

UN MODELO MACROECONOMÉTRICO PARA LA ECONOMÍA COLOMBIANA*

Javier Arturo Birchenall
Juan Daniel Oviedo
Departamento Nacional de Planeación
jbirchenall@dnpp.gov.co

RESUMEN

El presente documento analiza un modelo macroeconómico de corto plazo para la economía colombiana, con el fin de evaluar el impacto de procesos de ajuste y estabilización. Se basa en una estructura que reconoce no neutralidades por rigideces de precios y descompone la economía a través de oferta y demanda agregada. El modelo se estima por diversos métodos para el período comprendido entre 1977 y 1998 con una frecuencia trimestral, con el fin de realizar proyecciones para períodos de uno y dos años.

*Palabras claves: estimación, proyecciones, evaluación.
Clasificación JEL: C10, C13, C30, C51*

INTRODUCCIÓN

La necesidad de cuantificar el impacto de cambios en las acciones de política y en las decisiones de los agentes privados sobre el desempeño de una economía, nos ha motivado a desarrollar herramientas econométricas que modelen de forma simplificada la dinámica de procesos de ajuste y estabilización en el corto y el largo plazo en la economía colombiana. Esta cuantificación pretende relacionar los fundamentos analíticos de la teoría económica con información estadística, basado en un grupo de ecuaciones que encierra una versión simplificada de la economía. Se buscan dos objetivos: primero, contar con una herramienta que permita elaborar pronósticos de la economía colombiana en los períodos en que la carencia de datos coyunturales se convierte en un limitante de las decisiones de política, y segundo, analizar aspectos teóricos sobre la respuesta de la economía ante diversas políticas económicas, con

* El presente documento se benefició con los comentarios de Fabio Sánchez, Juan Carlos Echeverry, y los asistentes al seminario interno de la Unidad de Análisis Macroeconómico. Juan Daniel Oviedo reconoce el apoyo financiero del proyecto MASFP.

base en formulaciones y pruebas de carácter teórico. A pesar de seguir este enfoque puramente cuantitativo, pretendemos que la interpretación y el análisis de estas series de tiempo no se vea tan sólo desde el punto de vista estadístico (como la realización de un proceso estocástico); sino como el resultado de las decisiones de los agentes en un contexto optimizador en el cual las leyes de movimiento de las variables de decisión cambian a medida que sus restricciones se modifican¹.

En estos contextos dinámicos ha sido usual abandonar la idea de que las observaciones de la economía provienen de una decisión optimizadora de los agentes y por lo tanto suponen que las leyes de movimiento (restricciones) de las variables son "ecuaciones estructurales". Podemos entender estas ecuaciones estructurales como aquellas que definen los aspectos del comportamiento de los agentes que permanecen constantes en diversos ambientes o escenarios (estados de la naturaleza)². Erróneamente, la literatura económica ha interpretado ecuaciones estructurales sobre el comportamiento de los agentes, tales como las funciones de consumo o de inversión, en donde se asume que los parámetros de las reglas de decisión no cambian cuando se presentan intervenciones en el ambiente económico. Esta idea viola el principio más simple de la teoría económica, tal como seguramente los lectores de Lucas (1976) habrán interpretado. Además, si las proyecciones no se construyen en la posibilidad de estimar los resultados con base en parámetros profundos, estas ecuaciones estructurales generarán pronósticos pobres cuando hay un cambio hacia un nuevo escenario. Ante esta crítica, hemos decidido emplear el enfoque general de Sargent (1976), Lucas y Sargent (1978), evitando imponer condiciones de identificación basadas en la exclusión de variables a cambio de restricciones cruzadas características de la teoría económica. En esta línea, Hansen y Sargent (1980) se constituye en el primer ejemplo de la estimación de sistemas económicos basados en condiciones de optimización.

La razón para interpretar estas series de tiempo como el resultado de la interacción de los planes³ óptimos escogidos por los agentes, es puramente práctica: asegurarnos la posibilidad de predecir el cambio del comportamiento de los agentes ante cambios del ambiente causados por la intervención del gobierno, o por perturbaciones aleatorias. En este sentido, es importante anotar que, dada la relativa dificultad en la identificación de los parámetros estructurales, las proyecciones condicionadas deben interpretarse cautelosamente, ya que el cambio en las decisiones de política necesariamente modifica algunos de los parámetros no estructurales (por ejemplo, aquellos que describen el comportamiento mismo de las variables de política). Tan sólo determinando los

-
- 1 En un contexto dinámico la definición de las restricciones de los agentes cubre aspectos tales como los impuestos que han de pagar, o los precios de los bienes o factores que pueden comprar o vender, Sargent (1980).
 - 2 En términos de Programación Dinámica se tiene que el comportamiento de los agentes se resuelve a través de lo que se conoce como un *Closed Loop*: las decisiones se toman en etapas a medida que se tiene más información relevante. Este tipo de problemas no busca soluciones numéricas, sino reglas óptimas de acción para las variables de decisión según el estado de la economía. Los problemas de *Open Loop* seleccionan políticas a partir de un período inicial, sin considerar los posibles cambios en el estado de la naturaleza.
 - 3 Pensar en la política económica como un proceso estocástico nos permite considerar esta variable bajo el control del gobierno, en lugar de analizar los efectos de acciones en un solo momento del tiempo. En este sentido, la política del gobierno se asemeja más a una estrategia dinámica.

parámetros invariantes a la política económica es posible realizar proyecciones económicas, lo cual ciertamente es una labor difícil.

Siguiendo los lineamientos generales de los modelos macroeconómicos, hemos construido un esquema que se caracteriza por ser dinámico, log-lineal y simultáneo. Se fundamenta en información con periodicidad trimestral que alimenta un sistema de 10 ecuaciones estructurales y tres identidades, que determinan el mismo número de variables endógenas descritas en el Cuadro 1. Dicho sistema de ecuaciones simultáneas se estima para el período comprendido entre el primer trimestre de 1980 y el tercer trimestre de 1998.

I. VISIÓN GENERAL DEL MODELO

Hemos dividido la estructura general en tres bloques. El primero hace referencia al comportamiento de la oferta agregada, el segundo al bloque a la demanda agregada y el último bloque hace referencia a las variables nominales y su interrelación con el sector real mediante una ecuación de mark-up, una demanda de dinero y una curva de Phillips. El modelo está diseñado para proyectar un horizonte de corto plazo, con base en estimaciones trimestrales desde 1977.

A. Oferta agregada

La función de producción agregada se aproxima a una función Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala, aumentada por costos de ajuste. Por tratarse de un modelo de corto plazo, el *stock* de capital está predeterminado, de forma que el ajuste se realiza a través de una mayor utilización del capital (medida a través del consumo de energía industrial), un mayor número de horas trabajadas, o por una mayor demanda de empleo. La presencia de demandas suavizadas en el tiempo, para cada uno de estos insumos, se ve representada en la función de producción a través de los costos de ajuste lineales. Consistente con los supuestos anteriores, las variaciones de corto plazo en el producto surgen principalmente de las modificaciones a la utilización de los factores, lo cual es coherente con los fundamentos de optimización de las firmas desarrollados en Lucas (1970).

B. Demanda agregada

La demanda agregada se acerca a una estructura IS/LM, con ajustes especiales que capturan características específicas a la economía colombiana y compatibles con un entorno de expectativas racionales. En lo referente al consumo, dentro de sus determinantes se encuentran el ingreso disponible, la tasa de interés real y la tasa de cambio real, consistente con hipótesis de restricciones de liquidez en el corto plazo. Por otra parte, la especificación del comportamiento de la inversión coincide con los supuestos de la teoría neoclásica de la inversión, según la cual la participación de la inversión privada dentro de la producción agregada depende del costo de uso del capital a través del precio de los bienes de capital (que a su vez incluye los efectos de la tasa de cambio), el factor tributario (impuesto a la renta, al valor agregado y a las importaciones) y la tasa de interés real.

Los demás componentes de la demanda agregada se modelan de manera similar a las especificaciones analíticas de los modelos básicos de demanda agregada. En lo relacionado con el sector externo, las exportaciones dependen de la demanda mundial y del precio relativo de los bienes domésticos medido a través del índice de la tasa de cambio real; mientras que las importaciones dependen de este mismo precio, y de la demanda nacional.

C. Curva de Phillips, relaciones nominales y sector público

Por otra parte, introducimos la curva de Phillips, lo cual refleja las rigideces de la oferta en el corto plazo. Esta ecuación relaciona la tasa de desempleo con los salarios nominales, e incluye un determinante de producto real que permite analizar directamente la relación de Okun. El nivel de precios de la economía se mide con el índice de precios al consumidor. El precio doméstico está determinado por los costos unitarios (salarios, precios de los insumos y tasa de cambio nominal) en una relación de crecimientos. Con esta especificación, la curva de oferta agregada de la economía en el corto plazo tiene pendiente positiva y se desplaza verticalmente por cambios en los salarios, los precios de los insumos y en la tasa de cambio nominal de acuerdo con las rigideces del corto plazo. Finalmente, la especificación del sector monetario es bastante rudimentaria, pues se limita a la estimación de una función de demanda de dinero que depende del gasto y de la tasa de interés nominal.

El sector público se describe a través de una función de consumo público que puede ser considerada endógena o exógena. En el primer caso, el consumo del gobierno depende de los ingresos totales del sector público; mientras que tratarlo como exógeno, es de gran utilidad para observar los efectos de un ajuste fiscal. Así mismo, se hace explícita la función de ingresos del sector público dependiente del producto de la economía y de los tipos impositivos más importantes (impuesto a la renta, al valor agregado y a las importaciones).

D. Estructura econométrica

Basados en la definición de Lucas y Sargent (1978), consideramos un modelo econométrico como un sistema de ecuaciones que involucra un conjunto de variables endógenas (determinadas dentro del modelo), variables exógenas (determinadas por fuera del sistema económico) y *shocks* aleatorios que modifican las decisiones de los agentes mediante efectos en los conjuntos de información y en los planes contingentes. La representación estructural del modelo se basa en aproximaciones lineales de la forma:

$$A_0 y_t + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} = B_0 x_t + B_1 x_{t-1} + \dots + B_n x_{t-n} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$R_0 \varepsilon_t + R_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + R_q \varepsilon_{t-q} = v_t \quad ; \quad R_0 \equiv I \quad (2)$$

Donde y_t es un vector de dimensión $(L \times 1)$ de las variables endógenas, x_t es un vector de dimensión $(K \times 1)$ de las variables exógenas y, ϵ_t , v_t son vectores de tamaño $(L \times 1)$ que representan las perturbaciones aleatorias o innovaciones de los agentes. Las matrices que acompañan las variables anteriores tienen las siguientes dimensiones: A_i de $(L \times L)$; B_i de $(L \times K)$, y R_i de $(L \times L)$. El proceso estocástico de ruido cumple con $E v_t = 0$. Adicionalmente asumimos que la matriz de varianza-covarianza de v_t , de dimensión $(L \times L)$, cumple con: $E v_t v_t' = \Sigma$, y $E v_t v_s' = 0$, para $s \neq t$. Por las características del sistema económico estimado, podemos asegurar que las variables exógenas no están correlacionadas con las perturbaciones estocásticas: $E v_t x_s' = 0$, de dimensión $(L \times K)$, para todo t y s .

El sistema anterior analiza las L variables endógenas relacionándolas con variables tanto endógenas como exógenas. Estas relaciones necesariamente involucran coherencias motivadas por agentes optimizadores sujetos a diversos tipos de restricciones y condiciones de mercado. La base de estas condiciones, se halla en las ecuaciones particulares estimadas en la cuarta sección. Por los vínculos entre las variables endógenas y los *shocks* del sistema, es usual encontrar problemas de consistencia en la estimación realizada de los modelos basados en las ecuaciones (1) y (2). Por esta razón, es usual resolver el modelo para las variables endógenas en términos de los rezagos de las mismas, y de la dinámica de las variables exógenas. La forma reducida de este sistema es:

$$y_t = -P_1 y_{t-1} - \dots - P_{q+p} y_{t-q-p} + Q_0 x_t + \dots + Q_{q+n} x_{t-n-q} + A_0^{-1} v_t \quad (3)$$

con:

$$P_s = A_0^{-1} \sum_{j=-\infty}^{\infty} R_j A_{s-j} \quad (4)$$

$$Q_s = A_0^{-1} \sum_{j=-\infty}^{\infty} R_j B_{s-j} \quad (5)$$

Bajo esta especificación, las ecuaciones del sistema se convierten en ecuaciones “normales” o en representaciones de sistemas de regresión, en las cuales es posible aplicar métodos tradicionales de estimación. El principal inconveniente que presenta el sistema anterior es el hecho de encontrar infinitas combinaciones de las matrices A , B y R , consistentes con las matrices P y Q . Formalmente, este problema implica la posibilidad de que dos vectores de parámetros del sistema (1) y (2) conduzcan a la misma distribución de probabilidad para los datos observados en la economía o estimados en (3) a (5). Este problema se analiza bajo las condiciones tradicionales de rango y orden de los modelos de ecuaciones simultáneas obtenidos en la cuarta sección para asegurar la confiabilidad en los resultados obtenidos.

III. FUNDAMENTOS ANALÍTICOS DEL MODELO

La formulación del modelo se basa en 10 ecuaciones y 10 variables endógenas. El desarrollo analítico que genera cada una de ellas se encuentra más adelante.

A. Función de producción

La función de producción parte de una formulación basada en una tecnología neoclásica con rendimientos constantes a escala de la forma:

$$y_t = a_t f[n_t, k_t] \quad (6)$$

donde n_t representa el empleo, k_t el capital y a_t el cambio tecnológico. La necesidad de analizar el proceso productivo de forma temporal y dinámica nos ha llevado a profundizar en las decisiones por parte de las firmas desde una perspectiva de largo y corto plazo. Para interpretar el cambio tecnológico (como fenómeno de largo plazo), hemos involucrado el crecimiento de la población, en lugar de introducir una tendencia determinística como ha sido usual en la literatura. En este sentido, la tendencia de largo plazo de la economía depende de los patrones demográficos de la población. Por otro lado, hemos enfatizado el proceso de ajuste en el corto plazo, en especial, porque es ampliamente conocido que es menos costoso para las firmas modificar el uso de horas extras que el total de empleo y capital disponible. Por esta razón, podemos argumentar que la cantidad de trabajo realizado en "horas extras" (y mayor utilización de capital físico) responde más rápidamente a las señales de mercado que la firma recibe, mientras que los patrones de acumulación de factores son más lentos en su ajuste.

Esta nueva formulación de ajustes de corto plazo se basa en la presentación de Lucas (1970) sobre utilización de la capacidad, introduciendo costos de ajuste asociados a cambios rápidos en los insumos. Partimos de una firma representativa con una función de producción instantánea⁴:

$$y(t + \tau) = f[n(t + \tau), k(t + \tau)] \quad (7)$$

Con $f_n, f_k, f_{kn} > 0$; $f_{kk}, f_{nn} < 0$ para $(t) = 0, 1, 2, 3, \dots T$ y $\tau \in [0, 1)$. $y(t + \tau)$ es la producción por unidad de tiempo en el instante $t + \tau$, $n(t + \tau)$ y $k(t + \tau)$ representan el número de empleados y el *stock* de capital en el instante $t + \tau$. La duración del período de tiempo se ha normalizado en 1 (un día de acuerdo con Lucas) por lo cual τ indica el momento del día. A pesar de que el capital se ha asumido constante durante el día, es decir, $k(t + \tau) = k(t) = k_t$ para $\tau \in [0, 1)$, la firma puede ajustar la

4 La esencia del modelo de Lucas (1970) se halla en asumir el stock de capital fijo, combinado con una oferta laboral creciente en el salario real. La utilización de la capacidad se determina por la igualdad entre el costo y el ingreso marginal de las firmas.

intensidad de uso de este insumo. Adicionalmente, la firma reconoce a los trabajadores un salario dado por (ω_1) durante las horas laborales usuales definidas como una proporción h_1 del día. Las horas extras serán $h_2 = 1 - h_1$ y deberán reconocer un salario superior (ω_2) que corresponde al *premium* de las horas extras. Dado el *stock* de capital, y el salario de cada tipo de trabajo, para la firma es óptimo escoger $n(t + \tau) = n_{1t}$ cuando $\tau \in [0, h_1)$ y $n(t + \tau) = n_{2t}$ cuando $\tau \in [h_1, 1)$ es decir, cierta proporción de trabajo “normal” y cierta proporción de trabajo en horas extras durante el día. El producto total de la firma en un día es:

$$y_t = \int_0^1 y(t+\tau) dt = h_1(k)f[n_{1t}, k_t] + h_2(k)f[n_{2t}, k_t] \quad (8)$$

Para simplificar el análisis, suponemos que la función de producción es log-lineal de la forma:

$$f[n_{it}, k_t] = a_i n_{it} \quad (9)$$

Con $(i=2)$ y $a_i > 0$. Adicionalmente la firma enfrenta costos de ajuste absolutos en el número de horas trabajadas y en el capital⁵:

$$d(n_{1t+1} - n_{1t}), e(n_{2t+1} - n_{2t}) \text{ y } g(k_{t+1} - k_t)$$

Las condiciones de producción anteriores nos permiten pensar en la posibilidad de realizar ajustes de corto plazo mediante tres mecanismos generales: i) mayor uso en la capacidad instalada del capital (lo cual hemos medido mediante el comportamiento del consumo industrial de energía con respecto a su tendencia), ii) mayor acumulación de trabajo (medido con base en el empleo), y iii) mediante mayor número de horas trabajadas.

B. Consumo privado

El consumo es el componente dominante en la demanda agregada, al punto que un incremento de 1% en el consumo equivale al 5% de fluctuaciones en la inversión. Por esta razón, la decisión de los agentes sobre esta variable es determinante para el funcionamiento del modelo. La teoría keynesiana tradicional usualmente descalifica la importancia de la escogencia del consumidor respecto a los niveles de esfuerzo laboral y de consumo, para asociar esta decisión a niveles de renta bajo una relación predeterminada por una propensión marginal a consumir. En general, la conexión

5 Debido a que estamos asumiendo una aproximación lineal al punto de equilibrio, hemos tomado los costos de ajuste lineales, en lugar del caso tradicional de ajustes cuadráticos. Una discusión sobre el impacto de estas consideraciones se encuentra en Birchenall (1997).

resultante entre consumo e ingreso puede llegar a ser compleja a la luz de las decisiones intertemporales, por lo cual es necesario imponer restricciones de comportamiento, que analizamos posteriormente⁶.

La fundamentación analítica de las decisiones de consumo se basa, en general, en dos aproximaciones: la Hipótesis del Ingreso Permanente (PIH) y la Hipótesis del Ciclo de Vida (LCH). La implicación básica de ambos modelos es que los agentes toman sus decisiones de consumo en una medida de su ingreso permanente o del ingreso promedio a lo largo de su vida. Dado que esta medida fluctúa menos que el ingreso corriente, debemos esperar que el consumo varíe en menor proporción⁷.

En un modelo de equilibrio, los consumidores son libres para decidir la mejor asignación entre tiempo de trabajo y consumo, sujetos a restricciones presupuestales asociadas al siguiente problema:

$$\text{Max}_{\{c_t, n_t\}} E_t \sum_{t=0}^{\infty} (1 + \theta)^{-t} U\{c_t, n_t\} \quad (10)$$

$$\text{sujeto a: } \sum_{t=0}^{\infty} (1 + r)^{-t} [c_t - w_t n_t] = W_t$$

donde θ es la tasa de preferencia intertemporal, U la función instantánea de utilidad, r la tasa de interés y W_t la riqueza inicial. Hemos tomado el precio de los bienes de consumo como numerario, de forma que el salario relevante hace referencia al salario real. La condición de primer orden que determina el patrón de expansión para este problema iguala la relación entre la utilidad marginal del trabajo y el consumo al salario real:

$$-\frac{U_n}{U_c} = w_t \quad (11)$$

En términos generales, debemos tener presente que manteniendo constante el salario real, mayor riqueza incrementa el consumo y disminuye el trabajo; y mayor tasa de interés reduce el consumo e incrementa el trabajo⁸. En otras palabras, incrementos en la tasa de interés que aumenten la riqueza y por lo tanto el consumo, deben estar asociados a mayor ocio (y por ende menor oferta laboral). Para analizar

6 La necesidad de considerar el consumo de bienes durables y de restricciones de liquidez haría más complejo el problema, sin embargo, la dirección hacia la cual se mueve la inclusión de estos fenómenos sería hacia una relación más estrecha entre consumo e ingreso corriente.

7 Una aplicación de la Hipótesis del Ingreso Permanente para Colombia con bienes transables y no transables se encuentra en Echeverry (1996).

8 La fundamentación anterior se basa en el hecho de obtener correlaciones positivas de 0.002 entre la tasa de interés y el empleo, correlaciones negativas entre el consumo y el empleo (-0.128), y correlaciones positivas entre consumo y salario real (0.91).

empíricamente las propiedades del modelo anterior podemos desarrollar dos enfoques, el primero se basa en la aplicación de la hipótesis del consumo como *martingala* de Hall (1978), o construir una relación estructural basada en el marco anterior.

Resolviendo el problema anterior obtenemos la siguiente ecuación de Euler (condición de primer orden) para el consumo:

$$E_t U_{c,t+1} = \frac{(1+\theta)}{(1+r)} U_{c,t}$$

El desarrollo de Hall (1978) afirma que la utilidad marginal del consumo sigue un proceso univariado de primer orden. Adicionalmente, no existe otra variable que permita explicar dinámicamente (que cause en el sentido de Granger) la utilidad marginal del consumo. Aproximando linealmente la ecuación anterior (en el punto observado en el período t) obtenemos:

$$E_t U_{c,t+1} \approx E_t [U_{c,t} + U_{cc,t} (c_{t+1} - c_t)] = \frac{(1+\theta)}{(1+r)} U_{c,t}$$

$$\frac{E_t (c_{t+1} - c_t)}{c_t} \approx - \frac{U_{cc,t}}{U_{c,t}} \frac{(r-\theta)}{(1+r)} = \frac{\sigma(c_t)}{(1+r)} (r-\theta)$$

Si adicionamos un término estocástico a la ecuación anterior, a través de imponer equivalencia de certidumbre (la linealización ignora momentos de tercer orden en la función de utilidad, y segundos momentos en el consumo) obtenemos la siguiente ecuación por estimar:

$$c_{t+1} = \rho c_t + \varepsilon_{t+1} ; \varepsilon_{t+1} \perp \Omega_t \quad (12)$$

La estimación de Hall (1978), basada tan sólo en esta condición de primer orden, no encuentra efectos significativos de los rezagos del ingreso en el consumo corriente, sin embargo, encuentra un impacto importante de índices del mercado de activos permitiendo rechazar la versión de expectativas racionales del consumo en su versión más pura.

La alta correlación entre consumo e ingreso en los datos de largo plazo para secciones cruzadas y series de tiempo, ha permitido explotar relaciones alternativas entre estas dos variables a través de canales de restricciones de liquidez y sensibilidad al ingreso. Por ejemplo, Flavin (1981) encuentra que el consumo presenta "exceso de sensibilidad" a los cambios predecibles en el ingreso: la respuesta del consumo se presenta cuando los pagos (en especial laborales) son efectuados, mas no cuando se anuncian. Por otro lado, Campbell y Deaton (1989) encuentran que el consumo presenta "exceso de suavización" a los ingresos percibidos. En definitiva, las

condiciones actuales del debate sobre el comportamiento del consumo permiten pensar que el consumo responde a los anuncios de cambios de ingreso futuro en menor proporción al ingreso permanente (exceso de suavización), pero reacciona cuando se realizan las expectativas (exceso de sensibilidad)⁹.

La aplicación de la prueba de Hall a los datos colombianos se encuentra en la cuarta sección del documento como condición alternativa de identificación. Como mencionamos anteriormente, existe la posibilidad de derivar una relación estructural basada en el problema (10) como alternativa a la especificación de Hall. Como primer punto, derivamos implícitamente la relación existente entre el consumo, el salario real y el empleo en la ecuación (11), para obtener una relación del consumo con ambas variables. En un caso en que la función de utilidad es separable y toma la forma logarítmica, obtenemos:

$$c_t = -w_t n_t$$

El principal inconveniente en la especificación anterior, es la presencia de movimientos conjuntos en la tasa de empleo y el salario real a causa de ajustes en el mercado laboral. Con el fin de solucionar este inconveniente, hemos decidido asumir una relación negativa entre ambas variables. Si suponemos que los salarios se mueven de forma contracíclica con el empleo, obtenemos como resultado una relación positiva entre el consumo y el ingreso laboral¹⁰.

$$c_t = \chi(n_t) \quad ; \quad \chi_n > 0 \quad (13)$$

Como segunda alternativa para derivar la relación estructural entre el ingreso laboral y el consumo, podemos pensar en la ecuación (13) como una expresión del esfuerzo laboral, que puede aproximarse al PIB, de la misma forma en que lo hace Hall (1986).

En general, el principal resultado que obtenemos de la especificación anterior es la necesidad de incorporar dinámicas propias en la evolución del consumo, así como ingresos que permitan una aproximación al concepto de ingreso permanente. En la estimación del modelo, hemos considerado ambos efectos a través de dinámicas autorregresivas y de la inclusión del ingreso disponible. La representación detallada de cada ecuación se encuentra más adelante.

9 Las condiciones simplificadoras de la linealización de la función de utilidad y los supuestos sobre el mercado de crédito y los activos permiten asumir riesgos diversificables que llevan a las condiciones anteriores. Un análisis más detallado debería considerar ahorros con motivo de precaución ante shocks futuros de ingreso. Caballero (1990) desarrolla esta posibilidad.

10 La correlación negativa entre empleo y salarios forma parte de la especificación de oferta de trabajo con sustitución intertemporal. Como señala Blanchard y Fischer (1989), la sustitución intertemporal conduce a que los trabajadores "sustituyan" ofertas de trabajo en momentos de salarios bajos a períodos con salarios altos, generando una correlación negativa entre empleo y oferta laboral a shocks de salarios.

C. Inversión privada

La importancia de la inversión privada en las fluctuaciones de corto plazo no sólo radica en el efecto amplificador de los ciclos del producto, sino en el hecho de constituirse en un determinante del empleo y el crecimiento. A continuación hemos desarrollado un marco sencillo en el cual consideramos una función de inversión basada en Abel y Blanchard (1986).

Nuestro punto de partida es una firma con rendimientos constantes a escala que desea maximizar el valor presente de sus flujos de beneficios. El problema que enfrenta la firma neutral al riesgo es:

$$\text{Max}_{\{i_t\}} E_t \sum_{t=0}^{\infty} (1+r)^{-t} \{ \Pi(k_t, \chi_t) - C(k_t, i_t) \} \quad (14)$$

$$\text{sujeta a: } k_{t+1} = (1-\delta)k_t + i_{t+1}$$

Donde Π representa los beneficios netos operacionales, χ_t los factores (de precios) dados para la firma, y C una función de costos de ajuste que toma en cuenta los movimientos de corto plazo del *stock* de capital. Si introducimos la variable q_t como el multiplicador de Lagrange asociado a la restricción de acumulación de capital en el período t , obtenemos como solución del problema:

$$i_t = C_{i,t} q_t$$

$$q_t = \left(\frac{1-\delta}{1+r} \right) E_t q_{t+1} - (\Pi_k - C_k)$$

Si combinamos ambas ecuaciones, obtenemos que la función de inversión se basa, por efectos de la q_t , en la evolución de los componentes futuros que afectan los rendimientos de la firma.

$$i_t = -C_{i,t} \left\{ \sum_{t=0}^{\infty} \left(\frac{1-\delta}{1+r} \right)^t E_t [\Pi_{k,t} - C_{k,t}] \right\} \quad (15)$$

Debido a que el comportamiento de la q no es directamente observable, hemos decidido construir una aproximación basada en el planteamiento de Abel y Blanchard (1986), de forma que podemos factorizar el problema de inversión de las firmas en dos componentes: uno asociado a los costos del capital que interviene en el factor de descuento, y el otro asociado a la productividad marginal del capital. El componente de costos lo hemos aproximado de acuerdo con el “costo de uso del capital” desarrollado en Cárdenas y Olivera (1995), y el componente de productividad con el crecimiento real del producto. De esta forma, el modelo de proyección de la q es el

mismo empleado en la proyección de la tasa de inversión (con relación al PIB), y se basa tan sólo en información histórica de las variables que mencionamos anteriormente. Al igual que Abel y Blanchard (1986), la aproximación que realizamos es de primer orden, por lo que obtenemos como resultado:

$$q_t \approx L(\delta, r_t) + L(k_t, y_t) \quad (16)$$

donde para cada componente asumimos:

$L(\delta, r_t)$ = Costo de Uso del Capital

$L(k_t, y_t)$ = Crecimiento del Producto

Podemos sustentar esta caracterización, de acuerdo con los resultados de Abel y Blanchard (1986), ya que más de la mitad de las fluctuaciones de la q se deben a movimientos en el costo de uso del capital. Un desarrollo similar al presentado en esta sección, así como una revisión de la literatura colombiana se halla en Birchenall (1996) y Cárdenas y Olivera (1995).

D. Exportaciones e importaciones

Tomando como base fundamentos macroeconómicos del sector externo, asumimos que el comportamiento de las exportaciones está directamente asociado con la demanda externa y con la tasa de cambio real como medida de la competitividad de las exportaciones nacionales frente al resto del mundo.

$$x_t = x_t(y_t^*, s_t) \quad (17)$$

Por otra parte, la evolución de las importaciones depende del comportamiento de la tasa de cambio real, de la demanda interna y de la tasa de arancel promedio para las importaciones, pues cualquier incremento en la demanda nacional de alguna forma deberá verse reflejado en mayores importaciones.

$$m_t = m_t(y_t, s_t, \tau_t^{\text{arancel}}) \quad (18)$$

En esta línea, una devaluación real lleva a un aumento en el volumen exportado, y a una reducción de las importaciones, ya que los precios en moneda extranjera de los productos nacionales tienden a descender, y los precios en moneda nacional de los bienes importados a aumentar. Los efectos de demanda de exportaciones e importaciones se han considerado basados en la producción de los Estados Unidos, ya que cerca del 75% de las exportaciones se ven influenciadas por esta demanda. 35% por vía directa, y el resto a través de la influencia que ejerce Estados Unidos en el mercado de América Latina. La demanda interna relevante para las importaciones la hemos aproximado al PIB nacional.

E. Curva de Phillips (y ecuación del desempleo)

Si tomamos el ejemplo de Romer (1996), es posible estructurar una relación de curva de Phillips con agentes racionales en problemas similares al planteado en la ecuación (10). Partiendo de la restricción del problema del consumidor, y asumiendo una riqueza invariable, obtenemos la siguiente condición de primer orden, ecuación (11):

$$-\frac{U_n}{U_c} = w_t$$

reemplazando el salario real por la expresión derivada sin considerar los precios del consumo como *numeraire*, obtenemos para cada individuo:

$$-\frac{U_n}{U_c} = \frac{w_t}{p_t}$$

Si el consumo debe igualar a los ingresos en cada momento del tiempo (consistente con un nivel de riqueza inalterado a lo largo de la vida), la restricción del individuo se convierte en:

$$c_t = \frac{w_t n_t}{p_t}$$

Con el fin de obtener una solución cerrada, debemos suponer una forma particular de la función de utilidad del individuo. En el presente caso consideramos una función de la forma:

$$\begin{aligned} U\{c_t, n_t\} &= c_t - \frac{n_t^\gamma}{\gamma} \\ &= \frac{w_t n_t}{p_t} - \frac{n_t^\gamma}{\gamma} \end{aligned} \quad (19)$$

donde la segunda igualdad proviene de sustituir la restricción presupuestal en la función objetivo. Tomando la condición de primer orden respecto al trabajo obtenemos:

$$n_t = \left(\frac{w_t}{p_t} \right)^{1/(\gamma-1)}$$

Si consideramos que los salarios materializan las expectativas de precios de los agentes: $w_t = E_{t-1} p_t$, de la misma forma que un sistema de indexación, la ecuación anterior equivale a:

$$\text{Log}(n_t) = \frac{1}{(\gamma-1)} [\text{Log}(E_{t-1} p_t) - \text{Log}(p_t)] \quad (20)$$

Esta sustitución se relaciona directamente con la posibilidad de rigideces de precios analizadas en McCallum (1989), es decir, con la fijación *in advance* de condiciones de mercado laboral. En esta dirección, la ecuación (20) representa un esquema de mercado laboral en el cual el salario nominal se fija de forma que iguale la demanda y la oferta laboral esperada. Un mecanismo alternativo para fundamentar la relación anterior se basa en una modificación a la restricción presupuestal del individuo. Si suponemos que la restricción es de la forma:

$$c_{i,t} = \frac{P_{i,t} Y_{i,t}}{p_t}$$

podemos asegurar que los ingresos propios, dados por el producto, se han deflactado por el nivel general de precios. Resolviendo el problema para la especificación anterior, observamos:

$$\text{Log}(y_{i,t}) = \frac{1}{(\gamma-1)} [\text{Log}(p_{i,t}) - \text{Log}(p_t)] \quad (21)$$

la cual es equivalente a la expresión (20), con modificaciones en la especificación de precios; de forma que la oferta es creciente en el precio relativo del producto a manera de "islas". La evidencia de Lucas (1973) que sustenta la especificación anterior permite expresar que la curva de Phillips se relaciona con perturbaciones no observables sobre el nivel relativo de precios. La introducción de no neutralidades bajo los dos esquemas anteriores conduce a que la dicotomía clásica entre variables reales y nominales se rompa, es decir, existe la posibilidad que fenómenos nominales modifiquen temporalmente las variables reales.

A pesar de que la curva de Phillips permite explicar las fluctuaciones de corto plazo en la tasa de desempleo, la evolución de la tasa "natural" o del desempleo estructural de la economía colombiana no es posible analizarla con este marco; en el largo plazo, los movimientos en esta tasa son independientes de las fluctuaciones nominales. Para capturar la evolución de la tasa de desempleo, hemos seguido una aproximación sencilla de condiciones de equilibrio en mercados laborales sobre la demanda y oferta de trabajo. La especificación es similar al problema de acumulación de capital, la firma debe resolver el siguiente programa:

$$\text{Max}_{\{n_t\}} E_t \sum_{t=0}^{\infty} (1+r)^{-t} \{ \Pi(n_t) - C(h_t) \} \quad (22)$$

sujeta a: $n_{t+1} = (1-\sigma)n_t + h_{t+1}$

donde h representa las nuevas contrataciones, y n el número de trabajadores de la firma. σ representa la tasa de despidos o de salidas de la firma; por esta razón, la firma debe descontar la función objetivo por la probabilidad que los trabajadores abandonen el puesto de trabajo. De acuerdo con la restricción, la tasa de pleno empleo de la economía viene dada por:

$$n^* = \frac{1}{\sigma} h^* \quad (23)$$

Para esta economía, la tasa de desempleo (normalizando el tamaño de la población) es:

$$u_t = \frac{1 - n_t}{n_t}$$

de forma que la tasa natural de desempleo relaciona el número de entradas y salidas exógenas de la fuerza laboral y el número estacionario de contrataciones o despidos:

$$u^* = \frac{\sigma - h^*}{h^*} \quad (24)$$

Con el fin de determinar las variables que ocasionan movimientos en la tasa de desempleo, es necesario que resolvamos el problema de la firma para asociar las decisiones de contratación con asignaciones óptimas. Dentro del problema de la firma, C hace referencia a los costos de contratación en que incurre la firma, por simplicidad hemos supuesto costos de ajuste cuadráticos de la forma:

$$C(h_t) = \frac{\gamma}{2} h_t^2$$

Si introducimos la variable λ_t como el multiplicador de Lagrange asociado a la restricción de evolución del trabajo en el período t , obtenemos como solución del problema:

$$\lambda_t = C_{h,t} = \gamma h_t \quad (25)$$

$$\lambda_t = \left(\frac{1 - \sigma}{1 + r} \right) E_t \lambda_{t+1} - (\Pi_n - C_n) = - \sum_{t=0}^{\infty} \left(\frac{1 - \sigma}{1 + r} \right)^t (\Pi_{n,t} - C_{n,t})$$

de acuerdo con la representación anterior, la valoración del trabajador (con fines de contratación o despido) se hace con base en el valor presente de la productividad neta. Si renombramos la productividad neta como μ , y asumimos que sigue un proceso AR(1), la ecuación de movimiento del multiplicador (y las contrataciones) es:

$$\lambda_t = - \sum_{i=0}^{\infty} \left(\frac{1-\sigma}{1+r} \rho \right)^i \mu_t = - \frac{(1+r)\mu_t}{1+r-\rho(1-\sigma)}$$

Combinando las expresiones anteriores obtenemos la tasa natural de desempleo de la siguiente forma:

$$u^* = \frac{\gamma\rho\sigma(1-\sigma)}{(1+r)\mu} - \frac{\gamma\sigma + \mu}{\mu} \quad (26)$$

donde podemos apreciar la presencia de factores de demanda dados por la productividad laboral (con efectos positivos en la tasa natural) y la productividad del capital (relacionada con la tasa de interés), así como factores de oferta asociados negativamente a la tasa de entrada y positivamente a la salida del mercado (o tasa de participación). Por otro lado, los factores institucionales representados por los costos de ajuste muestran efectos negativos, incrementando la tasa natural de desempleo.

Estos factores de largo plazo, junto a la especificación de la curva de Phillips permiten describir el comportamiento de la tasa de desempleo analizada en el presente modelo; tal y como lo resumimos en la especificación de las ecuaciones a estimar.

F. Ecuación de precios, demanda de dinero e ingresos del sector público

La ecuación de precios corresponde a la especificación de un índice de precios derivado del problema del consumidor cuando considera bienes de consumo heterogéneos y aplica el teorema del bien compuesto. Si asumimos una decisión de consumo basada en "etapas" (similar a las especificaciones tipo Armington) podemos determinar un nivel de consumo para cada período, consistente con el problema (10) y asignar la distribución del consumo de acuerdo con los niveles de precios relativos. Supongamos que el consumidor decide asignar un bien compuesto por bienes domésticos (d) y productos importados (*). En este caso, la función de utilidad instantánea puede ser escrita como un índice compuesto de los dos tipos de bienes:

$$U\{c_t\} = [c_t^d]^\theta [c_t^*]^{(1-\theta)}$$

con una restricción de la forma (e_t representa la tasa de cambio nominal):

$$p_t^d c_t^d + e_t p_t^* c_t^* = p_t c_t$$

En este caso, la condición de primer orden intertemporal iguala la utilidad marginal del consumo al precio sombra de la restricción, y asigna el consumo intratemporalmente de acuerdo con la tasa marginal de sustitución entre los diferentes bienes. Usando esta condición, obtenemos una definición apropiada del índice de precios del consumidor [de acuerdo con Deaton y Muellbauer, (1986)]:

$$p_t = [p_t^d]^\theta [e_t]^{(1-\theta)} \quad (27)$$

La solución al programa del consumidor es:

$$c_t^d = \theta \frac{p_t c_t}{p_t^d}$$

$$c_t^* = (1-\theta) \frac{p_t c_t}{e_t}$$

Si ampliamos la especificación de la canasta doméstica de bienes sobre los cuales escoge el consumidor, es posible incorporar bienes domésticos manufacturados y no manufacturados. En este caso, el índice de precios adecuado sería:

$$p_t = [\{p_t^{d,m}\}^\phi \{p_t^{d,n}\}^{(1-\phi)}]^\theta [e_t]^{(1-\theta)}$$

$$= [\{p_t^{d,m}\}^\phi \{w_t\}^{(1-\phi)}]^\theta [e_t]^{(1-\theta)} \quad (28)$$

ya que hemos aproximado el precio de los bienes no manufacturados mediante el costo salarial. En este sentido, el nivel de precios es una combinación de los precios de los bienes importados (medidos a través de la tasa de cambio nominal), de los bienes domésticos no manufacturados (aproximados mediante el salario nominal¹¹) y los precios domésticos de bienes manufacturados (medidos por el índice de precios al productor de bienes producidos y consumidos).

Por otro lado, la especificación de la demanda de dinero corresponde a una formulación basada en ecuaciones tradicionales que asocian los saldos reales con las transacciones reales y la tasa de interés nominal. La definición de las transacciones reales se ha tomado de acuerdo con una formulación de dinero en la función de utilidad, ya que las transacciones relacionadas corresponden a la demanda de consumo e inversión privada en nuestra estimación.

Para establecer los fundamentos analíticos, hemos partido de la demanda de dinero como “ahorradora” de tiempo, de forma que permita realizar un mayor número de transacciones y por lo tanto realizar mayor ocio. En este sentido, los saldos reales entran en la función de utilidad instantánea, de forma que el problema de consumidor es:

$$\text{Max}_{\{c_t, m_t/p_t\}} E_t \sum_{t=0}^{\infty} (1+\theta)^{-t} U\{c_t, m_t/p_t\} \quad (29)$$

$$\text{sujeto a: } -\frac{m_{-1}}{p_0} + \sum_{t=0}^{\infty} (1+r)^{-t} \left\{ \left(\frac{r_{t+1}}{1+r_{t+1}} \right) \frac{m_t}{p_t} + c_t - w_t n_t \right\} = W_t$$

11. Esta especificación equivale a una fijación de precios a través de *mark-up*, el cual no hemos considerado en el presente documento.

La condición de primer orden derivada del problema anterior es:

$$\frac{U_{m/p}}{U_c} = \frac{r_{t+1}}{1+r_{t+1}}$$

Si tomamos una función de preferencias logarítmicas obtenemos la forma cerrada de la demanda de dinero:

$$\begin{aligned} \text{Log}\left(\frac{m_t}{p_t}\right) &= \text{Log}\left(\frac{1+r_{t+1}}{r_{t+1}}\right) + \text{Log}(c_t) = \text{Log}\left(1 + \frac{1}{r_{t+1}}\right) + \text{Log}(c_t) \\ &\approx \frac{1}{r_{t+1}} + \text{Log}(c_t) \end{aligned} \quad (30)$$

En el presente ejercicio, la demanda de dinero se asocia al gasto total de la economía. Por último, debido a que en ocasiones hemos endogeneizado las decisiones del gobierno mediante un problema similar al del consumidor, ecuación (10), debemos “modelar” el comportamiento de los ingresos tributarios. Como determinante de los ingresos hemos considerado las tasas de tributación de renta, iva y aranceles, con una base única dada por el PIB de la economía. También hemos incluido variables de intervención para controlar los efectos originados por las reformas tributarias.

IV. ESTRUCTURA ECONOMETRICA Y ESTIMACIÓN

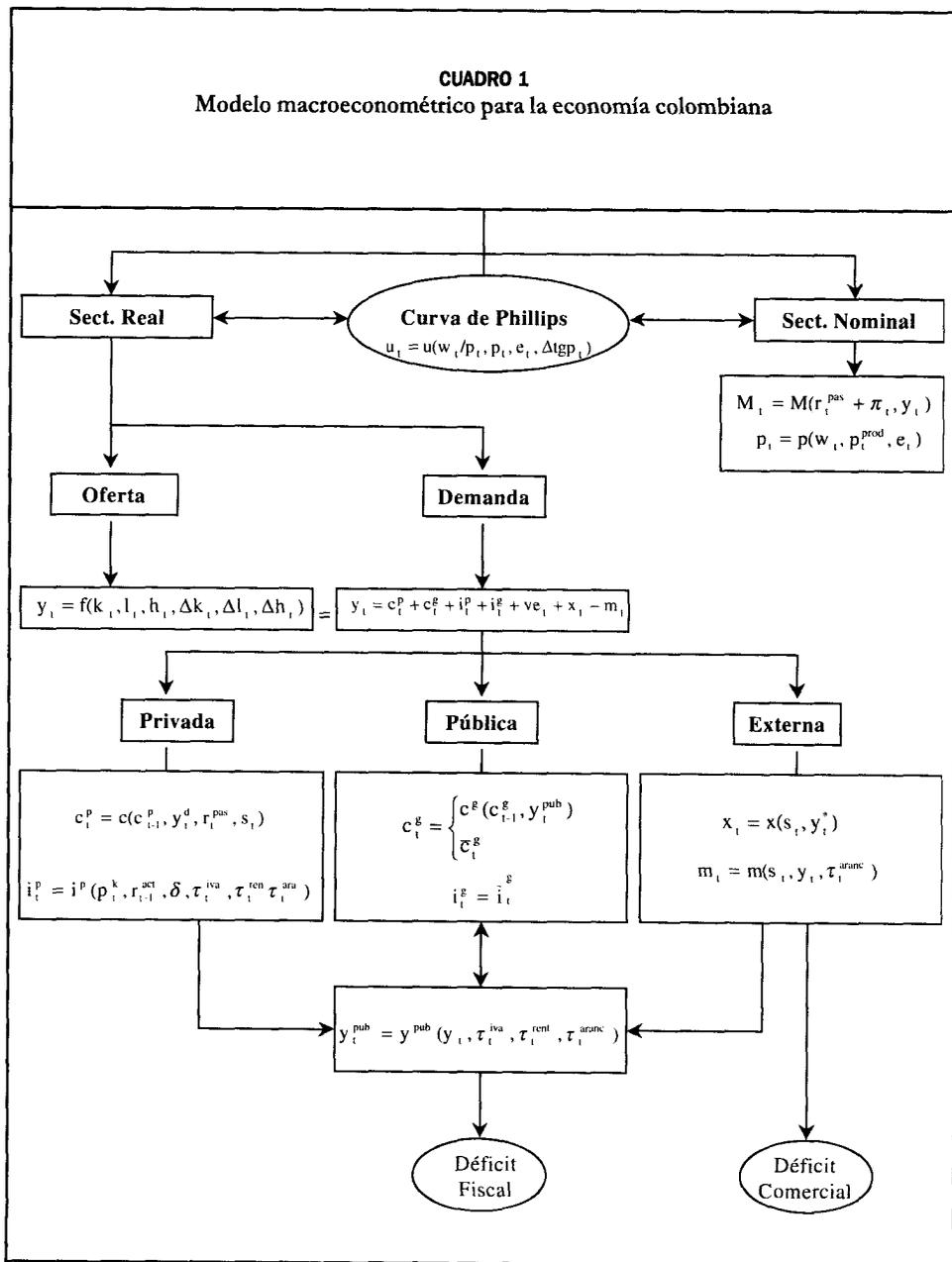
En esta sección presentamos la representación econométrica de cada una de las ecuaciones estocásticas que conforman el modelo, para hacer un análisis del proceso de identificación de este tipo de sistemas lineales de ecuaciones simultáneas. Finalmente, desarrollamos pruebas de estabilidad de los parámetros estimados. Una versión resumida del modelo se encuentra en el Cuadro 1 (página siguiente).

A. Especificación econométrica de las relaciones de comportamiento y fuentes de información

Entre las decisiones consideradas antes de realizar la estimación del modelo es necesario determinar la calidad, periodicidad y continuidad de la información empleada. Adicionalmente debemos tener en cuenta el problema de la estacionalidad¹² en los datos trimestrales como distorsión al desempeño real de la economía. Como consecuencia de lo anterior, en la mayoría de los casos, los patrones estacionales se eliminan de los datos a través de metodologías tradicionales como la Census-X11 o

12 Una de las posibles definiciones podemos tomarla de Hylleberg (1986). La estacionalidad es el movimiento intranual de carácter sistemático, aunque no necesariamente regular, causado por cambios climáticos, festividades, prácticas de negocios y expectativas, que da lugar a picos alrededor de la frecuencia espectral y a los correspondientes movimientos armónicos. En Birchenall (1996) se desarrolla una discusión sobre este problema en los datos colombianos a partir de estimaciones de espectros.

CUADRO 1
Modelo macroeconómico para la economía colombiana



(Continúa)

A) Variables endógenas

- y = Producto Interno Bruto a precios constantes.
 l = Tasa de empleo.
 c^p = Consumo privado *per cápita* a precios constantes.
 I^p = Razón inversión privada total a PIB a precios constantes.
 c^g = Consumo del sector público a precios constantes.
 y^d = Ingreso disponible de los hogares a precios constantes.
 x = Exportaciones totales a precios constantes.
 m = Importaciones totales a precios constantes.
 y^{pub} = Ingresos totales del sector público a precios constantes.
 p = Índice de precios al consumidor base Dic75=100
 M = M1 a precios corrientes.
 r^i = Tasa de interés real (pasiva o activa, respectivamente).
 u = Tasa de desempleo.

B) Variables exógenas

- pob = Población total en millones.
 h = Horas promedio trabajadas por obrero.
 k = Consumo industrial de energía eléctrica.
 e = Tasa de cambio nominal.
 s = Índice de la tasa de cambio real base Dic86 = 100.
 p^k = Precio de los bienes de capital.
 y^* = Demanda externa (PIB de EE.UU. a precios constantes)
 w = Salarios nominales.
 w/p = Salarios reales.
 π = Inflación del índice de precios al consumidor
 i^g = Inversión pública a precios constantes
 p^{prod} = Índice de precios al productor base Dic75 = 100.
 p^{fbk} = IPP de bienes de capital fijo base Dic75 = 100.
 τ^{iva} = Tipo impositivo del impuesto al valor agregado.
 τ^{renta} = Tipo impositivo del impuesto a la renta.
 τ^{aranc} = Arancel nominal a las importaciones.
 δ = Tasa de depreciación.
 tgp = Tasa global de participación.
 ve = Variación de existencias a precios constantes.

las *dummies* estacionales; sin embargo [de acuerdo con Thomas y Wallis (1971)], estos métodos de corrección eliminan tanto los patrones de estacionalidad como información relevante.

Recientemente, ha sido claro el hecho de tratar de incorporar los patrones de estacionalidad como una característica intrínseca de los modelos trimestrales, ya que [de acuerdo con Harvey (1990), y Granger y Newbold (1986)] los agentes observan y responden racionalmente a las variaciones no ajustadas por estacionalidad. Lo anterior implica que en el proceso de estimación, esta característica de las series debe incorporarse mediante el empleo de variables dicotómicas. Adicionalmente, debido a los problemas econométricos tradicionales, hemos incluido en varias ecuaciones *dummies* que recojan procesos de intervención determinados por fenómenos particulares. Estos fenómenos, así como la racionalidad de cada ecuación de acuerdo con la información estadística empleada, se presentan después de cada ecuación.

1. Función de producción

La especificación de la función de producción es:

$$y_t = \alpha_0 + (\alpha_1 l_t + \alpha_2 n_t) + \alpha_3 h_t + \alpha_4 k_t + \alpha_5 (n_t - n_{t-1}) + \alpha_6 (h_t - h_{t-1}) + \alpha_7 (k_t - k_{t-1}) + \alpha_8 dy_t + \varepsilon_{1,t}$$

Los datos de población y empleo¹³ corresponden a la Encuesta Nacional de Hogares trimestral del DANE, y se relacionan con la información de población total y la tasa de empleo en siete ciudades¹⁴ (Santafé de Bogotá D.C., Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Manizales, Pasto). El consumo industrial de energía eléctrica corresponde al empalme de la serie que publica el Banco de la República hasta diciembre de 1987 con la calculada por ISA desde 1988¹⁵. Esta serie se expresó como índice con base 1975 igual a 100. Por otra parte, tomamos la información de horas promedio trabajadas por obrero de la muestra mensual manufacturera para el total de la industria sin trilla de café. Sin embargo, dado que antes de 1990 esta

13 La inclusión de las horas trabajadas supone que las horas y los trabajadores entran separadamente a la función de producción. Sin embargo, Sargent (1978) y Meese (1980) asumen que tanto el número de trabajadores como las horas deben entrar multiplicativamente en la función de producción. Meese afirma que las firmas elaboran decisiones sobre el total de horas hombre en vez de escoger separadamente el número de trabajadores y las horas trabajadas por cada uno de ellos; mientras que Sargent distingue entre horas ordinarias y horas extras. Otros autores además de Shapiro (1986), tales como Fair (1969), Nadiri y Rosen (1969), y Bermanke (1986), sostienen que las horas y el empleo no deben entrar multiplicativamente en la función de producción; ya que los trabajadores y las horas tienen costos marginales diferentes. Adicionar una hora al promedio de las trabajadas por obrero sólo implica un *premium* sobre la remuneración ordinaria, mientras que la introducción de un nuevo obrero incluye unos costos salariales predeterminados.

14 En aquellas encuestas que se realizaron para cuatro ciudades, se aplicó el factor de expansión de población vigente.

15 Dado que la serie del Banco de la República sólo incluye las cuatro principales ciudades del país, y la de ISA cubre la totalidad del territorio colombiano, se aplicó un factor de expansión a la primera, con el fin de garantizar la calidad de la serie.

información no se publicaba en los boletines mensuales, se calculó implícitamente mediante la división del índice de salario nominal mensual por obrero sobre el índice de salario por hora-hombre trabajada. Adicionalmente, debemos resaltar que en esta ecuación no fue necesario emplear variables dicotómicas para corregir la estacionalidad, ya que la variable horas trabajadas, explica en gran parte el comportamiento estacional del PIB. Esto se debe a que las firmas emplean con mayor intensidad a sus empleados en turnos adicionales con el fin de satisfacer la totalidad de los pedidos de fin de año, lo cual es consistente con el programa de maximización que planteamos anteriormente.

Por último, la inclusión de la *dummy* dy_t se justifica por la necesidad de considerar intervenciones de política económica entre el primer trimestre de 1988 y el cuarto trimestre de 1991. Este hecho puede explicarse por las condiciones especiales que vivía la economía colombiana en este período, que puede calificarse como transición hacia la liberalización comercial.

2. Consumo privado

$$c_t^p = \sum_{i=1}^4 \beta_i d_i + \beta_5 c_{t-1}^p + \left(\sum_{i=1}^3 \beta_{5+i} (y_{t-i}^d - y_{t-1}^d) + \beta_9 y_{t-2}^d \right) + \beta_{10} [(1 + r_{t-1}^{pas}) / (1 + \pi_{t-1})] + \beta_{11} s_t + \sum_{i=1}^4 \beta_{11+i} dc_i + \varepsilon_{2,t}$$

La especificación escogida para explicar el comportamiento del consumo agregado de los hogares, corresponde a una estructura econométrica asintóticamente válida para tener en cuenta el problema del exceso de sensibilidad del consumo¹⁶, desarrollada por Stock y West (1988), tal como analizamos en la tercera sección del documento. Los datos de consumo agregado de los hogares se tomaron de Valderrama (1997). El ingreso disponible de los hogares se calculó con la metodología de Sánchez y Núñez (1998), que descuenta al ingreso de cuentas nacionales el factor de tributación sobre los salarios. Por su parte, la tasa de interés pasiva está medida en términos reales, mientras que el índice de la tasa de cambio real corresponde al calculado por el Banco de la República mediante la inflación de IPP con base diciembre de 1986 igual a 100.

El primer grupo de *dummies*, representa el método de corrección de estacionalidad, y el último resulta de la necesidad de explicar un comportamiento especial de los datos a partir del primer trimestre de 1995. Este hecho consiste en un cambio inesperado en el patrón de estacionalidad del consumo agregado, pues cuando normalmente se ubica en el cuarto trimestre (explicado por la temporada de fin de año), a partir de ese año se desplaza al primer trimestre.

16 En lo relacionado con el exceso de sensibilidad, valores de β_{5+i} estadísticamente significativos implican un exceso de sensibilidad del consumo a cambios en el ingreso.

3. Inversión privada

$$i_t^p = \sum_{i=1}^4 \phi_i d_i + \left(\phi_5 (p_t^k / ipp_t^{bk}) + \phi_6 \log[(1 + \tau^{iva} + \tau^{aranc_{bk}}) / (1 - \tau^{renta})] + \phi_7 (1 + r_{t-1}^{act} + \delta) \right) \\ + \phi_8 i_{t-1}^p + \phi_9 (p_t^k - p_{t-4}^k) + \phi_{10} (y_{t-1} - y_{t-2}) + \phi_{11} di^{apertura} + \phi_{12} di^{97-IV} + \epsilon_{3,t}$$

Para considerar la tasa de inversión privada al PIB empleamos la formulación desarrollada anteriormente mediante dos componentes: el costo del capital y la productividad. El primero, se ha descompuesto en los factores determinantes del costo de uso del capital. El precio relativo de los bienes de capital está compuesto del precio de los bienes de capital (nominal) que se aproxima mediante la utilización del índice de precios de maquinaria y equipo en Estados Unidos¹⁷, multiplicado por el índice de tasa de cambio nominal con base 100 en diciembre de 1975 deflactado por el IPP bienes de capital fijo con base 1975 (según la clasificación del IPP por uso y destino).

Adicionalmente, hemos reconocido que el gobierno recauda ingresos a partir de tres tipos de impuestos que afectan directamente la inversión: el impuesto a la renta, al valor agregado y a las importaciones. El primero de ellos afecta las ganancias de la firma, mientras que los indirectos afectan el costo de los bienes de capital. De este punto podemos derivar, según Cárdenas y Olivera (1995) un factor tributario igual a:

$$f_t^{trib} = \frac{(1 + \tau^{iva} + \tau^{aranc_{bk}})}{(1 - \tau^{renta})}$$

El segundo componente del costo de uso del capital es el retorno neto de ganancias de capital. Por esta razón, la tasa de interés activa nominal no debe deflactarse por la variación anual del índice de precios al consumidor, sino por la variación anual del precio de los bienes de capital incluyendo la tasa de depreciación trimestral (que asumimos constante e igual a 4% anual, por tratarse de una vida útil de 25 años). Debemos aclarar que en la especificación de la inversión no hemos incluido la tasa de interés "real" directamente, sino a través de la tasa activa nominal y la inflación de bienes de capital. Por otra parte, para aproximar el componente de productividad empleamos la tasa de crecimiento del PIB real.

La variable $d^{apertura}$ recoge los efectos del auge de la inversión que se presentó entre el segundo trimestre de 1992 y el cuarto trimestre de 1995, mientras que d^{97-IV} explica la expansión¹⁸ de la inversión que se gestó desde el segundo semestre de 1997 y se extendió hasta comienzos de 1998.

17 La fuente es el renglón 63bb de las Estadísticas Financieras Internacionales del Fondo Monetario Internacional.

18 La inversión pasó de crecer a tasas negativas o cercanas a cero en los tres primeros trimestres del año, a niveles que bordearon el 21% en el cuarto trimestre y el 38% en el primero del siguiente año.

4. Exportaciones

$$x_t = \sum_{i=1}^4 \varphi_i d_i + \varphi_5 y_t^* + \varphi_6 s_t + \sum_{i=1}^4 \varphi_{6+i} x_{t-i} + \varphi_{11} dx_1 + \varphi_{12} dx_2 + \varepsilon_{4,t}$$

Como *proxy* de la demanda mundial tomamos el PIB de Estados Unidos, a precios constantes de 1990, por las razones que mencionamos anteriormente. La tasa de cambio real empleada es idéntica a la utilizada en la función consumo. La variable dx_1 , está justificada por el “salto” de las exportaciones en el primer trimestre de 1994, y dx_2 por la inestabilidad de la demanda de exportaciones en los años noventa.

5. Importaciones

$$m_t = \sum_{i=1}^4 \gamma_i d_i + \gamma_5 s_t + \gamma_6 y_t + \gamma_7 \text{Log}(\tau_t^{\text{aranc}}) + \sum_{i=1}^2 \gamma_{7+i} m_{t-i} + \gamma_{10} dm_1 + \varepsilon_{5,t}$$

El arancel que se emplea en la ecuación de importaciones corresponde al arancel promedio nominal total de las importaciones publicado por el DANE. dm_1 busca explicar una anomalía en el comportamiento de los datos de importaciones en el primer trimestre de 1985.

6. Curva de Phillips y desempleo

$$u_t = \sum_{i=1}^4 \theta_i d_i + \theta_5 [(w_t - p_t) - (w_{t-4} - p_{t-4})] + \theta_6 (p_t - p_{t-4}) + \theta_7 (e_t - e_{t-4}) \\ + \theta_8 (\text{tg } p_t - \text{tg } p_{t-4}) + \sum_{i=1}^4 \theta_{8+i} u_{t-i} + \varepsilon_{6,t}$$

Para medir el salario real empleamos el índice de salarios reales (de obreros y empleados) para el total de la industria sin trilla de café. A pesar de las diferentes bases que ha tenido el índice, se empalmó para unificar la base 100 en diciembre de 1990. Como medida de precios se utilizó el índice de precios al consumidor. Tanto el IPC como la tasa de cambio nominal se encuentran expresados como índice con base 100 en diciembre de 1975.

Por último, la tasa global de participación se obtiene de la Encuesta de Hogares que realiza el DANE, tomando como base el total de siete ciudades.

18 La inversión pasó de crecer a tasas negativas o cercanas a cero en los tres primeros trimestres del año, a niveles que bordearon el 21% en el cuarto trimestre y el 38% en el primero del siguiente año.

7. Ecuación de precios

$$\pi_t = p_t - p_{t-4} = \lambda_1 + \lambda_2(w_t - w_{t-4}) + \lambda_3(p_t^{\text{prod}} - p_{t-4}^{\text{prod}}) + \lambda_4(e_t - e_{t-4}) + \lambda_5 dp_1 + \varepsilon_{7,t}$$

En la ecuación de precios, los salarios nominales se derivan del índice de salario nominal de la Muestra Mensual Manufacturera para el total de industria sin trilla de café. Así mismo, p^{prod} corresponde al IPP de bienes consumidos y producidos según la clasificación uso y destino. La variable *dummy* dp_1 , está justificada por razones de estabilidad discutidas más adelante.

8. Demanda de dinero

$$\text{Log}\left(\frac{M_t}{P_t}\right) = \sum_{i=1}^4 \omega_i d_i + \omega_5(1 + r_t^{\text{pas}}) + \omega_6 y_t + \omega_7 \text{Log}\left(\frac{M_{t-1}}{P_{t-1}}\right) + \varepsilon_{8,t}$$

Los saldos reales parten de M1 deflactado por el IPC, la demanda agregada considera el PIB real, y la tasa de interés pasiva (costo de oportunidad) expresada en términos nominales.

9. Ingresos del sector público

$$y_t^{\text{pub}} = \sum_{i=1}^4 \psi_i d_i + \psi_5 y_t + \sum_{i=1}^4 \psi_{5+i} y_{t-i}^{\text{pub}} + \sum_{i=1}^2 \psi_{9+i} dyp_i + \varepsilon_{9,t}$$

Por restricciones de la información disponible, los ingresos del sector público se aproximaron mediante los ingresos del Gobierno Nacional Central deflactados por el IPC, ya que para el SPNF no existen series trimestrales previas a 1988. Las variables dyp representan, respectivamente, las reformas tributarias de 1986 y 1991.

10. Consumo público e inversión pública

$$c_t^g = \begin{cases} \sum_{i=1}^4 \vartheta_i d_i + \vartheta_5 c_{t-1}^g + \left(\sum_{i=1}^3 \vartheta_{5+i} (y_{t-i+1}^{\text{pub}} - y_{t-i}^{\text{pub}}) + \vartheta_9 y_{t-2}^{\text{pub}} \right) + \varepsilon_{10,t} ; & i_t^g = \bar{i}_t^g \\ \bar{c}_t^g \end{cases}$$

Como mencionamos en el marco analítico, el consumo público trimestral a precios constantes de 1975 se especificó de forma similar al consumo de los hogares. No obstante, por dificultades de información, nuevamente relacionamos el consumo del SPNF (medido en Cuentas Nacionales) con los ingresos reales del Gobierno Central¹⁹.

19 El factor de expansión entre ambas series a partir de 1988 permanece aproximadamente estable.

11. Identidades

Una vez especificado el modelo a estimar, hemos incluido en la solución tres identidades. La primera se relaciona con la demanda agregada, la segunda con una aproximación a la relación existente entre la tasa de desempleo y la tasa de empleo, y la tercera la relación existente entre la producción agregada y el ingreso disponible de los hogares. Debido a que esta condición tan sólo afecta la solución del modelo, no interviene en la estimación o identificación.

B. Identificación del modelo

Con el fin de derivar los parámetros estructurales de la forma reducida y estimar el sistema completo en un modelo de ecuaciones simultáneas, es necesario contar con un criterio de identificación basado en argumentos teóricos claros para cada ecuación involucrada. Como señala Hamilton (1994), en la mayor parte de los modelos macroeconómicos, los parámetros estructurales están identificados mediante la imposición de restricciones *a priori* de diverso orden:

1. Normalización o restricciones que igualan a cero varios parámetros del sistema, con el fin de obtener ecuaciones de estimación explícitas.
2. Restricciones en el orden de autocorrelación serial o ausencia de correlación serial cruzada del término de innovación a través de matriz de covarianzas de las innovaciones.
3. Clasificación previa de variables como endógenas y exógenas.

En el proceso de identificación de cada ecuación estructural mediante restricciones del primer tipo, es necesaria una gran cantidad de información, de forma que sea posible definir con certeza las variables excluidas del lado derecho de la ecuación. De igual manera, el segundo mecanismo de identificación carece de fundamentos teóricos, ya que no es posible establecer criterios de selección únicos de las innovaciones del sistema. Por último, la caracterización de exogeneidad de un conjunto de variables puede hacerse con base en argumentos de exclusión econométrica desarrollados por Granger, sin embargo, en un sistema de más de 10 ecuaciones y 20 variables, las posibles combinaciones de pruebas serían extremadamente grandes. El principal criterio que hemos empleado en la formulación de cada variable se basa directamente en la asociación existente entre el sistema estimado y los desarrollos analíticos de la tercera sección.

Debido a que el problema de la identificación se resume en la existencia de ecuaciones estructurales a partir de la forma reducida del modelo, debemos tener en cuenta que la identificación se realiza para cada ecuación del sistema, y se infiere el criterio de identificación para el sistema. En definitiva, una ecuación no está identificada, si no existe forma de estimar todos los parámetros estructurales de la forma reducida, y una ecuación está identificada si es posible obtener los valores de sus parámetros a partir de la ecuación de la forma reducida del sistema. Cuando una ecuación está exactamente identificada existe un único valor de los parámetros

obtenidos. Si es posible obtener más de un parámetro estructural desde la forma reducida, es porque la ecuación está sobreidentificada.

Las condiciones de orden para la identificación se basan en:

L = número de variables endógenas de un modelo

ℓ = número de variables endógenas en una ecuación dada

K = número de variables predeterminadas en el modelo

k = número de variables predeterminadas en una ecuación dada.

Para que una ecuación esté identificada, el número de variables predeterminadas excluidas en dicha ecuación debe ser mayor o igual al número de variables endógenas incluidas menos uno. La lista de variables endógenas debe contener tanto variables al lado derecho como al lado izquierdo de la ecuación. En otras palabras, la condición necesaria (mas no suficiente) para que una ecuación esté identificada es:

$$K - k = \ell - 1$$

Como podemos observar, la identificación de una ecuación en un modelo implica que dicha ecuación debe excluir una o más variables que estén presentes en la identificación del modelo. Este criterio de exclusión se determina *a priori*, ya que se halla ampliamente justificado por la argumentación teórica.

Al aplicar esta condición en el modelo, obtenemos que todas las ecuaciones que lo conforman están sobreidentificadas. Esto implica que estamos imponiendo demasiadas restricciones sobre una función, al establecer que debemos excluir más variables de las necesarias para identificarla. Sin embargo, existen métodos de estimación que minimizan los efectos de este hecho sobre la calidad de los parámetros de la regresión.

Adicional al punto anterior, en un modelo de L ecuaciones con L variables endógenas, una ecuación está identificada si y sólo si es posible construir por lo menos un determinante diferente de cero de orden $(L-1)$ $(L-1)$, a partir de los coeficientes de las variables (endógenas y predeterminadas) excluidas de esa ecuación, pero incluidas en las restantes ecuaciones del modelo. Esto implica que tanto la matriz $L \times L$ de coeficientes de las variables endógenas, como la matriz de segundos momentos de las variables exógenas debe ser no singular (invertible). Este criterio se conoce como condición de rango.

Como podemos apreciar, la determinación de las condiciones de rango en modelos de gran escala demanda el cálculo de más de $L \times L$ determinantes, por lo que aplicamos condiciones alternativas de identificación basadas en la invertibilidad del sistema en forma reducida. Los resultados de los valores propios (no publicados) señalan invertibilidad y estabilidad (en la representación gráfica confirmamos el resultado anterior.

C. Estimación econométrica

Diversos métodos se han propuesto para estimar modelos econométricos de la forma presentada en las ecuaciones (1) a (5). En el presente documento hemos iniciado la estimación individual a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios a pesar de la presencia de sesgos en los coeficientes estimados al representar el sistema. Los resultados de la estimación señalan altos niveles de significancia tanto estadística como económica: las relaciones predichas mediante los fundamentos analíticos de la tercera sección se hallan respaldados por la evidencia empírica. Posteriormente involucramos métodos alternativos de acuerdo con los criterios de identificación.

Dentro de los métodos existentes, es importante destacar las diferencias entre ellos, así como las posibilidades de implementación de acuerdo con las condiciones de identificación desarrolladas anteriormente. En sistemas con ecuaciones exactamente identificadas, métodos de estimación de ecuaciones individuales permiten “regresar” a los parámetros estructurales desde la estimación. Entre estos métodos de ecuaciones individuales podemos encontrar: i) Mínimos Cuadrados Indirectos, ii) Variables Instrumentales y iii) Mínimos Cuadrados en dos etapas. En el momento de considerar métodos de estimación de sistemas podemos incluir FIML (*Full Information Maximum Likelihood*) o Mínimos Cuadrados en tres etapas. Si el sistema se halla sobreidentificado, como en nuestro caso, la estimación de Mínimos Cuadrados Indirectos no funciona. Las variables instrumentales arrojan coeficientes consistentes, pero desperdician información en comparación con Mínimos Cuadrados en dos etapas. Por estas razones es usual estimar el sistema de acuerdo con Mínimos Cuadrados en tres etapas o mediante FIML.

El mecanismo de FIML²⁰ por el cual estimamos el modelo anterior parte de la representación de ecuaciones (1) a (4), y considera que la función de densidad de probabilidad:

$$\text{pdf}(v_t) = (2\pi)^{-m/2} |\Sigma|^{-1/2} \exp\left(-\frac{1}{2} v_t' \Sigma^{-1} v_t\right) \quad (31)$$

de forma que la función de probabilidad muestral (bajo condiciones de ortogonalidad) es:

$$\begin{aligned} \text{pdf}(v_t)_{t=1}^T &= \prod_{t=1}^T \text{pdf}(v_t) \\ &= (2\pi)^{-Tm/2} |\Sigma|^{-T/2} \exp\left(\sum_{t=1}^T -\frac{1}{2} v_t' \Sigma^{-1} v_t\right) \end{aligned}$$

20 En un modelo sobreidentificado, frecuentemente FIML produce las estimaciones más eficientes.

CUADRO 2
Estimación con WLS

	Oferta	Ingresos del sector público	Demanda de dinero	Inflación	Curva de Phillips
α_0	5.899 (8.6031)	ψ_1 -3.055 (-2.013)	ω_1 0.689 (2.371)	λ_1 -0.017 (-0.932)	θ_1 -0.336 (-2.388)
α_1	0.988 (12.716)	ψ_2 -2.959 (-1.966)	ω_2 0.832 (2.871)	λ_2 0.351 (4.135)	θ_2 -0.395 (-2.844)
α_2	0.736 (6.299)	ψ_3 -2.943 (-1.941)	ω_3 0.778 (2.677)	λ_3 0.649 (11.040)	θ_3 -0.531 (-3.799)
α_3	0.523 (3.397)	ψ_4 -2.908 (-1.913)	ω_4 0.992 (3.404)	λ_4 0.009 (0.396)	θ_4 -0.482 (-3.366)
α_4	0.319 (7.923)	ψ_5 0.627 (2.222)	ω_5 -0.524 (-3.705)	λ_5 0.028 (5.709)	θ_5 -1.079 (-2.551)
α_5	-0.910 (-3.904)	ψ_6 0.197 (2.037)	ω_6 0.073 (1.431)		θ_6 -1.529 (-3.955)
α_6	-0.415 (-4.330)	ψ^7 -0.0275 (-0.270)	ω_7 0.762 (9.082)		θ_7 0.214 (2.053)
α_7	-0.123 (-2.165)	ψ_8 0.111 (1.152)			θ_8 1.288 (3.655)
α_8	-0.003 (-4.998)	ψ_9 0.263 (2.763)			θ_9 0.485 (4.147)
		ψ_{10} 0.398 (5.216)			θ_{10} 0.381 (3.037)
		ψ_{11} 0.321 (3.006)			θ_{11} -0.235 (-1.920)
					θ_{12} 0.038 (0.365)
R^2	0.991	R^2 0.898	R^2 0.943	R^2 0.773	R^2 0.899
DW	1.959	DW 1.958	DW 2.104	DW 0.730	DW 1.958
<i>estadístico t entre paréntesis</i>					

<i>Ecuaciones de Demanda</i>									
Consumo privado		Consumo público		Inversión privada		Exportaciones		Importaciones	
β_1	1.452 (2.650)	ϑ_1	-0.118 (-0.765)	ϕ_1	1.504 (2.026)	φ_1	-12.008 (-3.486)	γ_1	-2.468 (-1.598)
β_2	1.396 (2.549)	ϑ_2	-0.095 (-0.618)	ϕ_2	1.679 (2.273)	φ_2	-11.944 (-3.466)	γ_2	-2.388 (-1.550)
β_3	1.474 (2.705)	ϑ_3	-0.063 (-0.408)	ϕ_3	1.691 (2.286)	φ_3	-11.932 (-3.462)	γ_3	-2.338 (-1.511)
β_4	1.463 (2.671)	ϑ_4	-0.070 (-0.454)	ϕ_4	1.485 (2.000)	φ_4	-11.934 (-3.464)	γ_4	-2.447 (-1.582)
β_5	0.554 (6.803)	ϑ_5	0.907 (19.965)	ϕ_5	-0.466 (-3.960)	φ_5	1.057 (3.572)	γ_5	-0.465 (-3.050)
β_6	0.384 (4.587)	ϑ_6	0.031 (0.944)	ϕ_6	-0.431 (-2.142)	φ_6	0.120 (1.379)	γ_6	0.696 (2.885)
β_7	0.179 (1.988)	ϑ_7	0.027 (0.660)	ϕ_7	-0.961 (-2.046)	φ_7	0.375 (3.502)	γ_7	-0.289 (-5.342)
β_8	0.027 (0.308)	ϑ_8	-0.048 (-1.481)	ϕ_8	0.470 (6.020)	φ_8	-0.217 (-1.905)	γ_8	0.359 (3.781)
β_9	0.321 (4.947)	ϑ_9	0.101 (2.137)	ϕ_9	-0.097 (-0.666)	φ_9	0.093 (0.799)	γ_9	0.225 (2.379)
β_{10}	-0.130 (-2.551)			ϕ_{10}	1.212 (2.017)	φ_{10}	0.267 (2.721)	γ_{10}	-0.381 (-4.487)
β_{11}	-0.084 (-4.207)			ϕ_{11}	0.152 (4.141)	φ_{11}	0.134 (2.684)		
β_{12}	0.024 (2.242)			ϕ_{12}	0.256 (2.655)	φ_{12}	-0.191 (-2.930)		
β_{13}	0.051 (4.398)								
β_{14}	-0.047 (-3.555)								
β_{15}	-0.044 (-4.074)								
R ²	0.956	R ²	0.984	R ²	0.730	R ²	0.962	R ²	0.975
DW	2.181	DW	2.453	DW	2.221	DW	2.063	DW	2.107
<i>estadístico t entre paréntesis</i>									

CUADRO 3
Estimación con FIML

	Oferta	Ingresos del sector público	Demanda de dinero	Inflación	Curva de Phillips
α_0	5.899 (80.659)	ψ_1 -3.055 (-3.583)	ω_1 0.689 (2.770)	λ_1 -0.017 (-0.659)	θ_1 -0.336 (-1.812)
α_1	0.988 (10.280)	ψ_2 -2.959 (-3.315)	ω_2 0.832 (3.376)	λ_2 0.351 (3.637)	θ_2 -0.395 (-2.264)
α_2	0.736 (5.695)	ψ_3 -2.943 (-3.347)	ω_3 0.778 (3.110)	λ_3 0.649 (9.364)	θ_3 -0.531 (-2.943)
α_3	0.523 (27.635)	ψ_4 -2.908 (-3.296)	ω_4 0.992 (4.006)	λ_4 0.009 (0.353)	θ_4 -0.481 (-2.569)
α_4	0.319 (6.508)	ψ_5 0.627 (14.037)	ω_5 -0.524 (-3.886)	λ_5 0.027 (3.989)	θ_5 -1.079 (-1.501)
α_5	-0.911 (-3.893)	ψ_6 0.197 (1.690)	ω_6 0.073 (4.008)		θ_6 -1.529 (-2.243)
α_6	-0.415 (-4.940)	ψ_7 -0.027 (-0.268)	ω_7 0.762 (10.3452)		θ_7 0.214 (2.007)
α_7	-0.123 (-1.452)	ψ_8 0.111 (1.093)			θ_8 1.288 (2.121)
α_8	-0.003 (-4.215)	ψ_9 0.263 (2.830)			θ_9 0.485 (2.324)
		ψ_{10} 0.398 (0.126)			θ_{10} 0.381 (2.021)
		ψ_{11} -0.321 (-0.059)			θ_{11} -0.235 (-1.467)
					θ_{12} 0.038 (0.238)
R ²	0.991	R ² 0.898	R ² 0.943	R ² 0.773	R ² 0.899
DW	1.959	DW 1.958	DW 2.103	DW 0.730	DW 1.937
<i>estadístico t entre paréntesis</i>					

<i>Ecuaciones de Demanda</i>									
Consumo privado		Consumo público		Inversión privada		Exportaciones		Importaciones	
β_1	1.452 (10.128)	ϑ_1	-0.118 (-0.484)	ϕ_1	1.502 (1.417)	φ_1	-12.017 (-8.972)	γ_1	-2.469 (-2.705)
β_2	1.396 (9.742)	ϑ_2	-0.095 (-0.378)	ϕ_2	1.677 (1.586)	φ_2	-11.953 (-8.950)	γ_2	-2.387 (-2.663)
β_3	1.475 (10.243)	ϑ_3	-0.063 (-0.265)	ϕ_3	1.690 (1.578)	φ_3	-11.938 (-8.910)	γ_3	-2.336 (-2.603)
β_4	1.463 (10.104)	ϑ_4	-0.070 (-0.289)	ϕ_4	1.483 (1.402)	φ_4	-11.943 (-8.979)	γ_4	-2.446 (-2.694)
β_5	0.555 (3.155)	ϑ_5	0.907 (21.668)	ϕ_5	-0.466 (-2.727)	φ_5	1.056 (15.563)	γ_5	-0.465 (-4.608)
β_6	0.384 (3.147)	ϑ_6	0.030 (0.369)	ϕ_6	-0.432 (-1.488)	φ_6	0.121 (0.937)	γ_6	0.696 (19.666)
β_7	0.179 (1.353)	ϑ_7	0.027 (0.452)	ϕ_7	-0.959 (-1.643)	φ_7	0.375 (2.360)	γ_7	-0.292 (-3.138)
β_8	0.027 (0.204)	ϑ_8	-0.048 (-1.146)	ϕ_8	0.469 (5.115)	φ_8	-0.217 (-1.309)	γ_8	0.359 (2.647)
β_9	0.321 (9.805)	ϑ_9	0.101 (3.982)	ϕ_9	-0.094 (-0.561)	φ_9	0.093 (0.622)	γ_9	0.225 (1.783)
β_{10}	-0.129 (-2.396)			ϕ_{10}	1.208 (1.364)	φ_{10}	0.267 (2.231)	γ_{10}	-0.341 (-0.575)
β_{11}	-0.084 (-6.135)			ϕ_{11}	0.149 (3.535)	φ_{11}	0.139 (2.743)		
β_{12}	0.024 (2.827)			ϕ_{12}	0.267 (0.208)	φ_{12}	-0.210 (-1.721)		
β_{13}	0.051 (4.929)								
β_{14}	-0.048 (-2.286)								
β_{15}	-0.044 (-3.103)								
R^2	0.956	R^2	0.984	R^2	0.730	R^2	0.961	R^2	0.974
DW	2.179	DW	2.453	DW	2.224	DW	2.056	DW	2.104
<i>estadístico t entre paréntesis</i>									

CUADRO 4
Estimación con SUR

	Oferta	Ingresos del sector público	Demanda de dinero	Inflación	Curva de Phillips
α_0	5.852 (8.832)	ψ_1 -3.298 (-2.235)	ω_1 0.787 (2.792)	λ_1 -0.015 (-0.835)	θ_1 -0.291 (-2.163)
α_1	0.999 (13.550)	ψ_2 -3.229 (-2.206)	ω_2 0.9332 (3.316)	λ_2 0.342 (4.087)	θ_2 -0.353 (-2.659)
α_2	0.699 (6.257)	ψ_3 -3.175 (-2.153)	ω_3 0.877 (3.111)	λ_3 0.655 (11.282)	θ_3 -0.484 (-3.627)
α_3	0.534 (3.587)	ψ_4 -3.147 (-2.129)	ω_4 1.092 (3.862)	λ_4 0.004 (0.159)	θ_4 -0.435 (-3.189)
α_4	0.312 (8.132)	ψ_5 0.656 (2.404)	ω_5 -0.582 (-4.392)	λ_5 0.027 (5.652)	θ_5 -1.042 (-2.554)
α_5	-0.904 (-4.076)	ψ_6 0.180 (1.949)	ω_6 0.0642 (1.317)		θ_6 -1.596 (-4.315)
α_6	-0.421 (-4.499)	ψ_7 0.035 (0.359)	ω_7 0.767 (9.782)		θ_7 0.239 (2.400)
α_7	-0.114 (-2.133)	ψ_8 0.093 (1.010)			θ_8 1.174 (3.514)
α_8	-0.002 (-4.722)	ψ_9 0.224 (2.464)			θ_9 0.489 (4.410)
		ψ_{10} 0.3861 (5.281)			θ_{10} 0.362 (3.053)
		ψ_{11} -0.322 (-3.149)			θ_{11} -0.218 (-1.888)
					θ_{12} 0.052 (0.529)
R^2	0.991	R^2 0.896	R^2 0.943	R^2 0.773	R^2 0.899
DW	1.927	DW 1.938	DW 2.114	DW 0.729	DW 1.954

estadístico t entre paréntesis

<i>Ecuaciones de Demanda</i>									
Consumo privado		Consumo público		Inversión privada		Exportaciones		Importaciones	
β_1	1.577 (2.987)	ϑ_1	-0.109 (-0.725)	ϕ_1	1.341 (1.864)	φ_1	-10.841 (-3.252)	γ_1	-2.435 (-1.701)
β_2	1.522 (2.883)	ϑ_2	-0.081 (-0.537)	ϕ_2	1.526 (2.131)	φ_2	-10.776 (-3.231)	γ_2	-2.363 (-1.655)
β_3	1.599 (3.043)	ϑ_3	-0.059 (-0.394)	ϕ_3	1.528 (2.132)	φ_3	-10.767 (-3.228)	γ_3	-2.309 (-1.610)
β_4	1.588 (3.008)	ϑ_4	-0.061 (-0.406)	ϕ_4	1.327 (1.845)	φ_4	-10.771 (-3.230)	γ_4	-2.419 (-1.687)
β_5	0.540 (6.898)	ϑ_5	0.918 (21.668)	ϕ_5	-0.443 (-3.861)	φ_5	0.946 (3.313)	γ_5	-0.528 (-3.769)
β_6	0.371 (4.655)	ϑ_6	0.030 (1.016)	ϕ_6	-0.427 (-2.183)	φ_6	0.148 (1.737)	γ_6	0.715 (3.231)
β_7	0.192 (2.233)	ϑ_7	0.027 (0.730)	ϕ_7	-0.782 (-1.734)	φ_7	0.363 (3.571)	γ_7	-0.302 (-5.974)
β_8	-0.009 (-0.118)	ϑ_8	-0.058 (-1.951)	ϕ_8	0.473 (6.263)	φ_8	-0.205 (-1.895)	γ_8	0.399 (4.629)
β_9	0.325 (5.220)	ϑ_9	0.088 (2.021)	ϕ_9	-0.134 (-0.952)	φ_9	0.092 (0.836)	γ_9	0.184 (2.169)
β_{10}	-0.147 (-3.000)			ϕ_{10}	1.165 (2.018)	φ_{10}	0.307 (3.298)	γ_{10}	-0.340 (-4.456)
β_{11}	-0.090 (-4.690)			ϕ_{11}	0.139 (3.930)	φ_{11}	0.123 (2.582)		
β_{12}	0.029 (2.786)			ϕ_{12}	0.252 (2.731)	φ_{12}	-0.198 (-3.194)		
β_{13}	0.055 (5.001)								
β_{14}	-0.045 (-3.570)								
β_{15}	-0.048 (-4.720)								
R^2	0.955	R^2	0.984	R^2	0.729	R^2	0.962	R^2	0.974
DW	2.143	DW	2.471	DW	2.234	DW	2.042	DW	2.168
<i>estadístico t entre paréntesis.</i>									

Si realizamos un cambio de variable para despejar la función anterior en términos de las variables endógenas y exógenas basados en la representación matricial:

$$y_t = P^{-1}Qx_t + P^{-1}v_t$$

obtenemos:

$$\begin{aligned} \text{pdf}(y_t) &= \text{pdf}(v_t) \left| \frac{\partial v_t}{\partial y_t} \right| \\ &= \text{pdf}(v_t) |P^{-1}| \end{aligned}$$

Al analizar la función anterior en el caso muestral obtenemos la función de verosimilitud, maximizada respecto a los parámetros y a los elementos de la matriz de varianza-covarianza. En este sentido, el método de FIML presenta las “mejores” estimaciones en el sentido estadístico, aunque parte del hecho de suponer una distribución normal para las innovaciones del sistema. Los resultados obtenidos con métodos adicionales los hemos incluido con fines comparativos, por ejemplo, el sistema bajo SUR arroja coeficientes estadísticamente iguales a los estimados anteriormente.

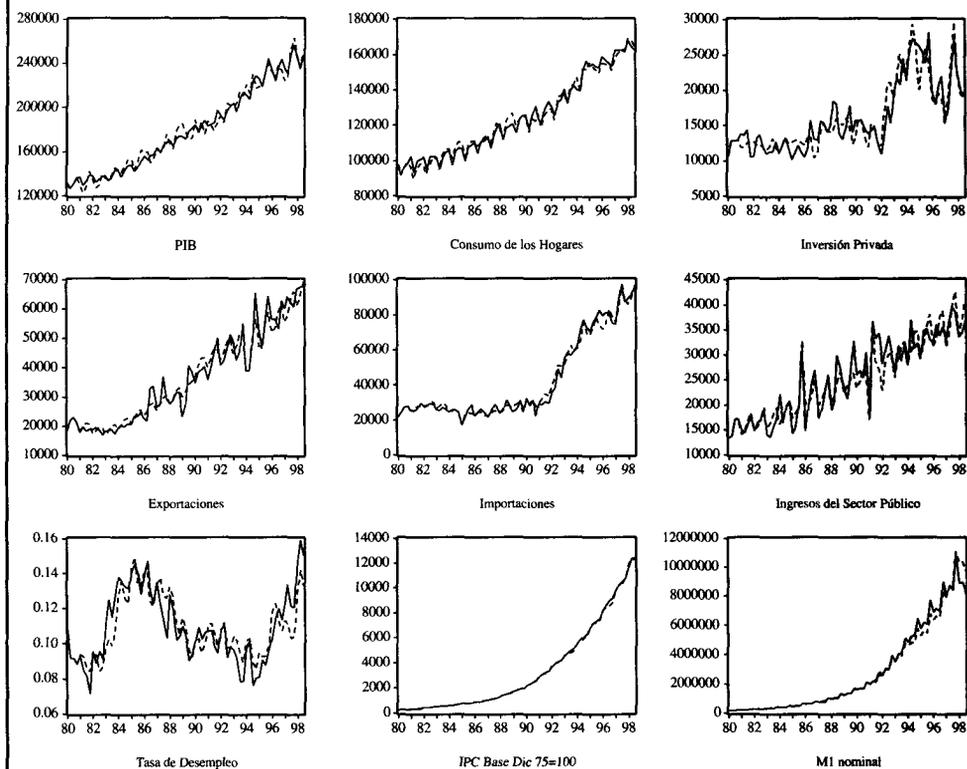
La descripción de sistemas econométricos como el anterior es difícil de hacer en forma detallada. Es usual analizar ciertas relaciones entre las variables más importantes de la economía respecto a marcos analíticos definidos (como el que desarrollamos en la tercera sección). Describiendo las relaciones de las variables de demanda agregada a las variables de precios es posible identificar ciertos puntos importantes: i) el nivel de empleo es el principal determinante de la producción trimestral de la economía colombiana, ii) la tasa de interés es un factor importante en el ajuste de la demanda agregada, iii) en el corto plazo existen no neutralidades sobre las variables reales, expresadas mediante la curva de Phillips, iv) el comercio exterior se encuentra altamente relacionado a los factores de demanda y tasa de cambio.

En general, los resultados son consistentes con las predicciones analíticas anteriores y con los diferentes métodos de estimación, ya que a pesar de que la significancia se ve alterada moderadamente entre las diferentes alternativas de estimación, los valores estimados no cambian radicalmente. Los ajustes de acuerdo con la estimación de FIML se ven en el Gráfico 1 (la línea continua representa la variable observada).

D. Estabilidad

Debido al interés del modelo, es necesario que tengamos en cuenta la posibilidad de cambios estructurales a causa de factores omitidos en la estimación. Con el fin de analizar este tópico hemos incluido pruebas de cambio estructural. Estas pruebas consideran un sistema ampliado por un conjunto de variables *dummy* en el lado derecho de las ecuaciones del sistema, las cuales estudian las variaciones en los períodos analizados. Los estadísticos resultantes se basan en la exclusión de restricciones dada por la prueba χ^2 asintótica. Los resultados se presentan para cada ecuación y para el sistema en conjunto en el Cuadro 5.

GRÁFICO 1
Ajuste de las principales variables del modelo



CUADRO 5
Homogeneidad del modelo (niveles marginales de significancia χ^2)

Ecuación	1990-4	1991-4	1992-4	1982-1	1986-1	1989-2
y	0.088	0.036	0.002	0.004	0.266	0.548
c ^p	0.393	0.934	0.270	0.033	0.003	0.051
i ^p	0.141	0.085	0.567	0.479	0.039	0.658
x	0.371	0.044	0.058	0.496	0.626	0.235
m	0.032	0.289	0.007	0.899	0.045	0.095
y ^{pub}	0.944	0.547	0.006	0.484	0.059	0.433
td	0.620	0.924	0.747	0.471	0.393	0.917
c ^{pub}	0.564	0.080	0.013	0.732	0.113	0.664
P	0.916	0.827	0.631	0.001	0.618	0.759
M1	0.866	0.544	0.771	0.071	0.101	0.604
Total	0.297	0.087	0.000	0.001	0.002	0.463

Escogimos los primeros años de los noventa para analizar el impacto de la apertura sobre la estructura económica colombiana, y los primeros años de los ochenta por ser un período de cambios drásticos a causa de la crisis financiera y los problemas fiscales y cambiarios. De acuerdo con los resultados podemos expresar ciertas relaciones básicas. Es claro que la apertura modificó el esquema de comportamiento, básicamente a causa de cambios en la función de producción. De igual forma, los cambios en la política fiscal (representados por un nivel de significancia de 0.08 en 1991) modificaron la estructura económica colombiana, en conjunto con el *boom* de inversión de inicios de los años noventa. El hecho más significativo de la década de los ochenta, en términos de estabilidad se relaciona con la presencia de ajustes en el consumo de los hogares. Como podemos apreciar, la estructura econométrica se constituye en una herramienta óptima para determinar las causas de cambios estructurales en la economía colombiana, bien sea asociadas a cambios en las decisiones de los agentes privados o a intervenciones del gobierno (como en los casos evidentes de reformas tributarias).

A pesar del análisis anterior, y la evidencia de inestabilidad en la economía colombiana, el origen de las fluctuaciones no es del todo claro. En particular existen dos posibles causas de los resultados anteriores: i) la presencia de residuos *outliers*, o ii) cambios estructurales en los parámetros del sistema. De acuerdo con la fuente de inestabilidad, el fundamento económico y el método de solución es diferente. Con el fin de evitar los problemas anteriores en las proyecciones, hemos considerado incertidumbre aditiva y multiplicativa en la formulación de los resultados a través de escenarios de simulación. Estos movimientos nos aseguran la posibilidad de recoger parte de la inestabilidad presente sobre cambios en los coeficientes o en el proceso de innovaciones.

E. Condiciones alternativas de identificación

De forma alternativa a los desarrollos de las secciones anteriores, hemos analizado la posibilidad de introducir criterios alternativos de identificación a las ecuaciones estimadas. Estos criterios cumplen con restricciones tradicionales desarrolladas con fundamentos económicos. Las restricciones se basan en la determinación de condiciones de comportamiento como: i) rendimientos constantes en la estructura de producción, ii) ausencia de costos de ajuste, iii) agregación en el índice de precios, y iv) exceso de sensibilidad en el consumo. Los resultados se encuentran en el siguiente cuadro:

CUADRO 6		
Condiciones alternativas de identificación		
Hipótesis		Significancia
Rendimientos constantes a escala	$\alpha_2 + \alpha_4 = 1$	0.624
Ausencia de costos de ajuste	$\alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = 0$	0.000
Hipótesis de ingreso permanente	$\alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = 0$	0.000
Agregación en la ecuación de precios	$\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 1$	0.898

Los principales resultados señalan varios aspectos interesantes. Existen rendimientos constantes en la función de producción, la cual a su vez presenta costos de ajuste significativos. El índice de precios que hemos considerado representa las condiciones de la economía, ya que la suma de los coeficientes permite obtener el índice agregado (es importante que la tasa de cambio nominal sigue siendo de baja importancia sobre los precios agregados). Por otro lado, la presencia de “exceso” de sensibilidad en el consumo señala la posibilidad de restricciones de liquidez o fenómenos similares que impiden la transmisión intertemporal de las perturbaciones de ingresos que reciben los agentes.

V. REPRESENTACIÓN SIMPLIFICADA DEL MODELO

Ignorando elementos pequeños, el modelo puede ilustrarse de acuerdo con las representaciones diagramáticas familiares como el marco AD/AS de demanda y oferta agregada, y las curvas IS/LM. Las definiciones empleadas en la construcción del sistema parten de la formulación de Sargent (1976) y Sargent (1987). Por la especificación de corto plazo del sistema, las predicciones de una curva IS con alta pendiente y una curva LM con baja, se confirman. De igual forma podemos apreciar una curva de oferta de corto plazo con pendiente positiva (diferente de cero) y una curva de demanda con pendiente negativa y alto efecto sobre la producción, gracias a la respuesta de la tasa de interés. En oposición al resultado anterior, la especificación de la curva de Phillips permite mantener en el largo plazo el supuesto tradicional de neutralidad monetaria. De acuerdo con la ecuación (32), la pendiente de la curva AS tiende a infinito cuando la tasa de desempleo es cero. En este sentido, la efectividad de políticas expansivas es alta, bien sean políticas fiscales o monetarias.

Las pendientes de estas funciones se obtienen mediante la derivación de Turnovsky (1981) y Sánchez y Parra (1996), donde por simplicidad hemos agrupado los factores exógenos dentro de un solo término:

- *Oferta agregada:*

$$y_t^s = K_t^s + \Omega^s p_t \quad (32)$$

donde $\Omega^s = (-\alpha_2)\Phi_{1t} \theta_6$, $\Phi_{1t} = \frac{u_t}{1-u_t}$

- *Demanda agregada:*

$$y_t^d = K_t^d - \Omega^d p_t \quad (33)$$

donde $\Omega^d =$

$$\frac{\frac{1}{\omega_5} \left[\beta_{10} \left(\frac{C_t^p}{Y_t} \right) + \phi_7 \left(\frac{I_t^p}{Y_t} \right) \right]}{\left[1 - \beta_7 \left(\frac{C_t^p}{Y_t} \right) - \left(\frac{I_t^p}{Y_t} \right) - \psi_5 \vartheta_6 \left(\frac{C_t^g}{Y_t} \right) + \gamma_7 \left(\frac{M_t}{Y_t} \right) \right] + \frac{\omega_6}{\omega_5} \left[\beta_{10} \left(\frac{C_t^p}{Y_t} \right) + \phi_7 \left(\frac{I_t^p}{Y_t} \right) \right]}$$

De igual forma, podemos apreciar la representación dada a la curva IS/LM:

- *Curva IS:*

$$y_t = H_t^{IS} - \mu^{IS} (1 + r_t^{pas}) \quad (34)$$

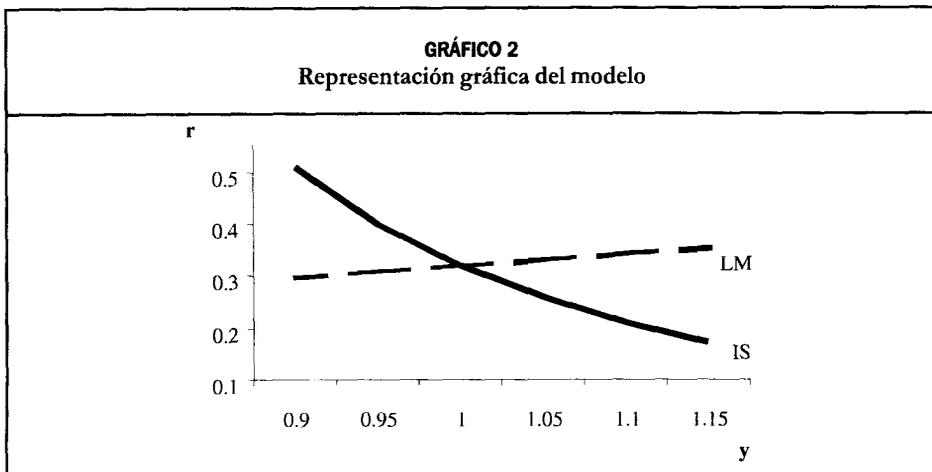
$$\text{donde } \mu_1 = - \frac{\left[\beta_{10} \left(\frac{C_t^p}{Y_t} \right) + \phi_7 \left(\frac{I_t^p}{Y_t} \right) \right]}{\left[1 - \beta_7 \left(\frac{C_t^p}{Y_t} \right) - \left(\frac{I_t^p}{Y_t} \right) - \psi_5 \vartheta_6 \left(\frac{C_t^g}{Y_t} \right) + \gamma_7 \left(\frac{M_t}{Y_t} \right) \right]}$$

- *Curva LM*

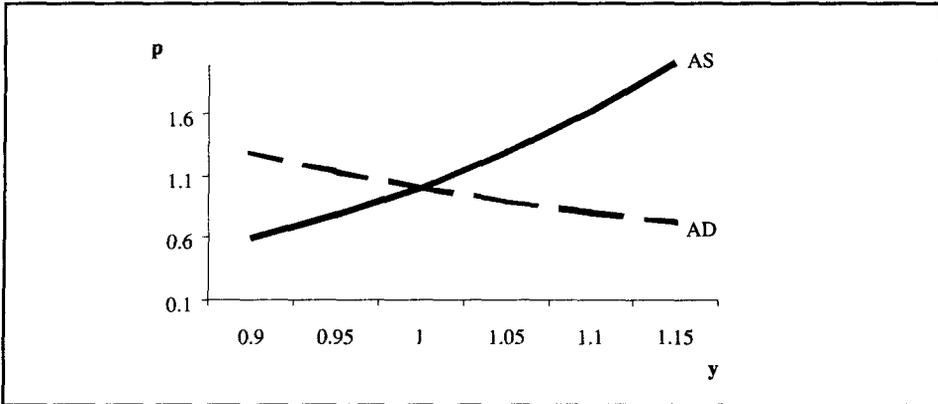
$$y_t = H_t^{LM} + \mu^{LM} (1 + r_t^{pas}) \quad (35)$$

$$\text{donde } \mu^{LM} = - \frac{\omega_5}{\omega_6}$$

Gráficamente el sistema se representa de acuerdo con las siguientes ecuaciones:



(Continúa)



Para complementar la representación del modelo econométrico hemos implementado el cálculo de multiplicadores de forma estática, así como de diagramas de impulso-respuesta ante cambios en las variables endógenas en la siguiente sección. La matriz de multiplicadores (inspirada en Sargent) se ve en el Cuadro 7.

Como mencionamos, los resultados son consistentes con las predicciones analíticas de la tercera sección. Adicionalmente podemos apreciar la ausencia de “bloques” en la especificación del modelo, lo cual indica la presencia de no neutralidad en el corto plazo. De esta forma, podemos analizar el efecto de perturbaciones nominales sobre las variables reales a través de la curva de Phillips. Para completar la presentación diagramática del modelo hemos diseñado la matriz de impulso-respuesta proveniente del sistema anterior. El mecanismo por el cual la construimos se basa en los sistemas de vectores autorregresivos semi-estructurales de Sims y Zha (1996).

Los resultados permiten apreciar condiciones de estabilidad en la representación vectorial, a la vez que sugieren condiciones analíticas que nuevamente confirman la representación descrita en la tercera sección. Existen gráficos en los cuales se aprecian comportamientos oscilatorios, a causa de la presencia de raíces complejas en los valores característicos de la representación matricial. En definitiva, los resultados permiten determinar las dinámicas subyacentes al proceso de evolución de la economía colombiana en asocio a respuestas estáticas del estilo de multiplicadores.

VI. EJERCICIOS DE SIMULACIÓN Y PROYECCIONES PARA COLOMBIA

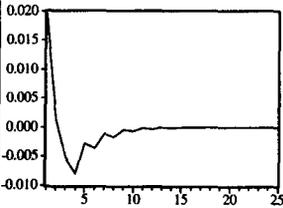
La simulación en el contexto del modelo econométrico estimado, consiste en la utilización de valores dados para las variables predeterminadas (exógenas y endógenas rezagadas), junto con los valores de los parámetros obtenidos en la estimación, con el fin de generar valores de las variables endógenas del modelo. Las simulaciones realizadas pueden ser de cuatro tipos: estáticas y dinámicas, que a su vez se distinguen entre estocásticas o determinísticas. Para cada uno de estos casos, es posible considerar diferentes ampliaciones dependiendo del tratamiento dado a las innovaciones del sistema.

CUADRO 7
Respuesta ante cambios en las variables exógenas

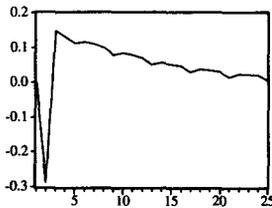
	pob	h	K	$1+\pi$	s	p^{knom}	p^{fbk}	τ	y^*	r^{franc}	w/p	w	p^{cons}	e	y^d/y	tgp	i^s	ve
Y	0.99	0.11	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.02	-0.02	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00
c^p	0.99	0.08	0.15	0.05	0.10	0.03	-0.03	0.02	-0.18	0.10	-0.02	-0.01	-0.02	0.01	0.16	0.03	-0.08	-0.13
y^d	0.99	0.11	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.02	-0.02	0.01	1.00	0.04	0.00	0.00
I	0.93	0.34	0.61	-0.45	1.05	-0.29	0.26	-0.21	-1.07	0.59	-0.10	-0.06	-0.08	0.03	-1.34	0.12	-0.44	-0.77
X	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M	0.69	0.08	0.14	0.00	-0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.29	-0.02	-0.01	-0.02	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00
y^{pub}	0.62	0.07	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.01	-0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
Td	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.08	-0.65	-0.81	0.26	0.00	1.29	0.00	0.00
c^{pub}	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43	0.53	-0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
M1	0.03	0.17	0.30	-0.31	0.72	0.14	-0.12	0.10	-0.73	0.41	-0.05	0.40	0.49	-0.02	-0.92	0.06	-0.30	-0.53
Te	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.12	0.14	-0.05	0.00	-0.23	0.00	0.00
$1+r$	0.08	-0.30	-0.54	0.59	-1.38	-0.26	0.24	-0.19	1.40	-0.77	0.09	0.06	0.07	-0.02	1.75	-0.11	0.58	1.01

GRÁFICO 3
Diagramas de impulso-respuesta

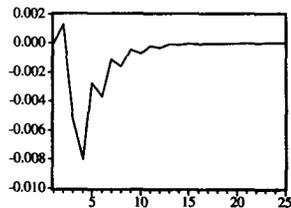
Efectos de un *shock* en el PIB sobre:



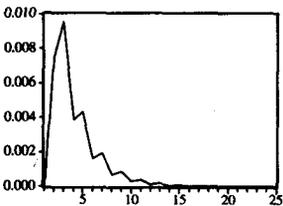
PIB



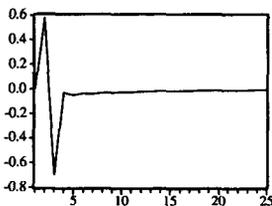
M1



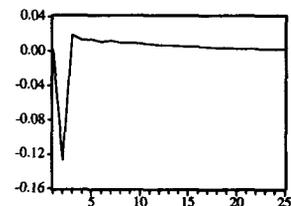
Ing Disponible



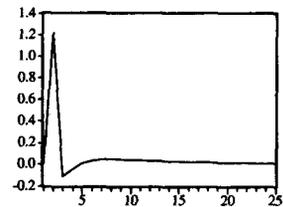
Tasa de Empleo



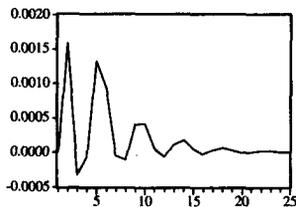
Tasa de Interés



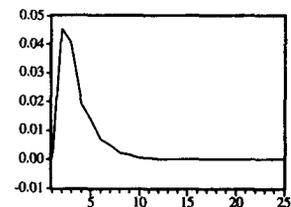
Cons de Hogares



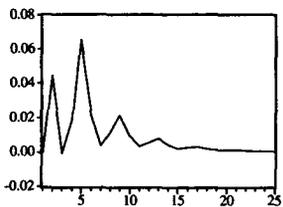
Inversión



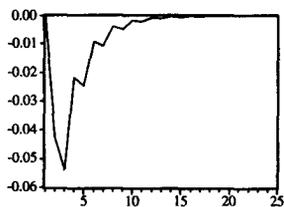
Exportaciones



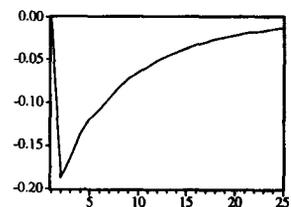
Importaciones



Ing Públicos



Tasa de Desempleo



Cons Público

GRÁFICO 4
Diagramas de impulso-respuesta

Efectos de un *shock* en el Consumo de los Hogares sobre:

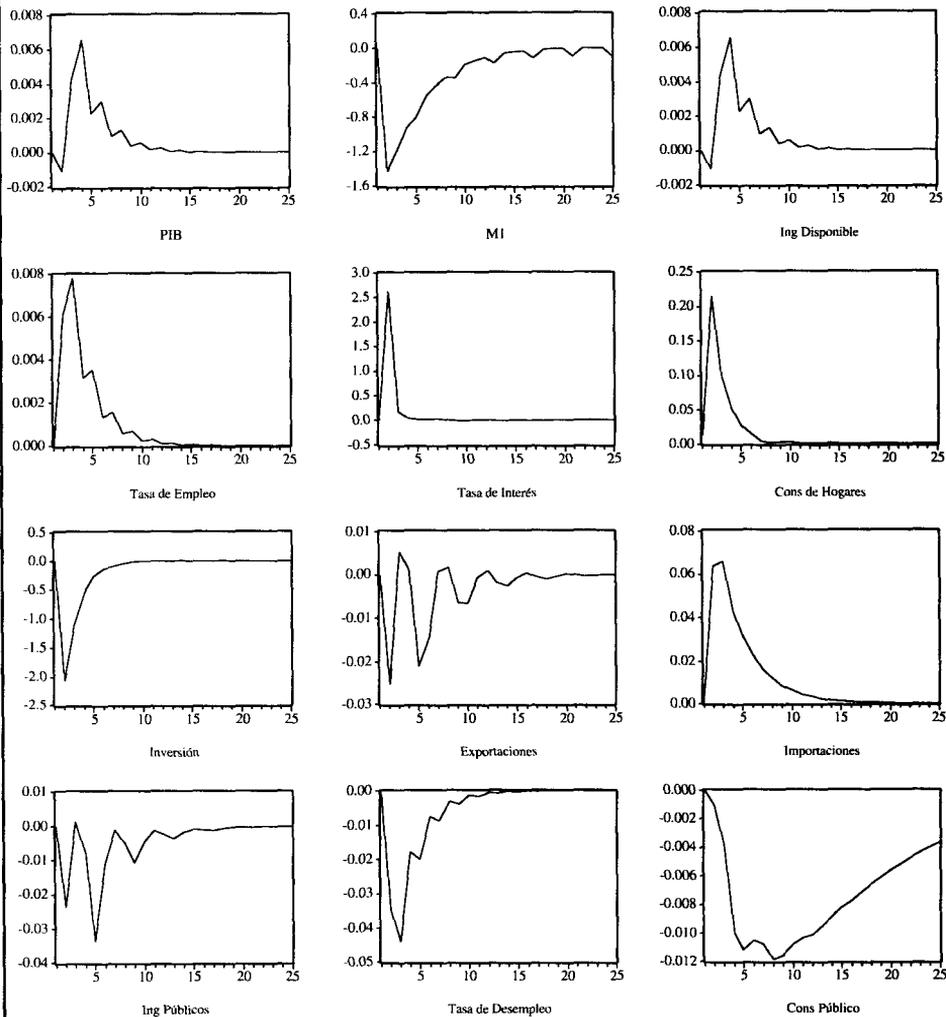
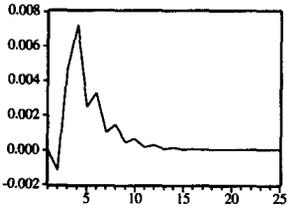
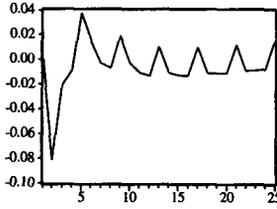


GRÁFICO 5 Diagramas de impulso-respuesta

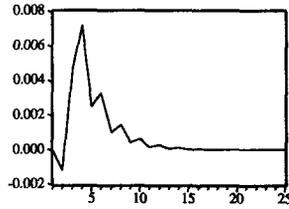
Efectos de un shock en la Inversión Privada sobre:



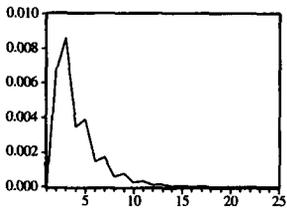
PIB



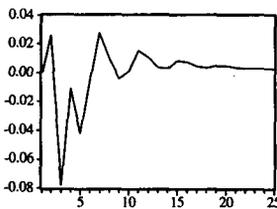
M1



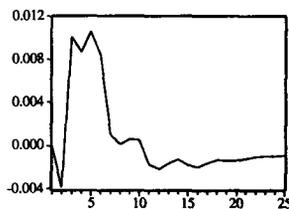
Ing Disponible



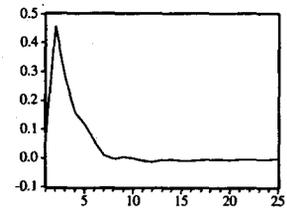
Tasa de Empleo



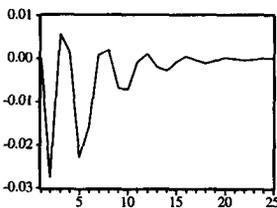
Tasa de Interés



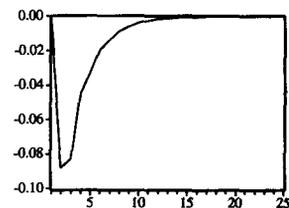
Cons de Hogares



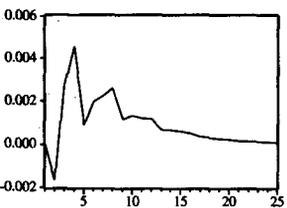
Inversión



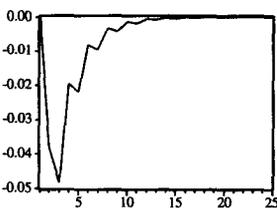
Exportaciones



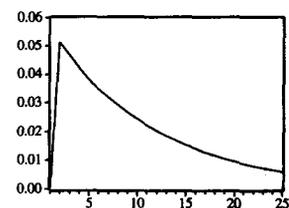
Importaciones



Ing Públicos



Tasa de Desempleo



Cons Público

GRÁFICO 6
Diagramas de impulso-respuesta

Efectos de un *shock* en las Exportaciones sobre:

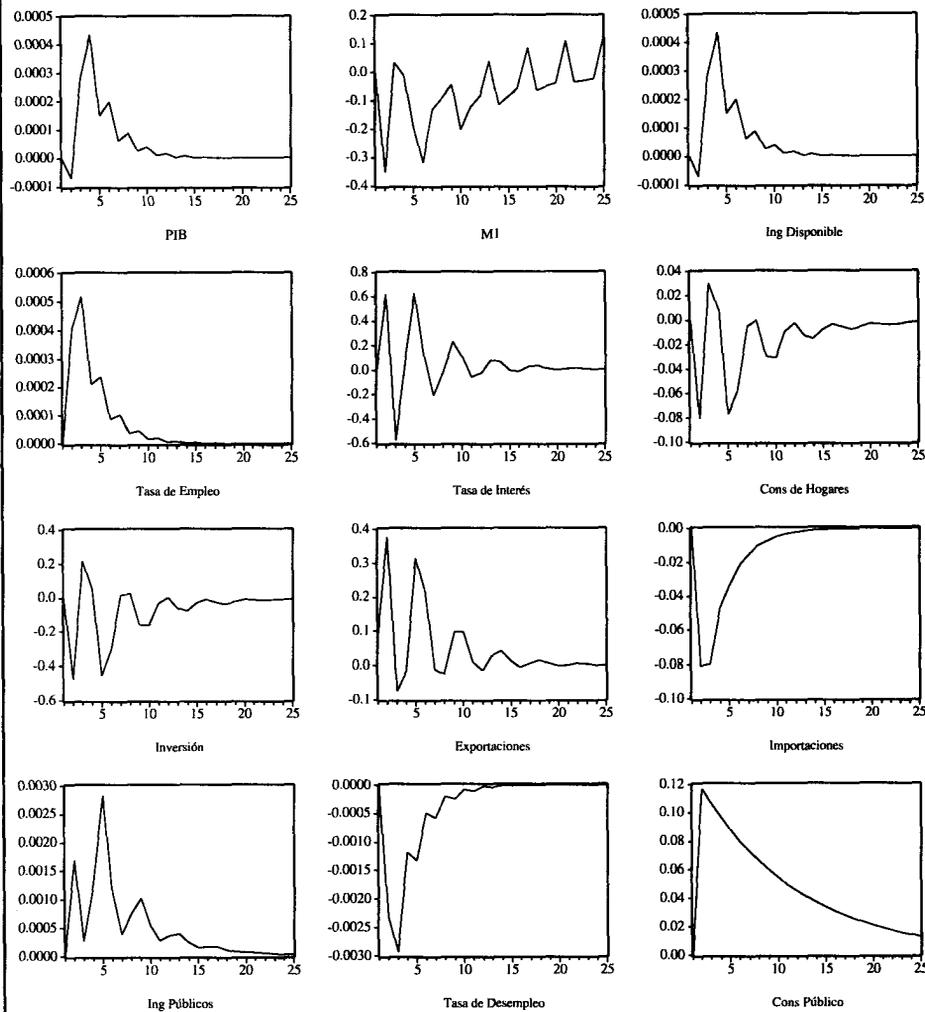
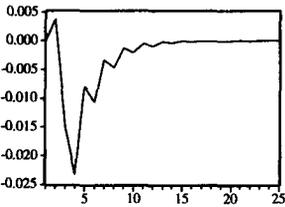
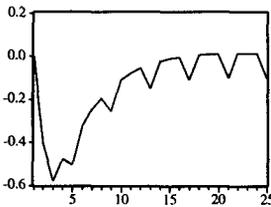


GRÁFICO 7 Diagramas de impulso-respuesta

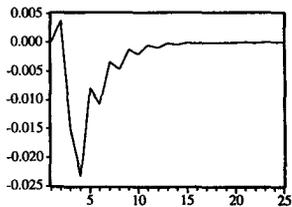
Efectos de un shock en las importaciones sobre:



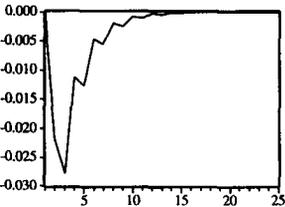
PIB



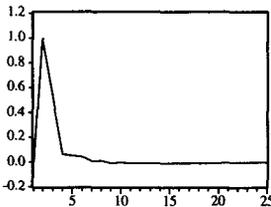
M1



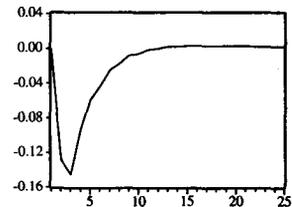
Ing Disponible



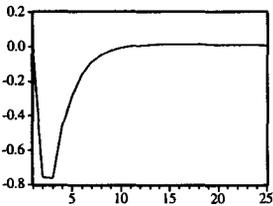
Tasa de Empleo



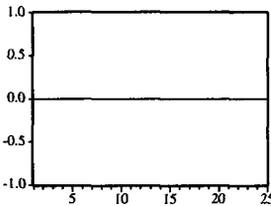
Tasa de Interés



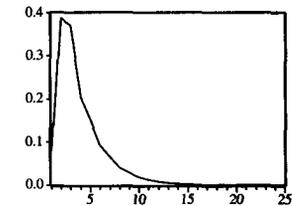
Cons de Hogares



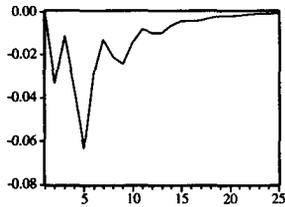
Inversión



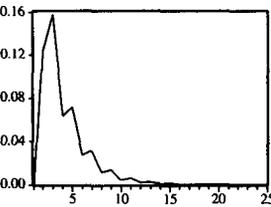
Exportaciones



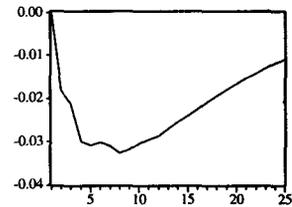
Importaciones



Ing Públicos



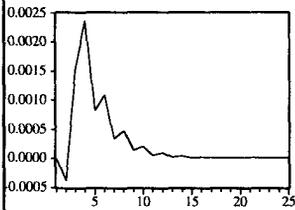
Tasa de Desempleo



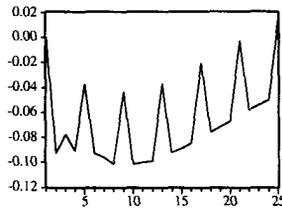
Cons Público

GRÁFICO 8
Diagramas de impulso-respuesta

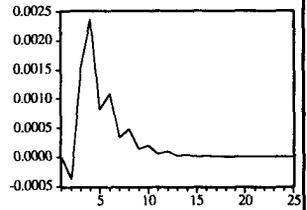
Efectos de un *shock* en el Ingreso del Sector Público sobre:



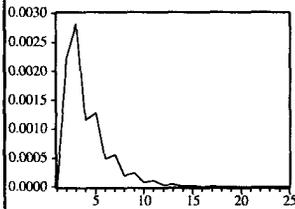
PIB



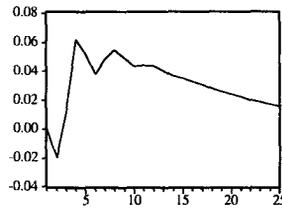
MI



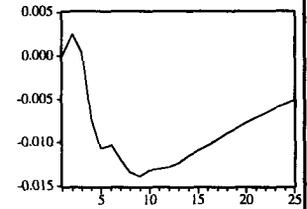
Ing Disponible



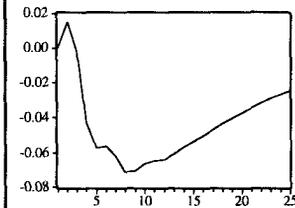
Tasa de Empleo



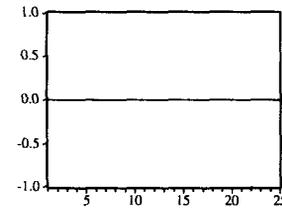
Tasa de Interés



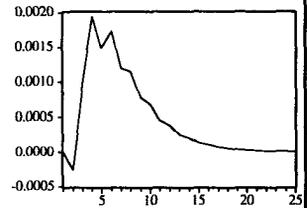
Cons de Hogares



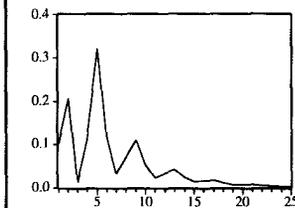
Inversión



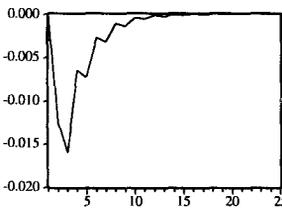
Exportaciones



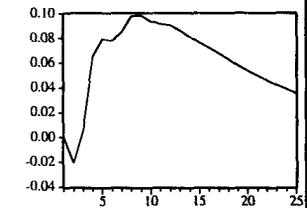
Importaciones



Ing Públicos



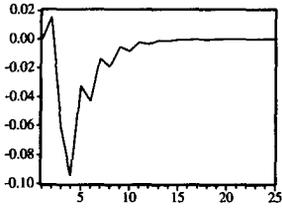
Tasa de Desempleo



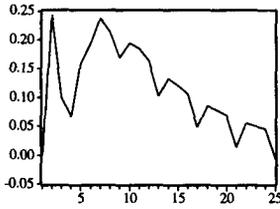
Cons Público

GRÁFICO 9
Diagramas de impulso-respuesta

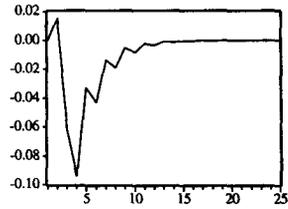
Efectos de un *shock* en la Tasa de Desempleo sobre:



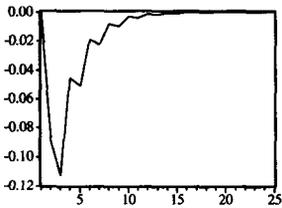
PIB



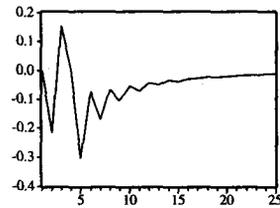
M1



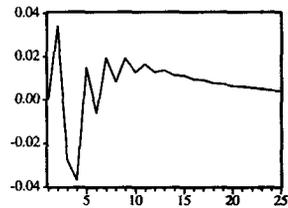
Ing Disponible



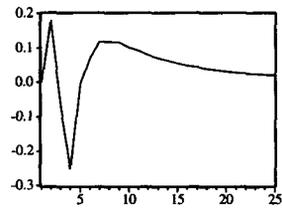
Tasa de Empleo



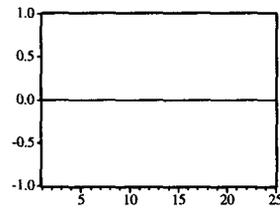
Tasa de Interés



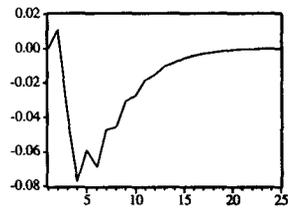
Cons de Hogares



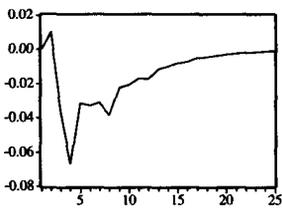
Inversión



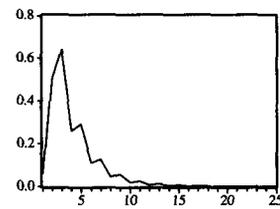
Exportaciones



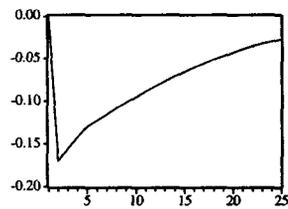
Importaciones



Ing Públicos



Tasa de Desempleo



Cons Público

En el caso de la simulación estática, ignorada en el presente ejercicio, tan sólo se toman los valores observados de las variables exógenas y predeterminadas²¹. En la simulación dinámica que presentamos a continuación, tomamos como valores para las variables predeterminadas aquellos generados por la simulación en el período o períodos anteriores²². De igual forma, la diferencia entre la simulación determinística y estocástica está en la presencia o no de un término de error en las ecuaciones de comportamiento del modelo. La forma de realizar la simulación estocástica consiste, en términos generales, en la generación de una serie de valores aleatorios para cada período y cada ecuación, que modifica y simula un vector distinto para las variables endógenas del modelo. Una vez obtenidos todos los valores para cada variable endógena en cada período, se calcula el promedio aritmético y la desviación estándar con el fin de obtener una distribución de probabilidad para cada valor simulado en cada período.

Los ejercicios que presentamos a continuación parten de realizar dos supuestos sobre los mecanismos en que las innovaciones modifican las decisiones de los agentes en la economía colombiana y se basan en resultados preliminares diferentes de los resultados finales de la sección. En primer lugar suponemos que existe incertidumbre “multiplicativa”, ya que hemos considerado que los coeficientes de las ecuaciones estimadas evolucionan de acuerdo con una función de probabilidad definida. Los resultados de esta simulación para las principales variables del modelo, las desviaciones estándar de los resultados y la prueba de normalidad de Jarque-Bera se ven en el Cuadro 8.

En el caso de simulaciones multiplicativas, hemos considerado a los coeficientes estimados como fuentes de innovación, por lo cual obedecen a una distribución de probabilidad no necesariamente idéntica a la estimada por el modelo. Los resultados se ven en el Cuadro 9.

Los principales resultados, empleados en los ejercicios desarrollados por la Unidad de Análisis Macroeconómico, se encuentran en el siguiente gráfico. Estas proyecciones no corresponden necesariamente a las metas oficiales y por lo tanto deben ser tomadas con precaución ya que no comprometen al Departamento Nacional de Planeación.

21 La simulación estática es adecuada cuando se analiza la bondad del ajuste de la estimación, ya que es posible condicionar el modelo a los valores de las variables exógenas y endógenas observadas.

22 La simulación dinámica es la única posible cuando el objetivo del modelo es la predicción, puesto que los únicos valores disponibles para las variables endógenas en el futuro son los obtenidos a partir de la simulación del modelo. Así mismo, estos valores son los que se utilizan como variables predeterminadas en el siguiente período.

CUADRO 8						
Simulaciones aditivas						
Media de las Variables en Niveles	1998-III	1998-IV	1999-I	1999-II	1999-III	1999-IV
PRODUCTO INTERNO BRUTO	246,441.54	252,156.40	245,056.97	238,112.44	253,980.29	265,285.29
Consumo Final	198,990.28	193,074.61	194,713.64	195,435.72	197,814.34	196,140.13
Hogares	162,771.61	157,782.59	163,233.46	162,214.66	162,805.38	162,026.86
Administraciones Públicas	36,218.67	35,292.03	31,480.18	33,221.05	35,008.96	34,113.27
Formación interna bruta de capital	75,238.34	74,642.65	63,930.34	53,370.77	69,818.08	78,655.25
Formación bruta de capital fijo	39,266.14	28,545.39	36,463.48	40,234.44	38,768.59	30,886.80
- Privada	18,660.90	16,475.04	15,189.96	16,670.30	19,521.23	19,611.88
- Pública	20,605.24	12,070.36	21,273.52	23,564.14	19,247.36	11,274.92
Variación de existencias	35,972.20	46,097.26	27,466.86	13,136.32	31,049.49	47,768.45
DEMANDA INTERNA	274,228.62	267,717.26	258,643.98	248,806.48	267,632.42	274,795.38
Exportaciones de bienes y servicios	69,887.43	71,093.34	68,728.50	72,877.68	77,749.00	78,060.40
Importaciones de bienes y servicios	97,674.50	86,654.21	82,315.50	83,571.73	91,401.12	87,570.49
Tasa de desempleo	14.68%	14.57%	15.74%	15.74%	14.02%	13.53%
IPC (Base Dic75=100)	12,343.01	12,523.63	13,446.51	14,221.58	14,293.91	14,522.13
M1 Real en mill. de pesos de 1975	707.20	856.50	748.20	786.38	780.35	968.10
Ingresos Públicos reales	39,462.19	41,656.58	34,399.60	36,522.08	40,997.38	44,249.37

(Continúa)

Desviación estándar	1998-III	1998-IV	1999-I	1999-II	1999-III	1999-IV
PRODUCTO INTERNO BRUTO	235.39	282.33	273.63	276.13	335.89	278.75
Consumo final						
Hogares	223.51	286.29	286.06	302.00	331.13	292.28
Formación interna bruta de capital						
Formación bruta de capital fijo						
- Privada	30.82	47.62	37.43	36.99	46.05	44.99
Exportaciones de bienes y servicios	75.31	95.68	75.79	86.18	117.24	107.95
Importaciones de bienes y servicios	81.42	102.78	90.79	122.71	144.43	125.40
Tasa de desempleo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IPC (Base Dic75 = 100)	12.74	14.51	13.10	15.80	24.85	23.69
M1 Real en mill. de pesos de 1975	0.74	1.30	1.16	1.27	1.34	1.68
Ingresos públicos reales	46.60	51.81	42.83	47.87	71.37	61.41

(Continúa)

Estadístico Jarque-Bera	1998-III	1998-IV	1999-I	1999-II	1999-III	1999-IV
PRODUCTO INTERNO BRUTO	1.896	3.426	2.080	0.077	3.896	0.064
Consumo final						
Hogares	3.469	1.646	1.721	0.628	0.794	1.318
Formación interna bruta de capital						
Formación bruta de capital fijo						
- Privada	0.452	0.263	0.630	0.204	0.951	0.150
Exportaciones de bienes y servicios	1.502	0.349	0.046	1.521	0.163	0.151
Importaciones de bienes y servicios	0.739	1.069	0.138	0.005	0.234	5.431
Tasa de desempleo	2.939	0.586	1.548	1.235	2.136	0.704
IPC (Base Dic75 = 100)	2.513	0.042	2.395	1.628	0.082	2.278
M1 Real en mil. de pesos de 1975	1.345	0.005	0.705	0.062	0.132	0.334
Ingresos públicos reales	0.683	4.254	1.699	1.581	0.122	4.513

CUADRO 9						
Simulaciones multiplicativas						
Media de las variables en niveles	1998-III	1998-IV	1999-I	1999-II	1999-III	1999-IV
PRODUCTO INTERNO BRUTO	246,684.80	252,579.75	245,402.10	238,461.66	254,526.07	265,768.28
Consumo final	199,124.85	193,314.67	194,953.59	195,717.66	198,152.71	196,425.91
Hogares	162,906.19	158,022.64	163,473.41	162,496.61	163,143.75	162,312.64
Administraciones públicas	36,218.67	35,292.03	31,480.18	33,221.05	35,008.96	34,113.27
Formación interna bruta de capital	75,257.83	74,708.82	63,987.19	53,411.70	69,883.13	78,752.19
Formación bruta de capital fijo	39,285.64	28,611.56	36,520.33	40,275.38	38,833.64	30,983.74
- Privada	18,680.39	16,541.21	15,246.81	16,711.24	19,586.29	19,708.82
- Pública	20,605.24	12,070.36	21,273.52	23,564.14	19,247.36	11,274.92
Variación de existencias	35,972.20	46,097.26	27,466.86	13,136.32	31,049.49	47,768.45
DEMANDA INTERNA	274,382.68	268,023.49	258,940.78	249,129.36	268,035.85	275,178.10
Exportaciones de bienes y servicios	70,060.37	71,370.53	68,909.83	73,099.47	78,131.42	78,384.19
Importaciones de bienes y servicios	97,758.26	86,814.27	82,448.51	83,767.17	91,641.20	87,794.02
Tasa de desempleo	14.68%	14.57%	15.74%	15.74%	14.02%	13.53%
IPC (Base Dic75 = 100)	12,343.02	12,523.65	13,446.51	14,221.59	14,293.94	14,522.15
M1 Real en mill. de pesos de 1975	707.37	857.00	748.70	786.93	780.97	968.90
Ingresos públicos reales	39,543.92	41,769.65	34,480.97	36,620.51	41,190.26	44,409.72

(Continúa)

Desviación estándar	1998-III	1998-IV	1999-I	1999-II	1999-III	1999-IV
PRODUCTO INTERNO BRUTO	7837.90	9046.27	9009.34	9372.19	12821.08	10909.96
Consumo final						
Hogares	5779.42	7361.16	7516.39	7999.56	8836.34	7727.16
Formación interna bruta de capital						
Formación bruta de capital fijo						
- Privada	626.99	1145.60	980.45	971.32	1377.99	1717.07
Exportaciones de bienes y servicios	4961.38	6321.55	5012.80	5703.87	7789.46	7172.09
Importaciones de bienes y servicios	3229.43	3928.70	3217.18	4377.53	5018.44	4432.72
Tasa de desempleo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IPC (Base Dic75 = 100)	19.66	21.72	19.26	23.34	36.97	34.40
M1 Real en mill. de pesos de 1975	14.95	26.56	24.26	26.28	27.62	34.62
Ingresos públicos reales	2368.53	2654.64	2055.60	2390.72	3651.97	3216.36

(Continúa)

Estadística de Jarque-Bera	1998-III	1998-IV	1999-I	1999-II	1999-III	1999-IV
PRODUCTO INTERNO BRUTO	0.855	0.773	0.992	0.309	2.957	0.444
Consumo Final						
Hogares	7.099	2.143	2.314	0.616	2.345	0.964
Formación interna bruta de capital						
Formación bruta de capital fijo						
- Privada	0.165	0.777	0.755	2.717	0.793	3.766
Exportaciones de bienes y servicios	3.396	1.109	0.763	1.820	1.319	1.181
Importaciones de bienes y servicios	0.493	0.718	6.375	1.563	0.600	7.353
Tasa de desempleo	10.963	0.916	3.574	0.039	0.825	0.083
IPC (Base Dic75=100)	2.513	0.042	2.395	1.628	0.107	2.295
M1 Real en mill. de pesos de 1975	1.291	0.165	0.902	0.237	0.589	0.446
Ingresos Públicos reales	0.597	2.919	1.574	2.104	1.390	2.286

GRÁFICO 10
Producto Interno Bruto

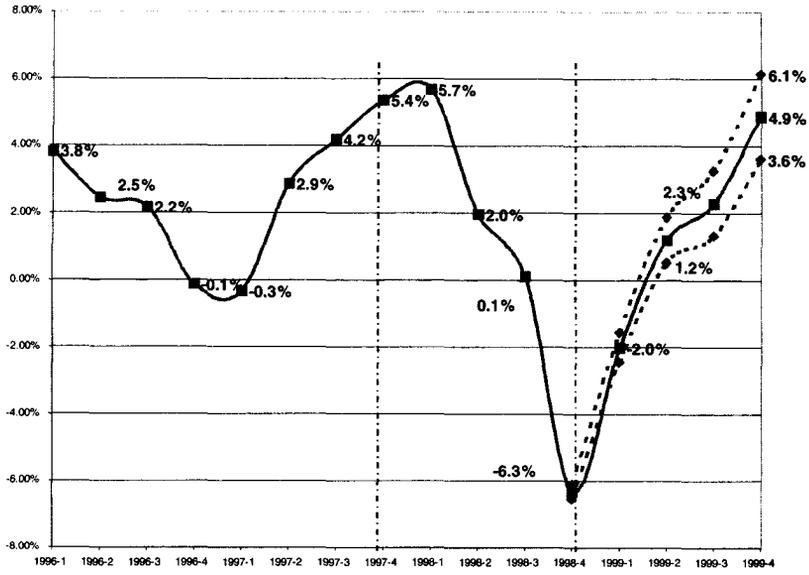


GRÁFICO 11
Consumo privado

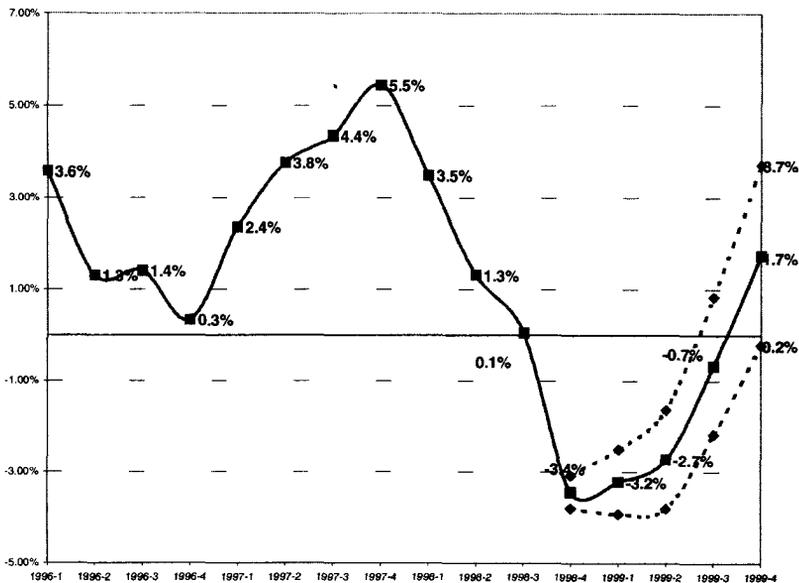


GRÁFICO 12
Inversión privada

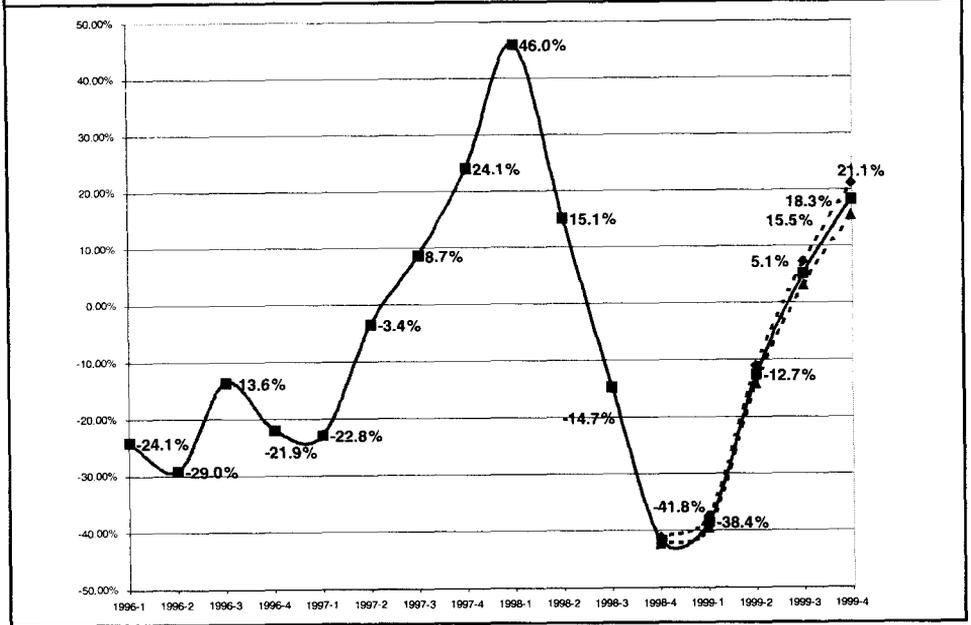


GRÁFICO 13
Exportaciones

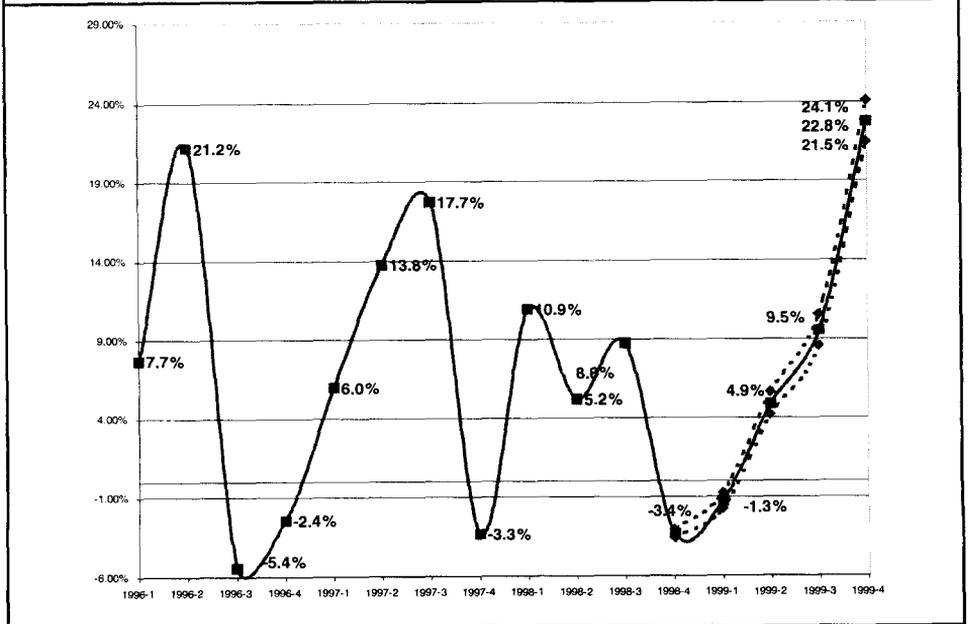


GRÁFICO 14
Importaciones

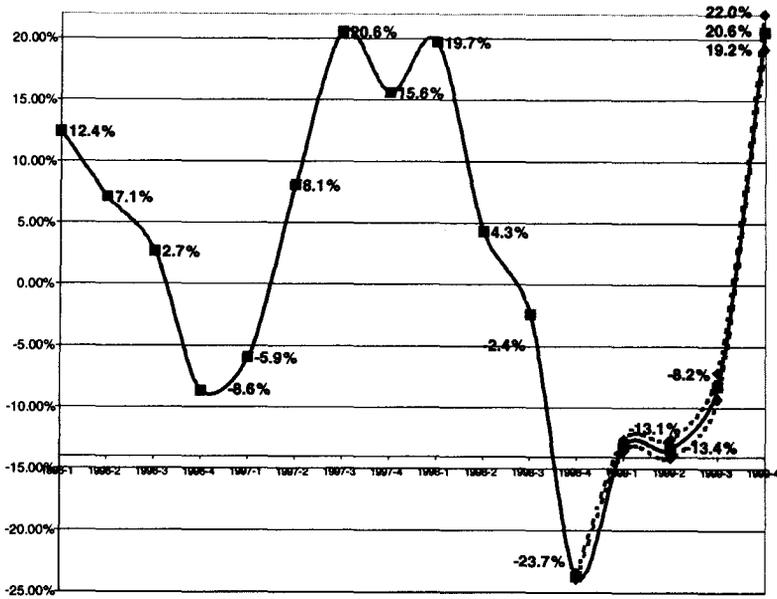
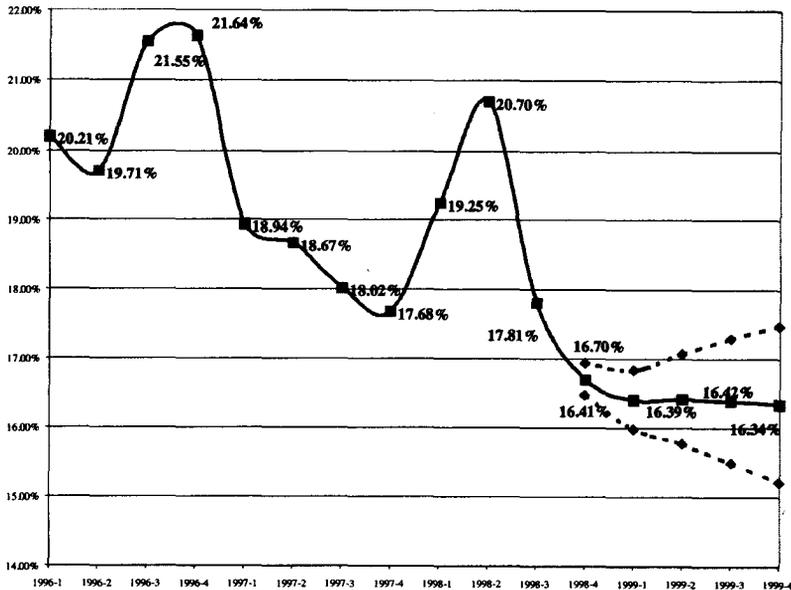
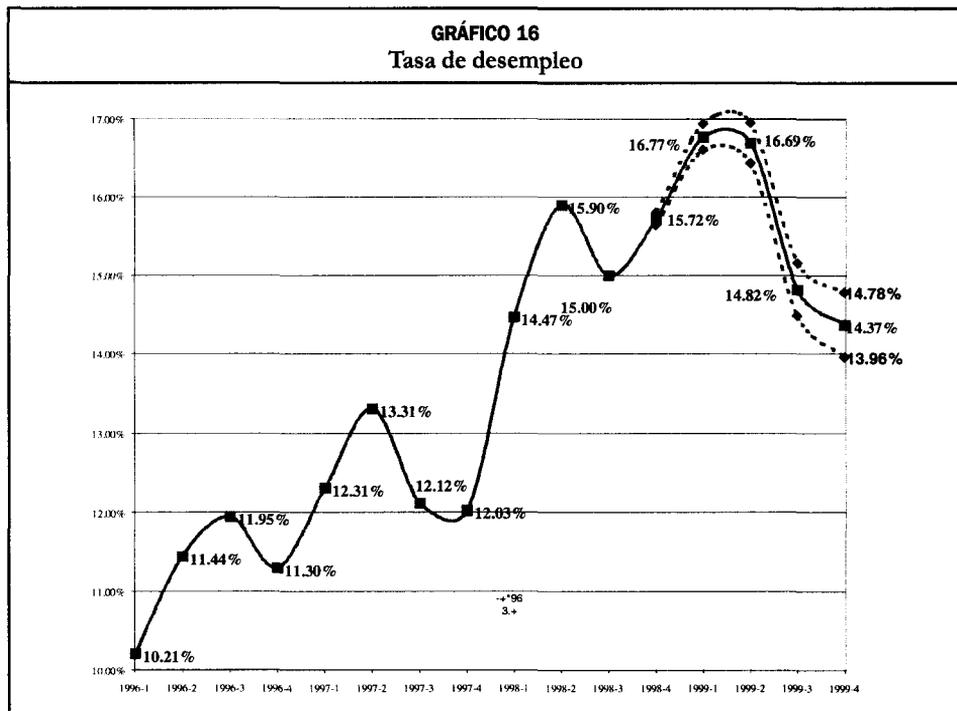


GRÁFICO 15
Inflación





VII. COMENTARIOS FINALES

En el presente documento hemos estimado un modelo econométrico para la economía colombiana, con base en estructuras teóricas definidas a partir de comportamientos racionales de los agentes. La especificación parte de consideraciones de corto plazo, por lo cual existen no neutralidades y posibilidades de intervención del gobierno. A pesar de esto, no hemos considerado factible la intervención sistemática, ya que la integración de las funciones de comportamiento en un modelo macroeconómico conduce a implicaciones dramáticas sobre la dinámica de la economía. En este sentido, consideramos que la cuestión de la efectividad de la política requiere mayor investigación sobre una variedad de tópicos incluyendo los costos de estabilización, la naturaleza de las distorsiones (especialmente en el mercado laboral) y los errores del gobierno en la escogencia de las metas, tanto fiscales como monetarias.

El modelo estimado contiene ciertos detalles mal especificados, en especial por la presencia de algunos coeficientes con baja significancia estadística; sin embargo, la capacidad predictiva de las principales variables macroeconómicas es buena, por lo cual las simulaciones realizadas merecen ser consideradas como ejercicios válidos de proyección. Por último, estimamos que la herramienta desarrollada en el presente ejercicio produce una serie de preguntas sobre el ajuste de la economía en presencia de los *shocks* macroeconómicos típicos, los cuales no hemos estudiado detalladamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Abel, A. y Blanchard, O. (1986) "The Present Value of Profits and Cyclical Movements in Investment", *Econométrica*, Vol. 54, No. 2, pp. 249-273.
- Birchenall, J. (1996) "El ciclo económico en Colombia: un análisis empírico". DNP, mimeo.
- (1997) "Inversión, q de Tobin, e incertidumbre en la industria colombiana", *Desarrollo y Sociedad*, No. 39, pp. 235-274.
- Blanchard, O. y Fischer, S. (1989) *Lectures on Macroeconomics*, MIT Press.
- Blinder, A. y Deaton, A. (1985) "The Time-Series Consumption Revisited." *Brookings Papers on Economic Activity*, pp. 465-521.
- Caballero, R. (1990) "Consumption Puzzles and Precautionary Savings." *Journal of Monetary Economics*, Vol. 25, pp. 113-136.
- Campbell, J. y Deaton, A. (1989) "Why is Consumption so Smooth?." *Review of Economic Studies*, Vol. 56, pp. 357-374.
- Cárdenas, M. y Olivera, M. (1995) "La Crítica de Lucas y la inversión en Colombia: nueva evidencia", *Ensayos sobre Política Económica*, No. 27, pp. 95-138.
- Cook, S., Holly, S. y Turner, P. (1999) "The Conduct of Monetary Policy When the Business Cycle is Non-linear" en Holly, S. y Weale, M. (eds.) *Macroeconomic Modelling and Economic Policy*.
- Deaton, A. (1992) *Understanding Consumption*, Oxford University Press.
- , y Muellbauer, J. (1980) *Economics and Consumer Behavior*, Cambridge University Press.
- Fair, R. (1994) *Testing Macroeconometric Models*, Harvard University Press.
- Fisher, F. (1966) *The Identification Problem in Econometrics*, McGraw Hill.
- Flavin, M. (1981) "The Adjustment of Consumption to Changing Expectations About Future Income", *Journal of Political Economy*, Vol. 89, No. 5, pp. 974-1.009.
- Friedman, M. (1963) *A Theory of the Consumption Function*, Princeton University Press.
- Godfeld, S. (1973) "The Demand for Money Revisited", *Brookings Papers on Economic Activity*, No. 3, pp. 577-638.
- Granger, C. y Newbold, P. (1986) *Forecasting Economic Time Series*, Academic Press.
- Guarda, P. y Pieretti, P. (1998) "Mod-L: A Macroeconometric Model for a Small Open Economy", mimeo.

—— (1998) “A Consumption Function for Luxembourg: Estimating an Error-Correction Model”, mimeo.

—— (1998) “An Investment Function for Luxembourg: Estimating an Error-Correction Model”, mimeo.

Hall, R. (1978) “Stochastic Implications of the Life-Cycle-Permanent Income Hypothesis: Theory and Evidence”. *Journal of Political Economy*, Vol. 86, No. 6, pp. 971-987.

——. (1981) “Intertemporal Substitution in Consumption”. *NBER Working Paper* 720.

—— (1986) “The Role of Consumption in Economic Fluctuations”. *The American Business Cycle: Continuity and Change*. NBER y University of Chicago Press, pp. 237-266.

Hamilton, J. (1994) *Time Series Analysis*. Princeton University Press.

Hansen, L, y Sargent, T. (1980) “Formulating and Estimating Dynamic Linear Rational Expectations Models”, *Journal of Economics Dynamics and Control*, Vol. 2, No. 1, pp. 7-46.

——, y Singleton, K. (1983) “Stochastic Consumption Risk Aversion, and the Temporal Behavior of Asset Returns”, *Journal of Political Economy*, Vol. 91, No. 2, pp. 249-265.

Harvey, A. (1990) *The Econometric Analysis of Time Series*, Philip Allen Publishers.

Jacobs, J. (1994) “Dividing by 4: a Feasibly Quarterly Forecasting Method”. Department of Economics, University of Groningen, The Netherlands.

Judge, G., Hill, R., Griffiths, W., Lütkepohl, W. y Lee, T. (1988) *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*, John Wiley and Sons.

Lucas, R. (1970) “Capacity, Overtime, and Empirical Production Functions”, *American Economic Review, Papers and Proceedings*, Vol. 60, No. 2, pp. 23-27.

—— (1973) “Some International Evidence on Output-Inflation Trade-Offs”, *American Economic Review*, Vol. 83, pp. 1113-1144.

—— (1976) “Econometric Policy Evaluation: a Critique”, en Brunner, K. y Meltzer, A. (ed.) *The Phillips Curve and the Labor Market*, Vol. 1, Carnegie-Rochester Conference in Public Policy, North Holland Publishers.

——, y Sargent, T. (1978) “After Keynesian Macroeconomics”, en *After the Phillips Curve: Persistence of High Inflation and High Unemployment*, Conference Series No. 19. Federal Reserve Bank of Boston.

McCallum, B. (1989) “Real Business Cycle Models”, en Barro, R. (ed.) *Modern Business Cycle Theory*, Harvard University Press.

- Ministerio de Economía y Hacienda de España (1990) *MOISEES: un modelo de investigación y simulación de la economía española*, Antoni Bosch Editores.
- Pindyck, R. y Rotemberg, J. (1983) "Dynamic Factor Demand Functions Under Rational Expectations", *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 85, No. 2, pp. 223-238.
- Pindyck, R. y Rubinfeld, D. (1991) *Econometric Models and Economic Forecasts*, McGraw Hill.
- Romer, D. (1996) *Advanced Macroeconomics*, McGraw Hill.
- Sánchez, F. y Parra, C. (1996) "Un modelo keynesiano para la economía colombiana", *Planeación y Desarrollo*, Vol. 27, No. 4, pp. 108-132.
- Sargent, T. (1976) "A Classical Macroeconometric Model for the United States", *Journal of Political Economy*, Vol. 84, No. 2, pp. 207-237.
- (1987) *Macroeconomic Theory*, Academic Press.
- Shapiro, M. (1986) "The Dynamic Demand for Capital and Labor", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 101, No. 3, pp. 513-542.
- Sims, C. (1980) "Macroeconomics and Reality", *Econometría*, Vol. 48, No. 1, pp. 1-48.
- (1982) "Policy Analysis with Econometric Models", *Brookings Papers on Economic Activity*. No. 1, pp. 107-152.
- , y Zha, T. "Does Monetary Policy Generate Recessions?", Yale University, mimeo.
- Stock, J. y West, K. (1988) "Integrated Regressors and Tests of the Permanent Income Hypothesis", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 21, pp. 85-95.
- Thomas, J. y Wallis, K. (1971) "Seasonal Variation in Regression Analysis", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, Vol. 34, parte 1, pp. 57-72.
- Turnovsky, S. (1981) *Macroeconomic Analysis*, CUP.
- Valderrama, F. (1997) "Trimestralización del Producto Interno Bruto por el lado de la oferta", *Archivos de Macroeconomía*, No. 54.
- Wallis, K. (1974) "Seasonal Adjustment and Relations Between Variables", *Journal of the American Statistics Association*, Vol. 69, No. 1, pp. 18-31.
- (1989) "Macroeconomic Forecasting: A Survey", *Economic Journal*, Vol. 99, pp. 28-61.
- y Whitley, J. (1991) "Large-Scale Econometric Models of National Economies", *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 93, No. 2, pp. 238-314.
- West, K. (1988) "The Insensitivity of Consumption to News About Income", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 21, pp. 29-42.