómeno de sobre-reacción de la tasa de cambio nominal ante perturbaciones monetarias no anticipadas, implica que ésta tendrá un valor superior a su situación de estado estacionario en el corto plazo luego de una expansión monetaria. Este acontecimiento explica la alta volatilidad de la tasa de cambio respecto a los fundamentales macroeconómicos. Pero en el mediano plazo, la tasa de cambio convergerá por una senda estable hacia la posición de equilibrio, en la medida que los excesos de demanda en el mercado de bienes se corrigen por el incremento en el nivel de precios. Esto entraña un movimiento inverso entre tasa de cambio y tasa de interés; característica keynesiana del modelo. Finalmente en el largo plazo se observa que en el modelo que se cumple la

neutralidad del dinero, es decir, los movimientos evidenciados en el nivel de precios y la tasa de cambio nominal son proporcionales a la variación evidenciada en los saldos monetarios nominales. Es preciso aclarar que el tipo de perturbación define la presencia de sobre-reacción, por ejemplo, el modelo predice que aumentos no anticipados del gasto público financiados por deuda adquirida por agentes privados, no implican sobre-reacción de la tasa de cambio. En este caso la tasa de cambio converge directamente hacia su nueva posición de equilibrio.

Formalmente el modelo consta de las siguientes ecuaciones:

$$(1) \quad m - p = \psi \bar{y} - \alpha i$$

$$(2) \quad y^d = \beta_0 + \beta_1 r + \beta_2 \bar{y} - \beta_3 i$$

$$(3) \quad \frac{dp}{dt} \equiv \dot{p} = \mu (y^d - \bar{y})$$

$$(4) \quad \frac{ds^e}{dt} \equiv \dot{s}^e = \dot{s} = i - i^* = \theta (\bar{s} - s)$$

Donde:

m : logaritmo natural de la oferta monetaria

p : logaritmo natural del nivel de precios

\bar{y} : logaritmo natural de la producción de pleno empleo

i : tasa de interés doméstica

i^* : tasa de interés foránea

y^d : logaritmo natural de la demanda

$r \equiv s + p^* - p$: logaritmo natural de la tasa de cambio real

\dot{p} : tasa de inflación

\dot{s}^e : tasa de depreciación esperada condicionada al conjunto de información disponible

\bar{s} : logaritmo natural de la tasa de cambio de estado estacionario

s : logaritmo natural de la tasa de cambio observada

La primera ecuación determina el equilibrio del mercado monetario, es decir, establece la igualdad entre los saldos monetarios reales y la demanda por dinero, la cual responde a acontecimientos especulativos, vía tasa de interés, y a transaccionales, a través del ingreso. La segunda ecuación es una función de demanda, la cual depende del gasto autónomo, la tasa de cambio real, la producción potencial y la tasa de interés. Por su parte, la ecuación número tres determina la evolución del nivel de precios, la cual responden a los excesos de demanda sobre oferta de la economía, es decir, a la brecha del producto; el parámetro que multiplica dicha expresión determina la velocidad de ajuste de los precios ante desequilibrios observados en el mercado de bienes. Finalmente, la ecuación cuatro enseña la evolución dinámica de la tasa de cambio nominal esperada, la cual se asume igual a la evolución observada, dada la hipótesis de expectativas racionales y ausencia de perturbaciones estocásticas. Dicha dinámica está en función de la tasa de interés doméstica y la tasa de interés foránea. Además se asume un proceso de convergencia en el cual se

determina que la evolución observada de la tasa de cambio nominal converge a la situación de equilibrio, esta corrección depende de la velocidad de convergencia asociada al proceso de ajuste.

Luego de múltiples manipulaciones algebraicas se encuentra el sistema dinámico que determina conjuntamente la evolución del índice de precios y la senda temporal de la tasa de cambio nominal de la economía en cuestión (ver Gámez y Torres, 1997).

$$(5) \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mu\left(\beta_1 + \frac{\beta_3}{\alpha}\right) & \mu\beta_1 \\ \frac{1}{\alpha} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mu\beta_0 & \frac{\mu\beta_3}{\alpha} & \mu\left(\beta_2 - \frac{\psi\beta_3}{\alpha} - 1\right) & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\alpha} & \frac{\psi}{\alpha} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ m \\ \bar{y} \\ i^* \end{bmatrix}$$

En forma matricial,

$$(6) \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{s} \end{bmatrix} = D \begin{bmatrix} p \\ s \end{bmatrix} + Fz$$

Dadas las diversas velocidades de ajuste en el mercado de bienes y el mercado financiero; se debe realizar análisis de corto, mediano y largo plazo, lo cual implica obtener la solución complementaria (desviación del equilibrio) y la solución particular (estado estacionario) del sistema de ecuaciones diferencial. El sistema de ecuaciones que define el comportamiento de estado estacionario es el siguiente.

$$(7) \begin{bmatrix} \bar{p} \\ \bar{s} \end{bmatrix} = -D^{-1}Fz$$

Cabe destacar que el signo de las raíces características del sistema de ecuaciones implica que éste se caracteriza por una senda temporal de punto de silla, y es el comportamiento fundamentado en las expectativas racionales de los agentes económicos, el que induce a la convergencia hacia la única rama estable del sistema.

Resolviendo (7) se tiene que la evolución estacionaria de la tasa de cambio nominal está determinada por la siguiente expresión.

$$(8) \bar{s} = m - \frac{\beta_0}{\beta_1} - \left[\frac{\psi\beta_1 + \beta_2 - 1}{\beta_1} \right] \bar{y} + \frac{(\alpha\beta_1 + \beta_3)i^*}{\beta_1}$$

Esta ecuación enseña claramente la neutralidad del dinero en la senda temporal de largo plazo para la tasa de cambio, en tanto que, la ecuación que determina el comportamiento de corto plazo esclarece evidentemente el fenómeno de sobre-reacción ante perturbaciones monetarias.

$$(9) \quad s = \bar{s} + \frac{m - p - \psi \bar{y}}{\alpha \theta} + \frac{i^*}{\theta}$$

La ecuación (8) definen el objeto de estudio en las estimaciones econométricas para la comprobación empírica del modelo de precios rígidos para la economía colombiana en el período 1995:I–2006:I.

3. Marco Econométrico de Referencia

Dado el objetivo de validar empíricamente el modelo de precios rígidos para la economía colombiana en el período 1996:I–2005:I, y partiendo de la ecuación (8), la cual establece las variables que participan en la determinación de la senda de estado estacionario de la tasa de cambio nominal, se plantea la siguiente forma reducida susceptible de estimación econométrica.

$$(10) \quad \bar{s}_t = \phi_0 + \phi_1 m_t + \phi_2 y_t + \phi_t i_t^* + \varepsilon_t$$

Donde ε_t es una perturbación estocástica ruido blanco.

Dado que la teoría económica no está en capacidad de establecer plenamente los múltiples fenómenos de retroalimentación, causalidad y simultaneidad entre la tasa de cambio nominal, el ingreso interno, la oferta monetaria y la tasa de interés foránea, se debe recurrir a técnicas econométricas en las cuales se consideren todas las variables como endógenas.

La base del análisis parte del reconocimiento de la relación de simultaneidad entre las variables objeto de estudio; en un principio se utilizaron los esquemas de Vectores Autorregresivos (VAR) en el cual todas las variables se consideran endógenas, pero el esquema VAR establece como prerrequisito que todas las variables que entran en el problema sean estacionarias. Dado que muchas de las variables objeto de estudio en economía presentan tendencias estocásticas, lo cual implica que la ecuación en diferencias que define su trayectoria temporal presente una raíz unitaria que ocasiona una senda temporal no estable en el tiempo, y por ende, no hay convergencia a su valor de equilibrio, se debe recurrir a la diferenciación para eliminar la tendencia e incorporar las series en el esquema VAR.

Los análisis multivariados entre variables que presentan tendencias estocásticas en el tiempo no son tan sencillos como en un principio se creía, puesto que los procesos de diferenciación para eliminar dichas tendencias suponen una pérdida de información valiosa para el análisis econométrico aplicado.³ Si las variables son individualmente integradas de orden uno, y la teoría económica sugiere una relación estacionaria de largo plazo entre éstas, el análisis intuitivo sugeriría la presencia de cointegración entre dichas variables.⁴

³ La diferenciación implica pérdida de información valiosa contenida en un número finito de rezagos (Hamilton, 1994).

⁴ Cointegración simplemente implica que hay una combinación lineal (vector de cointegración) de variables no estacionarias que es estacionaria. Si la cointegración no existe, la combinación lineal no es estacionaria o tiene una varianza infinita y no hay una media a la cual retorne. Desde el punto de vista económico no

La ventaja de encontrar las relaciones de largo plazo estacionarias entre variables no estacionarias es que el sistema se puede representar como un Vector de Corrección de Errores (VEC), este hallazgo se fundamenta en el teorema de representación de Granger, el cual permite descomponer la estacionariedad de las diferencias del vector de variables del modelo en la proveniente de sus cambios rezados y en las combinaciones lineales estacionarias de las series integradas. Formalmente se parte de una representación VAR(p) para luego obtener la representación VEC($p-1$).

$$(11) \quad x_t = B\mu_t + \sum_{i=1}^p A_i x_{t-i} + \varepsilon_t \quad \forall t = p+1, \dots, T$$

$$(12) \quad \Delta x_t = B\mu_t + \sum_{i=1}^{p-1} \Pi_i \Delta x_{t-i} + \Pi x_{t-1} + \varepsilon_t \quad \forall t = p+1, \dots, T$$

$$\Pi_i = - \sum_{j=i+1}^p A_j \quad i = 1, \dots, p-1 \quad \text{y} \quad \Pi = \sum_{j=1}^p A_j - I$$

Alternativamente, la representación VEC($p-1$) se puede expresar así:

$$(13) \quad \Delta x_t = B\mu_t + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta x_{t-i} + \Pi x_{t-1} + \varepsilon_t \quad \forall t = p+1, \dots, T$$

$$\Gamma_i = \sum_{j=1}^i A_j - I \quad i = 1, \dots, p-1$$

Donde:

x_t : vector de variables endógenas de dimensión k .

μ_t : componentes determinísticos del sistema.

B : matriz de coeficientes a estimar cuya dimensión depende de los componentes determinísticos considerados.

A_i : matriz de coeficientes a estimar de dimensión $k \times k$.

Π_i : matriz de coeficientes a estimar de dimensión $k \times k$.

Γ_i : matriz de coeficientes a estimar de dimensión $k \times k$.

$\Pi = \alpha\beta'$, donde α es una matriz de velocidades de ajuste, y β' es una matriz compuesta por vectores de cointegración.⁵

ε_t : Vector de perturbaciones estocásticas distribuido normal $(0, \Sigma_\varepsilon)$.

cointegración sugiere que no hay evidencia empírica en las series de tiempo que respalde un modelo teórico que describa la conducta de las variables endógenas en el largo plazo.

⁵ Donde: α de dimensión $(k \times r)$ es la matriz de velocidad de ajuste de los parámetros ante desequilibrios y β también de dimensión $(k \times r)$ es la matriz de vectores de cointegración de las variables. Donde r es el número de vectores cointegrados, los cuales conforman el núcleo del espacio de cointegración de las variables en consideración, así cualquier vector de cointegración diferente de los r elementos encontrados es una combinación lineal de estos. Finalmente, k es el número de variables del sistema.

El análisis de cointegración se centra sobre la matriz Π de la cual se desprenden los siguientes casos:

- Si la matriz presenta rango cero, la expresión (12) ó (13) se convierte en un VAR tradicional en primeras diferencias, lo cual implica que no hay una representación VEC.
- Si la matriz presenta rango completo, la estimación VAR en niveles es adecuada.
- Si la matriz presenta la siguiente condición: $0 < \text{Rango}(\Pi) = r < k$, entonces la especificación dada en (12) ó (13) es acertada, es más, la estimación de un VAR en diferencias presentaría un sesgo de especificación, y la especificación de un VAR en niveles tiene problemas de eficiencia, Misas y Oliveros (1997).

El mecanismo desarrollado por Johansen se fundamenta en el rango de la matriz Π , el cual sirve para establecer si las variables involucradas en el análisis están o no están cointegradas. En este sentido el investigador soluciona dos problemas; el primero es la existencia de dicha matriz, y su posterior descomposición en la matriz de velocidades de ajuste y la matriz de vectores de cointegración, y el segundo, la estimación, la cual se realiza a partir de los vectores y valores propios pertenecientes a la solución de la ecuación característica en ρ^k .⁶ Dada la estimación de las raíces características de la matriz Π , también estimada, se establecen los siguientes estadísticos de prueba para corroborar el número de raíces características que son significativamente diferentes de cero.⁷

$$(14) \lambda_{\text{trace}}(r) = -T \sum_{i=r+1}^k \ln(1 - \hat{\lambda}_i)$$

$$(15) \lambda_{\text{Max}}(r, r+1) = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1})$$

Donde:

$\hat{\lambda}_i$: Valores estimados de las raíces características obtenidas de la estimación de la matriz Π .

T : número de observaciones disponibles para el ejercicio de estimación.

El primer estadístico de prueba plantea la hipótesis de como máximo r vectores de cointegración versus la alterna general, esta prueba es secuencial y finaliza al no encontrar evidencia para rechazar H_0 . Esta prueba no sigue una distribución conocida, luego Johansen encuentra una distribución asintótica a partir de simulaciones fundamentadas en resultados del movimiento Browniano. El segundo estadístico plantea la hipótesis nula de r vectores de cointegración versus la alterna de $r + 1$. La distribución de estos estadísticos de prueba depende:

⁶ Se debe tener presente que el número de vectores de cointegración se identifica a partir de las raíces características que son estadísticamente diferentes de cero.

⁷ Frente a problemas de apuntamiento y asimetría en los residuos del modelo, el test de traza es más robusto que el test de máximo valor propio (Cheung y Lai, 1993).

- El número de componentes no estacionarios bajo la hipótesis nula.
- Los elementos determinísticos en el ejercicio.

Las posibilidades que se pueden presentar al respecto de los componentes determinísticos del sistema (13) ó (14) son:

- El nivel de x_t no presenta tendencia determinística y el vector de cointegración no tiene intercepto:

$$H_2(r) : \Pi x_{t-1} + B\mu_t = \alpha\beta' x_{t-1}$$
- El nivel de x_t no presenta tendencia determinística y el vector de cointegración tiene intercepto:

$$H_1^*(r) : \Pi x_{t-1} + B\mu_t = \alpha(\beta' x_{t-1} + \rho_0)$$
- El nivel de x_t presenta tendencia determinística lineal y el vector de cointegración tiene intercepto:

$$H_1(r) : \Pi x_{t-1} + B\mu_t = \alpha(\beta' x_{t-1} + \rho_0) + \alpha_{\perp}\gamma_0$$
- El nivel de x_t y el vector de cointegración presentan tendencia determinística:

$$H^*(r) : \Pi x_{t-1} + B\mu_t = \alpha(\beta' x_{t-1} + \rho_0 + \rho_1 t) + \alpha_{\perp}\gamma_0$$
- El nivel de x_t presenta tendencia determinística cuadrática y el vector de cointegración tiene tendencia determinística lineal:

$$H(r) : \Pi x_{t-1} + B\mu_t = \alpha(\beta' x_{t-1} + \rho_0 + \rho_1 t) + \alpha_{\perp}(\gamma_0 + \gamma_1 t)$$

En general, los estadísticos de prueba para corroborar los componentes determinísticos implícitos en el modelo se fundamentan en las raíces características de los modelos estimados, la formula a utilizar es la siguiente:

$$(16) \quad -2 \ln Q(H_0(r) : H_a(r)) = T \sum_{i=r+1}^k \ln \left(\frac{1 - \lambda_i^{H_0}}{1 - \lambda_i^{H_a}} \right)$$

Estos siguen una distribución χ^2 con grados de libertad que dependen de la hipótesis concreta a ser considerada.⁸ Una vez elegida la hipótesis inicial, la prueba debe seguir un desarrollo secuencial hasta no rechazar la hipótesis nula planteada. Además se debe anotar que una vez rechazada la hipótesis nula considerada es necesario estimar el número de vectores de cointegración en la nueva especificación del modelo, es decir, sujetos a la restricción que impone la hipótesis alternativa pertinente. En caso que el nuevo número de vectores de cointegración sea diferente, se debe hacer de nuevo la comprobación que la especificación de los componentes determinísticos bajo H_a sea acertada.

⁸ Las hipótesis alternativas correspondientes a cada caso son el siguiente caso, por ejemplo, la hipótesis alternativa para $H_2(r)$ es $H_1^*(r)$. Además, los grados de libertad asociados son r , $k - r$, r y $k - r$, respectivamente.

Adicionalmente se debe considerar la introducción de variables dummies estacionales centradas, las cuales cambian la media más no la tendencia del proceso, además no afectan los valores críticos de los estadísticos de prueba.

A partir de este punto es importante considerar las restricciones teóricas que se encuentran implícitas en las estimaciones de la matriz de velocidades de ajuste y los coeficientes inmersos en la matriz compuesta por los vectores de cointegración. En primera instancia las restricciones lineales impuestas sobre la matriz β están definidas por la siguiente hipótesis nula:

- $H_3 : \Pi = \alpha\varphi'H'$. Donde φ es una matriz de parámetros desconocidos de dimensión $s \times r$ y H es la matriz de restricciones de dimensión $k \times s$, s es el número de restricciones impuestas.

El estadístico de prueba se basa en las raíces características estimadas en el modelo sin restringir y el modelo restringido, además éste sigue una distribución $\chi^2(r(k-s))$.

En segunda instancia se consideran las restricciones que se imponen sobre la matriz de velocidades de ajuste:

- $H_4 : \Pi = A\psi\beta'$. Donde A es una matriz de restricciones cuya dimensión es $k \times m$ y ψ es de dimensión $m \times r$ y corresponde a parámetros no conocidos, m es el número de restricciones impuestas. El estadístico de prueba sigue una distribución $\chi^2(r(k-m))$.

Finalmente se consideran las restricciones lineales conjuntas sobre α y β :

- $H_5 : \Pi = A\psi\varphi'H'$ el estadístico de prueba sigue una distribución $\chi^2(r((k-s) + (k-m)))$ bajo la hipótesis nula.

En general los estadísticos de prueba utilizados en las pruebas de hipótesis sobre la matriz Π se calculan de la siguiente manera:

$$(17) -2 \ln Q(H_0(r) : H_a(r)) = T \sum_{i=1}^r \ln \left(\frac{1 - \lambda_i^R}{1 - \lambda_i^{NR}} \right)$$

A continuación se exponen los pasos para realizar el análisis de cointegración bajo el marco teórico de Johansen.

Procedimiento de Johansen para verificar cointegración

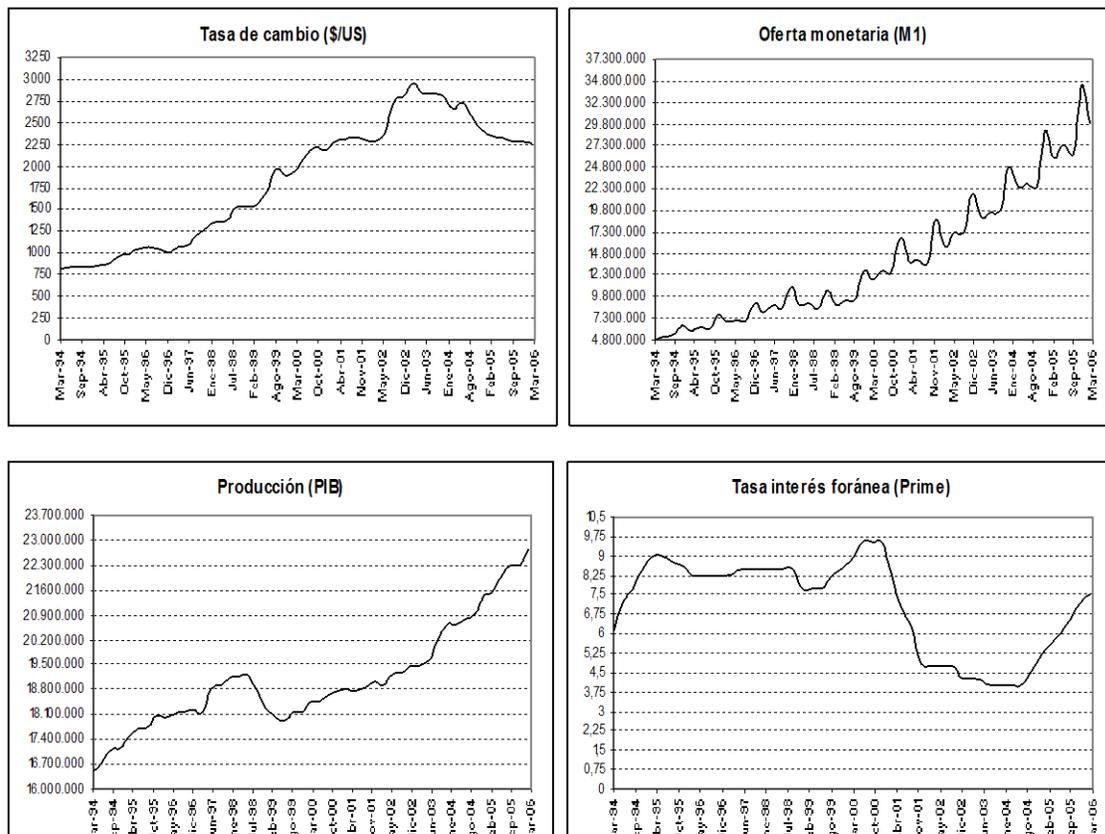
- 1) **Determinar el orden de integración de las variables** que entrarán en el modelo a través de las pruebas diseñadas para tales propósitos.
- 2) **Determine el orden de los rezagos a ser incluidos en el análisis VEC.** Para este propósito se parte de una representación VAR(p) en niveles, y a través de los criterios de información se realiza la selección del número de rezagos pertinente. La representación VEC es de orden $p - 1$.

- 3) **Estime el modelo y determine el rango de la matriz Π .** Para esta fase se debe tener presente todo el análisis sobre los componentes determinísticos que entran como parte de la representación del VEC, lo cual implica que hay una interacción entre la prueba de máximo valor propio y la prueba de traza con las pruebas que se definen para la selección de los componentes determinísticos. Al finalizar este análisis se debe realizar la normalización del vector de cointegración a partir de una variable de particular interés.
- 4) **Realice pruebas de hipótesis sobre los componentes de la matriz Π .** Dichas pruebas se establecen sobre la matriz de vectores de cointegración y sobre la matriz de velocidades de ajuste. De particular interés es comprobar la significancia estadística de los componentes de los vectores de cointegración, conocidas como pruebas de exclusión, y la significancia estadística de las velocidades de ajuste, éstas últimas sirven para probar la exogeneidad de los diversos componentes del modelo, y la posterior representación uniecuacional del modelo de corrección de errores.
- 5) **Realice las pruebas pertinentes sobre los residuales del modelo.** Dados los supuestos implícitos sobre las perturbaciones estocásticas se deben realizar las pruebas multivariadas de independencia serial, homocedasticidad y normalidad.

4. Resultados econométricos

En primera instancia se enseña la evolución de las variables objeto de análisis en el período en consideración; de lo observado aparentemente las series en consideración no son estacionarias. Dicha afirmación debe ser corroborada formalmente a través de pruebas de raíces unitarias.

Gráfico 1. Tasa de cambio (Pesos Colombia/Dólar EE.UU), Oferta monetaria (M1 Colombia), producción (PIB Real Colombia) y tasa de interés foránea (Prime EE.UU): 1996:I–2006:I.



Fuente. Banco de la República de Colombia (Tasa de cambio y Oferta monetaria), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Producto Interno Bruto) y Economagic.com (Prime).

Tabla 1. Prueba de raíces unitarias basada en la metodología Dickey-Fuller Aumentado: Tasa de cambio (Pesos Colombia/Dólar EE.UU), Oferta monetaria (M1 Colombia), producción (PIB Real Colombia) y tasa de interés foránea (Prime EE.UU): 1996:I–2006:I.

| Variable | Dickey–Fuller | Valor Crítico 5% | Variable | Dickey–Fuller | Valor Crítico 5% |
|----------|---------------|------------------|----------------|---------------|------------------|
| s_t | -1,96 | -2,92 | Δs_t | -5,46 | -2,92 |
| m_t | -2,27 | -2,92 | Δm_t | -5,19 | -1,94 |
| y_t | 3,95 | -1,94 | Δy_t | -4,34 | -1,94 |
| i_t^* | -0,58 | -1,94 | Δi_t^* | -3,74 | -1,94 |

Nota. Las series en consideración se encuentran en logaritmo natural a excepción de la tasa de interés foránea. La hipótesis nula considerada es la no estacionariedad de la serie en cuestión. Los resultados encontrados son respaldados por la prueba Phillips–Perron. Para la variable oferta monetaria se tomó en cuenta el efecto asociado a la estacionalidad.

Dado que las series en consideración son integradas de orden uno, el análisis multivariado se debe fundamentar en metodología VEC. Inicialmente se plantea un VAR con las variables en niveles. A partir de los criterios de información se establece que el número de rezagos pertinente para el VAR es cuatro, lo cual implica que el VEC debe contener tres rezagos (ver anexo A.1.).

A continuación se enseñan los resultados de la prueba de vectores de cointegración bajo diversas especificaciones en los componentes determinísticos que entran en el esquema.

Tabla 2. Prueba de cointegración bajo diferentes especificaciones de los componentes determinístico.

| Supuestos sobre los componentes determinísticos asociados a la representación VEC | Estadístico Traza | Valor Crítico prueba traza 5% | Estadístico Máximo Valor Propio | Valor Crítico prueba Máximo Valor Propio 5% |
|--|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|---|
| Intercepto y tendencia en el vector de cointegración y tendencia determinística en el VAR | | | | |
| $H_0.r = 0$ | 103,54 | 55,24 | 52,40 | 30,81 |
| $H_0.r = 1$ | 51,13 | 35,01 | 34,77 | 24,25 |
| $H_0.r = 2$ | 16,33 | 18,39 | 14,47 | 17,14 |
| Intercepto y tendencia en el vector de cointegración e intercepto en el VAR | | | | |
| $H_0.r = 0$ | 111,58 | 63,87 | 52,41 | 32,11 |
| $H_0.r = 1$ | 59,16 | 42,91 | 38,03 | 28,82 |
| $H_0.r = 2$ | 21,13 | 28,87 | 14,70 | 19,38 |
| Intercepto en el vector de cointegración y en el VAR | | | | |
| $H_0.r = 0$ | 71,67 | 47,85 | 46,38 | 27,58 |
| $H_0.r = 1$ | 25,29 | 29,79 | 16,04 | 21,13 |

| Intercepto en el vector de cointegración y NO intercepto en el VAR | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| $H_0.r = 0$ | 77,76 | 54,07 | 47,56 | 28,58 |
| $H_0.r = 1$ | 30,30 | 35,19 | 16,25 | 22,29 |
| NO intercepto en el vector de cointegración y NO intercepto en el VAR | | | | |
| $H_0.r = 0$ | 46,09 | 40,17 | 29,37 | 24,15 |
| $H_0.r = 1$ | 16,71 | 24,27 | 9,07 | 17,79 |

Nota. La representación VEC implícita en el análisis de cointegración se fundamenta en tres rezagos con la presencia de una dummy estacional asociada al cuarto trimestre del año.

Como se desprende del análisis de cointegración bajo las dos primeras especificaciones hay evidencia estadísticas de dos vectores de cointegración, y bajo las tres especificaciones finales, la evidencia enseña la presencia de un vector de cointegración. La elección entre las diversas especificaciones se fundamenta en el marco de la teoría económica y los criterios de información estadísticos. En el anexo A.2., se exhiben los resultados que arroja el criterio de información de Scharwz donde se establece que la mejor especificación está determinada por la cuarta estructura, es decir, en presencia de intercepto en el vector de cointegración y no intercepto en la representación VEC, lo cual es consistente con el marco establecido por el modelo de precios rígidos para la determinación de la tasa de cambio.

El vector de cointegración que se obtiene bajo la especificación establecida está dado por la siguiente expresión (desviación estándar entre paréntesis).

$$(18) \quad s_t = 255,85 + 3,25m_t - 18,04y_t + 0,20i_t^*$$

$$(30,46) \quad (0,29) \quad (2,07) \quad (0,03)$$

El vector de velocidades de ajuste asociado al ejercicio está determinado por el siguiente esquema (desviación estándar entre paréntesis).

$$(19) \quad [\alpha_s = -0,013 \quad \alpha_M = -0,049 \quad \alpha_y = -0,005 \quad \alpha_{i^*} = 0,78]$$

$$(0,026) \quad (0,01) \quad (-0,005) \quad (0,17)$$

Dados los resultados exhibidos en la ecuación (18) se determina que las variables objeto de estudio son parte fundamental del vector de cointegración, es decir, éstas son estadísticamente diferentes de cero (prueba de exclusión). Además según lo evidenciado en (19), se determina que la tasa de cambio y la producción son variables débilmente exógenas, en tanto, que la oferta monetaria y la tasa de interés foránea son endógenas. La representación VEC como tal es bastante acertada para explicar el comportamiento de la oferta monetaria; esto se desprende del coeficiente de determinación ajustado asociado a dicha variable es 0,965 (ver anexo A.4.).

En los anexos A.4. y A.5. se enseña que el modelo especificado pasa las pruebas de hipótesis sobre independencia serial y homocedasticidad de los residuales a un 5% de significancia.

5. Conclusiones

Los resultados encontrados son consistentes con el modelo de precios rígidos en dos sentidos; el primero se fundamenta en el hecho que las variables objeto de análisis están cointegradas, es decir, presentan una relación estable de largo plazo, tal y como lo establece el marco teórico, además dichas variables son parte fundamental del vector de cointegración, según se deduce de los resultados de las pruebas de exclusión. En segunda instancia, los signos de las elasticidades estimadas son conformes a lo que predice la teoría. Por otra parte, dados los resultados de las pruebas de exogeneidad, se encuentra que los movimientos en la tasa de cambio y la producción explican los movimientos en la oferta monetaria, es decir, la política monetaria ha sido acomodaticia. Se puede deducir de la ecuación (18) que la elasticidad de la oferta monetaria con respecto a la tasa de cambio y la producción es 0,3 y 5,5, respectivamente.⁹

Durante el régimen de bandas cambiarias, la oferta monetaria era el instrumento que se ajustaba con el objetivo de responder a la presión que se ejercía sobre la tasa de cambio en el mercado, en tanto que a partir de 1999, dada la flexibilidad “sucia” de la tasa de cambio, la oferta monetaria se ajuste acorde a las intervenciones del Banco de la República en el mercado cambiario, según se puede deducir de los resultados hallados. En este mismo orden de ideas, los hechos estilizados enseñan que la oferta monetaria se ha ajustado a los movimientos en la producción, según la política de inflación objetivo practicada por el Banco de la República, en la cual las decisiones sobre la tasa de intervención y por consiguiente sobre la expansión monetaria en la economía, se ajustan según la brecha de la producción. Un hecho contra intuitivo del ejercicio econométrico realizado es que la tasa de interés foránea no es débilmente exógena, se podría deducir que la especificación econométrica planteada toma en consideración el posible efecto de retroalimentación entre los movimientos en la tasa de interés foránea y la oferta monetaria, pero no es capaz de identificar el orden secuencial de los acontecimientos causa–efecto.

Bibliografía

- Alonso, C., Cárdenas, M. y Bernal, R. (1997). *La Tasa de Cambio en Colombia*. Bogotá. Tercer Mundo Editores.
- Alonso, C. y Patiño, I. (2005). “Determinantes de la Tasa de Cambio Nominal en Colombia: Evaluación de Pronósticos”.
- Appleyard, Field (2003). *Economía internacional*. McGraw- Hill, cuarta edición.
- Arias, F. y Misas, M. (1998). “Monetary Neutrality in the Colombian Exchange Rate”. Serie Borradores de Economía, número 85.
- Carrasquilla, A. (1997). “An Exchange Rate Band in Times of Turbulence: Colombia, 1991–1996”. Serie Borradores de Economía, número 70.
- Cheung, Y. and Lai, K. (1993). “Finite Sample Sizes of Johansen’s Likelihood Ratio Test for Cointegration”. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, número 55.
- Dornbusch, R. (1976). “Expectations and Exchange Rate Dynamics.” *Journal of Political Economy*, Vol. 84, No. 6.

⁹ Los resultados que se presentan son los estimados al tomar como referencia la oferta monetaria para normalizar el vector de cointegración.

- Eichengreen, Barry (2000). *La Globalización del Capital*. Antoni Bosch, editor. Primera edición en español, Barcelona.
- Gámez, Consuelo. y Torres, José. (1997). *Teoría Monetaria Internacional*. Madrid. McGraw–Hill.
- Gómez, J. (1999). “Un Modelo de Tasa de Cambio Nominal y Real para Colombia”. *Serie Borradores de Economía*, número 129.
- Hamilton, J. (1994). *Time Series Análisis*. Princeton University Press.
- Johansen, S. (1988). “Statistical Analysis of Cointegration Vectors”. *Journal of Economic Dynamics and Control*.
- Johansen, S. and Juselius, K. (1990). “Maximum Likelihood Estimation and Inference on Cointegration with Application to the Demand for Money.” *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 52.
- Oliveros, H. y Huertas, C. (2002). “Desequilibrios Nominales y Reales del Tipo de Cambio en Colombia”. *Serie Borradores de Economía*, número 220.
- Oliveros, H. y Misas, M. (1997). “Cointegración, Exogeneidad y Crítica de Lucas: Funciones de Demanda de Dinero en Colombia: un Ejercicio mas”. *Serie Borradores de Economía*, número 75.
- Requeijo, Jaime (2001). *Estructura económica mundial*. McGrawHill. Primera edición. Madrid.
- Rowlan, P. (2003). “Forecasting the USD/COP Exchange Rate: a Random Walk with a Variable Drift”. *Serie Borradores de Economía*, número 253.
- Stock, J. y Watson, M. (1988). “Testing for Common Trends”. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 83.

Anexos

Tabla A.1. Criterios de información para la selección del número de rezagos del VAR.

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: LN_M LN_S LN_Y IF

Exogenous variables: C

Date: 05/28/06 Time: 16:22

Sample: 1994Q1 2006Q1

Included observations: 45

| Lag | LogL | LR | FPE | AIC | SC | HQ |
|-----|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 0 | 9.511785 | NA | 9.20e-06 | -0.244968 | -0.084376 | -0.185101 |
| 1 | 235.5866 | 401.9108 | 8.14e-10 | -9.581628 | -8.778667 | -9.282292 |
| 2 | 254.3272 | 29.98498 | 7.34e-10 | -9.703433 | -8.258103 | -9.164628 |
| 3 | 266.1344 | 16.79241 | 9.25e-10 | -9.517085 | -7.429386 | -8.738812 |
| 4 | 330.6952 | 80.34227* | 1.17e-10* | -11.67534* | -8.945273* | -10.65760* |

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

A.2. Criterio Schwarz de información para la selección de la especificación en los componentes determinísticos en la representación VEC.

Selected (0.05 level*) Number of Cointegrating Relations by Model

| Data Trend: | None | None | Linear | Linear | Quadratic |
|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Test Type | No Intercept | Intercept | Intercept | Intercept | Intercept |
| | No Trend | No Trend | No Trend | Trend | Trend |
| Trace | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Max-Eig | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |

| Schwarz Criteria by Rank (rows) and Model (columns) | | | | | |
|---|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | -9.885647 | -9.885647 | -9.682597 | -9.682597 | -9.523058 |
| 1 | -9.861773 | -10.17911* | -10.03673 | -10.08613 | -10.01079 |
| 2 | -9.386639 | -9.779102 | -9.716438 | -10.17009 | -10.10673 |
| 3 | -8.879137 | -9.189114 | -9.201383 | -9.735486 | -9.750707 |
| 4 | -8.203022 | -8.568521 | -8.568521 | -9.116986 | -9.116986 |

Tabla A.3. Información estadística asociada a la representación VEC.

| Error Correction: | D(LN_M) | D(LN_S) | D(LN_Y) | D(IF) |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|
| R-squared | 0.975481 | 0.384831 | 0.368217 | 0.674778 |
| Adj. R-squared | 0.965199 | 0.126857 | 0.103276 | 0.538395 |
| Sum sq. resids | 0.025312 | 0.070856 | 0.003896 | 3.185609 |
| S.E. equation | 0.028575 | 0.047809 | 0.011211 | 0.320564 |
| F-statistic | 94.87206 | 1.491745 | 1.389808 | 4.947660 |
| Log likelihood | 104.5186 | 81.35747 | 146.6233 | -4.271804 |
| Akaike AIC | -4.023047 | -2.993665 | -5.894370 | 0.812080 |
| Schwarz SC | -3.460974 | -2.431593 | -5.332297 | 1.374153 |
| Mean dependent | 0.034225 | 0.022300 | 0.006251 | -0.021556 |
| S.D. dependent | 0.153174 | 0.051164 | 0.011839 | 0.471824 |
| Determinant resid covariance (dof adj.) | | 1.59E-11 | | |
| Determinant resid covariance | | 3.59E-12 | | |
| Log likelihood | | 337.5199 | | |
| Akaike information criterion | | -12.28977 | | |
| Schwarz criterion | | -9.840742 | | |

Tabla A.4. Prueba de independencia serial sobre el modelo especificado.

VEC Residual Serial Correlation LM Tests

H0: no serial correlation at lag order h

Date: 05/30/06 Time: 15:17

Sample: 1994Q1 2006Q1

Included observations: 45

| Lags | LM-Stat | Prob |
|------|----------|--------|
| 1 | 6.519794 | 0.9814 |
| 2 | 15.87699 | 0.4616 |
| 3 | 12.55216 | 0.7052 |
| 4 | 21.27476 | 0.1682 |

Probs from chi-square with 16 df.

Tabla A.5. Prueba de homocedasticidad sobre el modelo especificado.

VEC Residual Heteroskedasticity Tests: No Cross Terms (only levels and squares)

Date: 05/30/06 Time: 15:20

Sample: 1994Q1 2006Q1

Included observations: 45

Joint test:

| Chi-sq | df | Prob. |
|----------|-----|--------|
| 273.3844 | 270 | 0.4311 |

Evolución Teórica de los Modelos de la Tasa de Cambio

