

Un modelo macroeconómico de simulación con microfundamentos para la economía mexicana

Lucía A. Ruiz-Galindo y Francisco Venegas-Martínez*

Fecha de recepción: 9 de junio de 2004; fecha de aceptación: 17 de abril de 2007.

Resumen: En este trabajo se desarrolla un modelo macroeconómico de simulación para México con base en microfundamentos. Esta propuesta tiene varias características que la distinguen de otros modelos que se han elaborado previamente para la economía mexicana. Las relaciones de comportamiento no son formuladas *ad-hoc*, sino son el resultado del estudio de la conducta racional de todos los agentes económicos y de su interacción con los mercados. A través del planteamiento de modelos de decisión intertemporal, se determina la dinámica de las variables macroeconómicas relevantes. El modelo permite reproducir hechos estilizados de la economía mexicana durante el periodo de 1995 al 2002.

Palabras clave: modelo macroeconómico, simulación, elección intertemporal y crecimiento.

Abstract: This paper develops a macroeconometric simulation model for Mexico on a microeconomics basis. This proposal has several distinctive features that makes it different from other models that have been previously elaborated for the Mexican economy. Behavioral relationships are not specified in an *ad-hoc* manner, but by means of the study of rational behavior of all the economic agents and their interactions with the markets. Through the formulation of intertemporal optimization models, the dynamics of the key macroeconomic variables are determined. Our proposal allows to reproduce stylized facts of the Mexican economy observed between 1995 and 2002.

Keywords: macroeconometric model, simulation, intertemporal choice and growth.

Clasificación JEL: C61, C15, C51

* Lucía A. Ruiz-Galindo, laruizg@correo.azc.uam.mx, Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. Francisco Venegas-Martínez, fvenegas@ipn.mx, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional. Los autores agradecen todos los comentarios y sugerencias de varios dictaminadores anónimos, los cuales mejoraron sustancialmente el trabajo, y también el apoyo proporcionado por Luís Alberto Sánchez Jiménez.

Introducción

El presente trabajo estudia los agregados económicos y sus interrelaciones a partir del comportamiento individual de los distintos agentes que participan en la economía, y no a través de especificaciones *ad-hoc*. Las trayectorias de las variables macroeconómicas y sus determinantes se analizan desde la perspectiva de la microeconomía dinámica. El objetivo principal de este trabajo es la construcción de un modelo macroeconómico de simulación con microfundamentos, que explique el comportamiento de la economía mexicana durante los años de 1995 a 2002.

Una de las principales razones por las cuales se utilizan modelos macroeconómicos definidos a través de relaciones *ad-hoc*, es porque reflejan características específicas, tanto de la economía que se desea estudiar, como de la información empírica disponible. Algunos de estos modelos que se han construido previamente para la economía mexicana, o para alguno de sus sectores, son el modelo Eudoxio (Castro *et al.*, 2000) y el Economex (Urzúa *et al.*, 2000).

En el modelo macroeconómico de simulación propuesto, las reglas de comportamiento y de decisión de cada agente, es decir, qué hacen y por qué lo hacen, son soluciones de problemas de optimización intertemporal, cuyo planteamiento resume la conducta racional tanto de consumidores como de productores. En la formulación de los modelos de decisión intertemporal, el supuesto de expectativas racional en la forma de previsión perfecta (Muth, 1961) y el modelo del agente representativo (Ramsey, 1928) desempeñan un importante papel.

Por otra parte, el modelo macroeconómico de simulación desarrollado sobre la base de microfundamentos, permite analizar la relación entre los agentes tanto al interior de un agregado como entre los diferentes agregados. Es importante destacar que el modelo especificado permite obtener resultados empíricos, consistentes con los hechos estilizados observados en el desempeño de la economía mexicana durante el periodo de 1995 al 2002.

A lo largo de esta investigación se formulan varios modelos intertemporales que reflejan la conducta racional de los agentes económicos dentro de una economía pequeña, abierta y con sector financiero. Los consumidores maximizan su utilidad total sujeta a su restricción presupuestal, descontada por una tasa subjetiva de ansiedad por el consumo presente, mientras que los productores maximizan el valor presente de los flujos esperados de efectivo sujeta a su restricción tecnológica. Los pri-

meros enfrentan costos de transacción; los segundos costos de ajuste. Las soluciones de estos problemas de decisión intertemporal determinan las trayectorias óptimas de las variables económicas relevantes del modelo macroeconómico. Por último, se incorpora el papel que desempeña el gobierno a través de una restricción presupuestal.

El trabajo se desarrolla como sigue. En la próxima sección se describen las características de la economía. En las secciones dos y tres se formulan y resuelven los modelos de elección intertemporal del consumidor y del productor. En la sección cuatro se establecen las acciones del gobierno y se plantea su restricción presupuestal. En la sección cinco se introduce la identidad de la renta nacional. En la sección seis se presenta la balanza de pagos y sus componentes. En la sección siete se construye el modelo macroeconómico con microfundamentos. En la ocho se aplica la metodología econométrica y se llevan a cabo algunas simulaciones. En la última sección se presentan las conclusiones, destacando las ventajas y limitaciones del modelo macroeconómico con microfundamentos propuesto para la economía mexicana.

I. Características de la economía

Se supone que la economía produce y consume un solo bien. Asimismo, se supone que la economía es pequeña y abierta al comercio internacional de bienes y activos. Existe un número grande de consumidores homogéneos con vida infinita que participan en mercados competitivos. Estos agentes derivan utilidad del consumo y desutilidad del trabajo. Bajo el esquema de agente representativo, el individuo toma decisiones de consumo, de cartera y de participación en el mercado laboral. Las empresas comparten la misma tecnología, la cual está representada por una función de producción neoclásica, y deciden la cantidad de mano de obra y capital que quieren contratar. Por su parte, el gobierno toma decisiones sobre el gasto y el financiamiento, recauda impuestos y no acumula bienes de consumo ni de capital.

II. Consumidores

II.1. Restricción presupuestal

El consumidor representativo demanda los siguientes activos domésticos, en términos nominales: dinero, M , bonos gubernamentales, B_g , bonos

privados, B_e , y títulos de capital, K . Asimismo, el individuo representativo tiene acceso a un bono nominal del resto del mundo B_{rm} . Si es el nivel general de precios de la economía, entonces la riqueza real del consumidor está dada por:

$$a = m + b_g + b_e + k + b_{rm},$$

donde $m = M/P$, $b_g = B_g/P$, $b_e = B_e/P$, $k = K/P$ y $b_{rm} = E(B_{rm}/P)$, representan las demandas en términos reales de cada uno de los activos. Aquí denota el tipo de cambio nominal. Para que coexistan en el mercado los distintos activos financieros, en ausencia de riesgo e incertidumbre, éstos tienen que ser perfectos sustitutos, es decir, deben de pagar exactamente la misma tasa de rendimiento, r . Por otra parte, el agente representativo conoce perfectamente la trayectoria del índice nacional de precios, P , de tal forma que

$$\frac{dP}{P} \frac{1}{dt} = \pi^e = \pi.$$

Se supone que la condición de paridad de poder de compra (PPP) es válida, es decir, $P = EQ$, donde Q es el precio del bien en el resto del mundo. En esta forma, la inflación doméstica es igual a la tasa de depreciación del tipo de cambio nominal, es decir,

$$e + \rho = \pi,$$

donde

$$e = \frac{dE}{E} \frac{1}{dt}$$

es la tasa de depreciación del tipo de cambio y

$$\rho = \frac{dQ}{Q} \frac{1}{dt}$$

es la inflación del resto del mundo.

Por otro lado, el consumidor tiene un ingreso proveniente de diferentes fuentes: salario, intereses que pagan los distintos bonos, ganancias de capital y dividendos por la tenencia de acciones, ingresos por las exportaciones que realiza y transferencias de suma fija que le reembolsa el gobierno. Esos recursos se destinan al consumo del bien doméstico y del importado,

al incremento de los saldos monetarios reales, a la adquisición de bonos y acciones, y al pago de impuestos y de costos por la tenencia del dinero.

Para financiar su consumo el agente representativo necesita vender activos, y por ello incurre en costos de transacción o costos por la tenencia de saldos reales. Esos costos están dados por $\alpha y / m$, donde y representa los bienes que adquiere y α es una constante positiva (véase el apéndice A). Ahora bien, si c denota la demanda de consumo, z la demanda de importaciones, x la oferta de exportaciones, l la oferta de trabajo, $w = W / P$, el salario real, τ_c , τ_w y τ_z , y los impuestos al consumo, al salario y a las importaciones respectivamente, y T las transferencias de suma fija reembolsadas por el gobierno, entonces la restricción presupuestal del consumidor está dada por

$$(1 + \tau_c)c + (1 + \tau_z)\sigma_z z + \dot{m} + \dot{b}_g + \dot{b}_e + \dot{b}_{rm} + \dot{k} = (1 - \tau_w)wl + r(b_g + b_e + b_{rm} + k) + T + \sigma_x x - \pi m - \frac{\alpha y}{m}, \quad (1)$$

donde $\sigma_z = EP_z / P$ y $\sigma_x = EP_x / P$ son los precios relativos del bien importado y del exportado en relación al nivel general de precios internos.

II.2. Problema de decisión del consumidor

El problema de decisión intertemporal del agente representativo consiste en seleccionar las trayectorias de consumo, exportaciones e importaciones, así como la demanda de saldos reales y activos financieros, de tal forma que se maximice el valor presente de la utilidad total descontada, al tiempo $t = 0$, sujeto a su restricción presupuestal.¹

$$\text{Maximizar } \int_0^\infty u(c, v(l), z, x) e^{-rt} dt, \quad (2a)$$

$$\text{sujeto a: } \dot{m} + \dot{b}_g + \dot{b}_e + \dot{b}_{rm} + \dot{k} = (1 - \tau_w)wl + r(b_g + b_e + b_{rm} + k) + T - \pi m$$

$$- \frac{\alpha y}{m} + \sigma_x x - (1 + \tau_c)c - (1 + \tau_z)\sigma_z z, \quad (2b)$$

¹ Con el propósito de evitar dinámicas complejas en la trayectoria de equilibrio, se considera que la tasa subjetiva de descuento del consumidor es igual a la de interés real. Véanse por ejemplo Calvo (1986) y Turnovsky (2000).

$$m(0) = m_0, b_g(0) = b_{g0}, b_e(0) = b_{e0}, b_{rm}(0) = b_{rm0} \text{ y } k(0) = k_0, \quad (2c)$$

donde u representa la función de utilidad ($u_j > 0$, $u_{jj} < 0$, donde $j = c, z, x$, $u_l < 0$ y $u_{ll} < 0$).

El Hamiltoniano del problema de optimización del consumidor está dado por

$$\begin{aligned} H(c, v(l), z, x, m, b_g, b_e, b_{rm}, k; \lambda) = & u(c, v(l), z, x) + \lambda[(1 - \tau_w)wl + r(b_g + b_e + b_{rm} + k) \\ & + T - \pi m - \frac{\alpha y}{m} + \sigma_x x - (1 + \tau_c)c - (1 + \tau_z)\sigma_z z \\ & - \dot{m} - \dot{b}_g - \dot{b}_e - \dot{b}_{rm} - \dot{k}], \end{aligned}$$

donde λ es el multiplicador de Lagrange asociado a la restricción presupuestal. Las condiciones de primer orden para una solución interior son:

$$u_c = (1 + \tau_c)\lambda, \quad (3a)$$

$$u_z = (1 + \tau_z)\lambda\sigma_z, \quad (3b)$$

$$u_x = -\lambda\sigma_x, \quad (3c)$$

$$u_v v_l = (1 - \tau_w)\lambda w, \quad (3d)$$

$$\lambda \left(\pi - \alpha \frac{y}{m^2} \right) = \dot{\lambda} - \lambda r, \quad (3e)$$

$$\dot{\lambda} = 0 \quad (3f)$$

y la de transversalidad es

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda a e^{-rt} = 0. \quad (3g)$$

La condición (3f) establece que la utilidad marginal del ingreso se mantiene constante en el tiempo. En consecuencia, las tasas de crecimiento de las utilidades marginales son cero, es decir,

$$\frac{\dot{u}_c}{u_c} = \frac{\dot{u}_z}{u_z} = \frac{\dot{u}_x}{u_x} = \frac{\dot{u}_v}{u_v} = \frac{\dot{u}_m}{u_m} = 0.$$

Además, (3g) se puede expresar como

$$\lim_{t \rightarrow \infty} ae^{-rt} = 0. \tag{3g'}$$

con lo cual se elimina la posibilidad de que el consumidor realice pirámides para financiar su deuda con más y más deuda.

Por último, si R denota la tasa de interés nominal, $R=r+\pi$, la restricción presupuestal (2b) puede formularse como

$$\dot{a} = (1 - \tau_w)wl + ra + T - Rm - \frac{\alpha y}{m} + \sigma_x x - (1 + \tau_c)c - (1 + \tau_z)\sigma_z z,$$

o equivalentemente,

$$\frac{d}{dt} ae^{-rt} = \left[(1 - \tau_w)wl + T - Rm - \frac{\alpha y}{m} + \sigma_x x - (1 + \tau_c)c - (1 + \tau_z)\sigma_z z \right] e^{-rt},$$

lo cual implica que

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} ae^{-rt} - a_0 &= \int_0^\infty [(1 - \tau_w)wl + T - Rm - (\alpha y / m)] e^{-rt} dt \\ &\quad + \int_0^\infty [\sigma_x x - (1 + \tau_c)c - (1 + \tau_z)\sigma_z z] e^{-rt} dt \end{aligned}$$

Combinando esto con (3g') se obtiene que

$$\begin{aligned} \int_0^\infty [(1 + \tau_c)c + (1 + \tau_z)\sigma_z z - \sigma_x x] e^{-rt} dt &= a_0 + \\ \int_0^\infty [(1 - \tau_w)wl + T - Rm - (\alpha y / m)] e^{-rt} dt. &\tag{4} \end{aligned}$$

Este resultado junto con las condiciones en (3) conduce a la demanda del consumo, importaciones y saldos reales, y a la oferta de exportaciones.

Con el propósito de obtener soluciones analíticas de (2) que faciliten la discusión, se propone la siguiente especificación log-lineal de la función de utilidad:

$$u(c, v(l), z, x) = \phi[\theta \ln(c - v(l)) + (1 - \theta) \ln z] + (1 - \phi) \ln x, \tag{5}$$

donde los parámetros de sustitución satisfacen $0 < \phi < 1$ y $0 < \theta < 1$.

La combinación de las condiciones planteadas en (3a), (3b), (3c), la solución de (3f) y las utilidades marginales del consumo del bien doméstico, del importado y de la oferta del exportado, calculadas con base en (5), conducen a las siguientes decisiones óptimas:

$$c = \frac{\phi\theta}{(1 + \tau_c)\lambda_0} + v(l), \quad (6a)$$

$$z = \frac{\phi(1-\theta)}{(1 + \tau_z)\lambda_0\sigma_z} \quad (6b)$$

y

$$x = -\frac{(1-\phi)}{\lambda_0\sigma_x}. \quad (6c)$$

II.3. Consumo

A partir de (6a), (6b) y (6c) se obtiene la siguiente condición:

$$(1 + \tau_c)c + (1 + \tau_z)\sigma_z z - \sigma_x x = \frac{1}{\lambda_0} + (1 + \tau_c)v(l);$$

multiplicando ambos lados de la igualdad anterior por e^{-rt} , integrando el resultado sobre $[0, \infty)$ y utilizando (4) se llega a

$$\frac{1}{\lambda_0 r} = a_0 + \int_0^\infty [(1 - \tau_w)wl + T - Rm - (\alpha y / m) - (1 + \tau_c)v(l)]e^{-rt} dt.$$

Lo anterior junto con (6a) permite determinar la trayectoria óptima de la demanda de consumo:

$$c = \frac{\phi\theta}{1 + \tau_c} r \left\{ a_0 + \int_0^\infty [(1 - \tau_w)wl + T - Rm - (\alpha y / m) - (1 + \tau_c)v(l)]e^{-rt} dt \right\} + v(l). \quad (7)$$

Si se supone que los mercados de trabajo y de dinero están en equilibrio y que los impuestos en términos reales permanecen constantes a través del tiempo, la expresión anterior se reduce a la siguiente:²

$$c = \frac{\phi\theta}{1 + \tau_c} \left[r a_0 + (1 - \tau_w)w^* l^* + T - Rm^* - (\alpha y / m^*) \right] + (1 - \phi\theta)v(l^*). \quad (8)$$

² Esto es, existen w^* , l^* y m^* tales que $[(1 - \tau_w)/(1 + \tau_c)]w^* = v'(l^*)$, $l^d(w^*) = l^s(w^*) = l^*$ y $m^d = m^s = m^*$.

Si se denota $\alpha \equiv a_0 = m^* + b_{g0} + b_{e0} + b_{rm0} + k_0$ se define el ingreso disponible como

$$\begin{aligned} y_d &= y + r(b_{g0} + b_{e0} + b_{rm0}) - \pi m^* \\ &= y + R(b_{g0} + b_{e0} + b_{rm0}) - \pi(m^* + b_{g0} + b_{e0} + b_{rm0}), \end{aligned} \quad (9)$$

donde $y = rk_0 + (1 - \tau_w) w^* l^* + T$, se obtiene otra expresión para el consumo:

$$c = \frac{\phi\theta}{1 + \tau_c} \left(y_d - \frac{\alpha y}{m^*} \right) + (1 - \phi\theta)v(l^*), \quad (10)$$

a partir de la cual se determina que la propensión marginal a consumir está dada por

$$\frac{dc^d}{dy_d} = \frac{\phi\theta}{1 + \tau_c},$$

la cual es positiva y menor que la unidad, dadas las condiciones sobre ϕ y θ .

II.4. Importaciones

La combinación de las condiciones (6b) y (6c), la multiplicación de lo obtenido por e^{-rt} , la integración del resultado sobre $(0, \infty)$ (4) conducen a la siguiente expresión:

$$\frac{(1 - \phi\theta)}{\lambda_0 r} = a_0 + \int_0^\infty [(1 - \tau_w)wl + T - Rm - (\alpha y / m) - (1 + \tau_c)c] e^{-rt} dt.$$

La sustitución de esto en (6b) lleva a

$$z = \frac{\phi(1 - \theta)}{(1 - \phi\theta)(1 + \tau_z)\sigma_z} \left\{ a_0 + \int_0^\infty [(1 - \tau_w)wl + T - Rm - (\alpha y / m) - (1 + \tau_c)c] e^{-rt} dt \right\}.$$

Si se supone que los mercados están en equilibrio y los impuestos en términos reales no se modifican a través del tiempo y se procede igual

que en la determinación del consumo, esto es, se integra, se evalúa en $t=0$ y en este caso, se utiliza la definición de σ_z para obtener la demanda de importaciones:

$$z = \frac{\phi(1-\theta)}{(1-\phi\theta)} \frac{1}{(1+\tau_z)} \frac{P}{EP_z} \left[ra_0 + (1-\tau_w)w^*l^* + T - Rm^* - \frac{\alpha y}{m^*} - (1+\tau_c)c \right] \quad (11)$$

o equivalentemente, en términos del ingreso disponible:

$$z = \frac{\phi(1-\theta)}{(1-\phi\theta)} \frac{1}{(1+\tau_z)r} \frac{P}{EP_z} \left[\left(y_d - \frac{\alpha y}{m^*} \right) - (1+\tau_c)c \right]. \quad (12)$$

Es importante destacar que en ambas representaciones de la demanda de importaciones se tiene que

$$\frac{\partial z^d}{\partial E} < 0 \quad \text{y} \quad \frac{\partial z^d}{\partial c} < 0,$$

lo cual significa que cuando el tipo de cambio se deprecia (E aumenta) o el consumo del bien doméstico se incrementa, las importaciones disminuyen.

II.5. Exportaciones

Una vez que se ha combinado apropiadamente (6a) y (6b), multiplicado el resultado por λ_0 , integrado lo obtenido sobre t y utilizado (4), se tiene lo siguiente:

$$\frac{\phi(1-\theta)-1}{\lambda_0 r} = a_0 + \int_0^\infty [(1-\tau_w)wl + T - Rm - (\alpha y/m) - (1+\tau_z)\sigma_z z] e^{-rt} dt.$$

Despejando $1/\lambda_0$ y sustituyéndolo en (6c) lleva a

$$x = \frac{1-\phi}{\phi(1-\theta)-1} \frac{r}{\sigma_x} \left\{ a_0 + \int_0^\infty [(1-\tau_w)wl + T - Rm - (\alpha y/m) - (1+\tau_z)\sigma_z z] e^{-rt} dt \right\}$$

Suponiendo que los mercados están en equilibrio y los impuestos no se modifican a través del tiempo entonces, después de integrar, evaluar en $t=0$ y utilizar las definiciones de σ_z y σ_x , se obtiene que la oferta de exportaciones está dada por

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{1-\phi}{\phi(1-\theta)-1} \frac{P}{EP_x} \left[ra_0 + (1-\tau_w)w^*l^* + T - Rm^* - \frac{\alpha y}{m^*} - (1+\tau_z) \frac{EP_z}{P} z \right] \\
 &= \frac{1-\phi}{\phi(1-\theta)-1} \left\{ \frac{P}{EP_x} \left[ra_0 + (1-\tau_w)w^*l^* + T - Rm^* - \frac{\alpha y}{m^*} \right] - (1+\tau_z) \frac{P_z}{P_x} z \right\} \quad (13)
 \end{aligned}$$

o bien, en términos del ingreso disponible:

$$x = \frac{1-\phi}{\phi(1-\theta)-1} \left[\frac{P}{EP_x} \left(y_d - \frac{\alpha y}{m^*} \right) - (1+\tau_z) \frac{P_z}{P_x} z \right]. \quad (14)$$

Por lo tanto, la oferta de exportaciones satisface

$$\frac{\partial x^s}{\partial E} > 0,$$

esto es, cuando el tipo de cambio se deprecia, hay incentivos para que aumenten las exportaciones.

II.6. Saldos monetarios reales

La combinación de (3e) con (3f) conduce a

$$R - \frac{\alpha y}{m^2} = 0,$$

cuya solución proporciona la trayectoria óptima de la demanda de saldos reales, la cual es función del ingreso y de la tasa de interés nominal, es decir,

$$m = \left(\frac{\alpha y}{R} \right)^{1/2}. \quad (15)$$

Observe que

$$\frac{\partial m^d}{\partial y} = \frac{\alpha}{2} \left(\frac{\alpha y}{R} \right)^{-1/2} > 0$$

y

$$\frac{\partial m^d}{\partial R} = -\frac{\alpha}{2R} \left(\frac{\alpha y}{R} \right)^{-1/2} < 0.$$

En esta forma, la demanda de saldos reales depende positivamente del ingreso y negativamente de la tasa de interés nominal.

II.7. Previsión perfecta

En este modelo se requiere conocer la regla que seguirá la oferta monetaria en cada instante, y por tanto se supone que crece exponencialmente a la tasa μ , es decir,

$$M_s = M_t e^{(s-t)\mu}, \quad (16)$$

lo cual establece que la tasa de expansión monetaria está dada por $\dot{M}/M = \mu$. De esta manera, la inflación se hace endógena e igual a la tasa de crecimiento monetaria (Cagan, 1956), en cuyo caso la especificación de la demanda de saldos reales está dada por

$$\frac{M}{P} = e^{\beta_1 y - \beta_2 (r + \dot{P}/P)},$$

donde $\beta_1, \beta_2 > 0$. Si se tienen las cantidades de equilibrio y^* y r^* , se puede escribir que

$$\begin{aligned} \ln M - \ln P &= \beta_1 y^* - \beta_2 r^* - \beta_2 \frac{\dot{P}}{P} \\ &= \gamma - \beta_2 \frac{\dot{P}}{P} \end{aligned} \quad (17)$$

con

$$\gamma = \beta_1 y^* - \beta_2 r^*.$$

Esta ecuación diferencial de primer orden en $\ln P$ también se puede expresar como sigue:

$$\frac{d}{dt} \ln P - \frac{1}{\beta_2} \ln P = -\frac{\ln M}{\beta_2} + \frac{\gamma}{\beta_2}$$

o equivalentemente,

$$\frac{d}{dt}(\ln P)e^{-\frac{1}{\beta_2}t} = \left(-\frac{\ln M}{\beta_2} + \frac{\gamma}{\beta_2} \right) e^{-\frac{1}{\beta_2}t}.$$

La solución está dada por

$$\ln P_t + \gamma = \frac{1}{\beta_2} \int_t^\infty (\ln M_s) e^{-\frac{1}{\beta_2}(s-t)} ds,$$

misma que considera que la trayectoria futura de $\ln M_s$ es conocida.

Dado que en (16) se ha supuesto que los agentes saben que la oferta monetaria crece exponencialmente, entonces

$$\ln M_s = \ln M_t + \mu(s - t).$$

Sustituyendo esto en la integral se obtiene

$$\ln P + \gamma = \ln M + \beta_2 \mu. \tag{18}$$

Derivando este resultado respecto a t conduce a la expresión

$$\frac{\dot{P}}{P} = \frac{\dot{M}}{M},$$

la cual establece que la tasa de inflación es igual a la de los saldos reales, es decir,

$$\pi = \mu,$$

tal y como se había establecido.

III. Productores

III.1. Tecnología

La empresa representativa produce un bien, y , mediante la combinación de capital, k , y trabajo, l , en una función de producción $F(k, l)$. Esta tecnología presenta rendimientos constantes a escala y satisface las propiedades neoclásicas (véase el apéndice B). Más precisamente, las propiedades de F están dadas por:

i) Homogeneidad lineal en k y l :

$$F(\nu k, \nu l) = \nu F(k, l), \text{ para todo } \nu > 0.$$

ii) Productos marginales positivos, pero decrecientes:

$$F_k, F_l > 0, F_{kk}, F_{ll} < 0, \text{ para todo } k, l > 0.$$

Se supone también que k y l son complementos en producción, es decir, $F_{kl} > 0$.

Además, como consecuencia del teorema de Euler para funciones lineales homogéneas, la función de producción se puede plantear como

$$y = F(k, l) = kF_k + lF_l. \quad (19)$$

III.2. Formulación del problema intertemporal

El análisis supone una empresa representativa que participa en un mercado de capitales. La empresa enfrenta costos de ajuste cada vez que hace una inversión y maximiza el valor presente de los flujos de efectivo esperados, es decir, el valor presente de los beneficios esperados en términos nominales.³

El beneficio nominal de la empresa, cada instante, una vez pagados el impuesto sobre la producción, τ_y , y el costo de ajuste de la inversión, capital adicional, está dado por

$$P[(1 - \tau_y)y - wl] - C(i, \dot{k})$$

donde

$$C(i, \dot{k}) = P[i + \psi(\dot{k})]. \quad (20)$$

Aquí, i es la demanda de inversión, $\dot{k} = i - \delta k$ es el cambio en el acervo de capital, δ es la depreciación del capital, $\psi(\dot{k})$ es la función de los cos-

³ Esta aproximación del problema de decisión del productor pretende dar un enfoque racional para justificar la función de inversión keynesiana. Véanse por ejemplo Lucas (1967) y Gould (1968).

tos de ajuste, y todo lo demás se define como antes. La función de costos planteada en (20) establece que i unidades adicionales de capital requieren $\psi(\dot{k})$ unidades de producto.⁴ $\psi(k)$ debe ser una función no negativa, doblemente diferenciable, que satisface las siguientes propiedades:

- i) $\psi'(\dot{k}) > 0$ si $\dot{k} > 0$,
 $(\psi'(\dot{k}) < 0$ si $\dot{k} < 0)$,
- ii) $\psi''(\dot{k}) > 0$
- iii) $\psi(0) = 0$.

En consecuencia, el problema de decisión de la empresa representativa consiste en seleccionar y, l, k e i de manera que maximicen el valor presente de sus beneficios esperados nominales, sujeto a su tecnología, es decir,

$$\text{Maximizar } \int_0^{\infty} P[(1 - \tau_y)y - wl - C(i, \dot{k})]e^{-Rt} dt, \tag{21a}$$

$$\text{sujeto a: } y = F(k, l), \tag{21b}$$

$$\dot{k} = i - \delta k, \tag{21c}$$

$$y(0) = y_0, \quad l(0) = l_0, \quad k(0) = k_0 \quad \text{e} \quad i(0) = i_0. \tag{21d}$$

El Hamiltoniano de este problema es

$$H(y, l, k, i; q) = P[(1 - \tau_y)F(k, l) - wl - (i + \psi)] + q(i - \delta k - \dot{k}),$$

donde $q = \bar{q}e^{Rt}$ y \bar{q} es el valor presente del precio sombra q asociado a la acumulación del capital. De esta forma, q representa el valor actual del precio sombra del capital adicional en unidades de producto.

Las condiciones de primer orden para una solución interior son:

$$(1 - \tau_y)F_l = w, \tag{22a}$$

$$P(1 + \psi') = q \tag{22b}$$

⁴ La función de los costos de ajuste puede tener varias especificaciones que dependen de la inversión bruta o de la neta. Barro y Sala-i-Martin (1995) y Turnovsky (1999) la formulan en términos de la inversión bruta, i , mientras que aquí se hace al estilo de Sargent (1987), en función de $i - \delta k$.

y

$$-\{P[(1-\tau_y)F_k + \delta\psi'] - \delta q\} = \dot{q} - Rq \quad (22c)$$

y la de transversalidad es

$$\lim_{t \rightarrow \infty} qke^{-Rt} = 0. \quad (22d)$$

La ecuación (22a) establece que el producto marginal del trabajo después de impuestos es igual al salario real, (22b) expresa que el precio sombra de la acumulación de capital es igual al costo marginal de la inversión, ya que $1 + \psi' = C_i$ y (22c) combinada con (22b) es equivalente a

$$\frac{\dot{q}}{q} + \frac{P[(1-\tau_y)F_k - \delta]}{q} = R,$$

la cual plantea que la tasa de crecimiento del precio sombra del capital más los dividendos en relación a q , debe ser igual a la tasa de rendimiento del capital.⁵

III.3. Inversión

Después de sustituir q de (22b) y su derivada: $\dot{q} = P(i - \delta\dot{k})\psi''$, en (22c) se obtiene

$$(i - \delta\dot{k})\psi'' - R\psi' + (1 - \tau_y)F_k - (R + \delta) = 0$$

o expresada en términos del capital

$$\dot{k}\psi'' - R\psi' + (1 - \tau_y)F_k - (R + \delta) = 0. \quad (23)$$

Ésta es una ecuación diferencial en k , y su orden depende de los costos de ajuste. Si se considera que ellos están dados por $\psi(\dot{k}) = (\beta/2)\dot{k}^2$ con $\beta > 0$, de forma que $\psi' = \beta\dot{k}$ y $\psi'' = \beta$, entonces (23) se puede formular como

$$\dot{k} - R\dot{k} + \frac{1}{\beta} [(1 - \tau_y)F_k - (R + \delta)] = 0.$$

⁵ Esta 'q marginal' casi nunca es observable. En Hayashi (1982) se muestra que una modificación adecuada de los costos de ajuste conduce a una 'q promedio', la cual es muy apreciada desde el punto de vista empírico.

En consecuencia,

$$\dot{k} = \eta e^{Rt} - \frac{D}{R} \tag{24}$$

y

$$k = \frac{\eta}{R} e^{Rt} - \frac{D}{R} t + \left(k_0 - \frac{\eta}{R} \right) \tag{25}$$

donde η es la constante de integración y

$$D = -\frac{1}{\beta} [(1 - \tau_y)F_k - (R + \delta)] = -\frac{R}{\beta} \left[\frac{(1 - \tau_y)F_k - \delta}{R} - 1 \right].$$

Desde el punto de vista económico, la solución particular planteada en (25) y la de (24) no son las adecuadas, debido a que ellas conducen a un valor negativo de la empresa. En el apéndice B se calcula el valor de la empresa y se hace notar que para garantizar su no negatividad es necesario que $\eta = 0$, hecho que origina que las trayectorias óptimas del cambio en el acervo del capital y del propio acervo, respectivamente, se puedan formular de manera respectiva como sigue:

$$\dot{k} = -\frac{D}{R} = \frac{1}{\beta} \left[\frac{(1 - \tau_y)F_k - \delta}{R} - 1 \right] \tag{24'}$$

y

$$\begin{aligned} k &= -\frac{D}{R} t + k_0 = \dot{k} t + k_0 \\ &= \frac{1}{\beta} \left[\frac{(1 - \tau_y)F_k - \delta}{R} - 1 \right] t + k_0. \end{aligned} \tag{25'}$$

Estas soluciones también se pueden formular en términos del precio sombra del capital adicional, tal y como se muestra a continuación. La sustitución de

$$q = P(1 + \psi') = (1 + \beta \dot{k}) = \frac{P[(1 - \tau_y)F_k - \delta]}{R}, \tag{26}$$

en (24') conduce a las siguientes trayectorias:

$$k = \frac{1}{\beta} \left(\frac{q}{P} - 1 \right) t + k_0, \tag{27}$$

de donde se obtiene que

$$\dot{k} = \frac{1}{\beta} \left(\frac{q}{P} - 1 \right).$$

La combinación de estos resultados lleva a la determinación de la demanda de inversión:

$$\begin{aligned} i &= \dot{k} + \delta k = (1 + \delta t) \dot{k} + \delta k_0 \\ &= \frac{1}{\beta} (1 + \delta t) \left(\frac{q}{P} - 1 \right) + \delta k_0, \end{aligned} \quad (28)$$

IV. Gobierno

El gobierno toma decisiones de gasto, financiamiento e impositivas, y no acumula bienes de consumo ni de capital. Su déficit está constituido por los intereses que se pagan por concepto de deuda menos los impuestos recaudados, y se financia mediante incrementos en la oferta monetaria y en la emisión de bonos gubernamentales. Por esto, su restricción presupuestal en términos reales es la siguiente:

$$\dot{m} + \dot{b}_g = g + Rb_g - (\tau_w wl + \tau_c c + \tau_z \sigma_z z + \tau_y y) - \pi m + T, \quad (29)$$

donde g es el consumo del gobierno del bien producido internamente y del importado.

V. Identidad de la renta nacional

La identidad de la renta nacional da cuenta de cómo se distribuye el producto entre los distintos agentes económicos, es decir, proporciona una condición de equilibrio en el mercado de bienes. En su determinación hay que combinar algunos resultados de las secciones anteriores, tal y como se hace a continuación.

La sustitución de la restricción presupuestal del gobierno en la evolución de la riqueza del consumidor (2b), lleva a

$$c + \sigma_z z - \sigma_x x + g + Rb_g + \dot{b}_e + \dot{b}_{rm} + \dot{k} - r(b_g + b_e + b_{rm} + k) + \frac{\alpha y}{m} = wl + \tau_y y. \quad (30)$$

Por su parte, la condición (22a), la propiedad de las funciones neoclásicas planteada en (19) y la expresión del precio sombra del capital adicional formulada en (26), conducen a

$$wl + \tau_y y = y - (1 - \tau_y)kF_k = y - \left(\frac{qR}{P} + \delta \right) k.$$

Con este resultado y el planteado en (30) se obtiene la identidad del ingreso, que en este caso se puede formular como sigue:

$$y = N + g + i + \delta k, \tag{31}$$

donde $N = c + \sigma_z z - \sigma_x x$ e $i = \dot{b}_e + \dot{b}_{rm} + \dot{k} + \left(\frac{q}{P} R - r \right) k + \pi b_g - r(b_e + b_{rm}) - \frac{\alpha y}{m}$.⁶

VI. Balanza de pagos

La oferta de divisas, D_s , se encuentra constituida por las que entran al país vía las exportaciones, los intereses generados por los bonos del resto del mundo adquiridos por inversionistas nacionales, y los ingresos por las ventas en el exterior de los bonos emitidos por el gobierno, esto es,⁷

$$D_s = P\sigma_x x + RB_{rm} + DG_s(R), \tag{32}$$

donde $DG_s(R) = (1 - \kappa)B_g$ y $DG'_s > 0$.

Por su parte, la demanda de divisas, D_d , está compuesta por las que se requieren para importar y para adquirir bonos del resto del mundo, y las que necesita el gobierno para el pago de la deuda por los bonos que emite y que son vendidos en el exterior, es decir,

$$D_d = P\sigma_z z + B_{rm} + DG_d(R), \tag{33}$$

⁶ Cuando la empresa no enfrenta costos de ajuste, $q=P$ y $(1-\tau_y)F_k=R+\delta$, que se obtienen de (22b) y (22c) de manera respectiva. En esta situación, el coeficiente del capital en la definición de la inversión es π , la tasa de inflación.

⁷ En las secciones anteriores se ha considerado que los inversionistas nacionales son los únicos que tienen acceso a los bonos emitidos por el gobierno. Dado que los resultados obtenidos bajo este supuesto no se modifican sustancialmente, en esta sección, en aras de ser más generales se considerará que los inversionistas nacionales compran sólo una proporción k , $0 \leq k \leq 1$, de esos bonos.

donde $DG_d(R) = (1 - \kappa)RB_g$ es la divisa que demanda el gobierno para el pago de la deuda por los bonos que vende a inversionistas extranjeros, y es tal que $DG'_d > 0$.

Suponiendo que el mercado de divisas se encuentra en equilibrio, $D_s = D_d$, la balanza de pagos se puede formular como sigue

$$P(\sigma_x x - \sigma_z z) - B_{rm} - DG_d(R) + RB_{rm} + DG_s(R) = 0, \quad (34)$$

donde $P(\sigma_x x - \sigma_z z) = BC$ es la balanza comercial, $P(\sigma_x x - \sigma_z z) - B_{rm} - DG_d(R) = CC$ es la cuenta corriente, $RB_{rm} + DG_s(R) = CK$ es la cuenta de capital, y finalmente, $B_{rm} + DG_s(R) - RB_{rm} - DG_d(R) = FK$ es el flujo neto de capital.

VII. Modelo macroeconómico

En las secciones anteriores se han obtenido, con microfundamentos, los determinantes de las principales variables económicas, se ha planteado la restricción presupuestal del gobierno, se ha determinado la identidad del ingreso, y se ha formulado la balanza de pagos y sus diferentes componentes. Con ello, ya se tienen todos los elementos para formular las relaciones de comportamiento, definiciones y la condición de equilibrio que conforman el modelo macroeconómico formulado a partir de microfundamentos.

Cabe mencionar que debido a la carencia de información empírica de la economía mexicana sobre algunos de los determinantes de las variables asociadas a los agregados económicos, se tuvieron que dejar fuera del planteamiento del modelo macro algunos de ellos. Tal es el caso de la desutilidad del trabajo, por citar un ejemplo.

VII.1. Ecuaciones de comportamiento

- Demanda del bien doméstico.

En (10) se obtuvo para la demanda de consumo la siguiente relación:

$$c = \frac{\phi\theta}{1 + \tau_c} \left(y_d - \frac{\alpha y}{m^*} \right) + (1 - \phi\theta)v(l^*).$$

Por tanto, se puede establecer que el consumo depende del ingreso disponible, esto es,

$$c^d = c^d(y_d)$$

- Demanda del bien importado.

La demanda del bien importado se encuentra formulada en (12) y está dada por

$$z = \frac{\phi(1-\theta)}{(1-\phi\theta)} \frac{1}{(1+\tau_z)r} \frac{P}{EP_z} \left[\left(y_d - \frac{\alpha y}{m^*} \right) - (1+\tau_c)c \right].$$

De manera que las variables que determinan esta demanda son el ingreso disponible, el consumo del bien doméstico, el tipo de cambio y el nivel general de precio, es decir,

$$z^d = z^d(y_d, c, E, P)$$

- Oferta del bien exportado.

La ecuación en (14) establece que las exportaciones se determinan como:

$$x = \frac{1-\phi}{\phi(1-\theta)-1} \left[\frac{P}{EP_x} \left(y_d - \frac{\alpha y}{m^*} \right) - (1+\tau_z) \frac{P_z}{P_x} z \right].$$

De esta forma, la oferta del bien exportado depende del ingreso disponible, de las importaciones, del tipo de cambio, del nivel general de precios y de los precios del bien exportado y del importado:

$$x^s = x^s(y_d, z^d, E, P).$$

- Demanda de inversión.

La demanda de inversión se obtuvo en (28) y se encuentra dada por

$$i = \frac{1}{\beta} (1 + \delta t) \left(\frac{q}{P} - 1 \right) + \delta k_0,$$

de manera que depende del precio sombra del capital. Por lo cual se puede plantear que

$$i^d = i^d(q).$$

- Demanda de saldos reales.

La demanda de saldos reales está determinada por el ingreso y la tasa de interés nominal:

$$m^d = m^d(y, R),$$

tal y como se determinó en (15).

- Oferta del bien doméstico.

En el desarrollo del modelo intertemporal del productor se estableció una función de producción neoclásica que depende de capital y trabajo:

$$y^s = F(k, l^d).$$

VII. 2. Identidades

Las identidades de la demanda total y de la renta nacional fueron establecidas en la sección 5 y son de manera respectiva:

$$N^d = c^d + \sigma_z z^d - \sigma_x x^s$$

y

$$y^s = N^d + g + i^d + \delta k.$$

Por su parte, la balanza comercial es:

$$BC = P(\sigma_x x - \sigma_z z),$$

mientras que la cuenta corriente y de capital vienen dadas por

$$CC = P(\sigma_x x - \sigma_z z) - B_{rm} - DG_d(R)$$

y

$$CK = RB_{rm} + DG_s(R),$$

respectivamente. Con estos resultados se obtiene en (24) la balanza de pagos:

$$BP = P(\sigma_x x - \sigma_z z) - B_{rm} - DG_d(R) + RB_{rm} + DG_s(R).$$

VII.3. El modelo

Las condiciones para obtener el equilibrio general del modelo macroeconómico son $m^d = m^s = m$ e $i^d = i^s = i$, y las variables endógenas son y , c , z , x , i , m y P . Por lo cual el modelo macroeconómico se formula como sigue:

$$c = c(y_d), \quad c_{y_d} > 0. \quad (35a)$$

$$z = z(y_d, c, E, P), \quad z_E < 0. \quad (35b)$$

$$x = x(y_d, z, E, P), \quad x_E > 0. \quad (35c)$$

$$m = m(y, R), \quad m_y > 0, \quad m_R < 0. \quad (35d)$$

$$i = i(q - 1). \quad (35e)$$

$$y = F(k, l), \quad F_k, F_l > 0, \quad F_{kk}, F_{ll} < 0. \quad (35f)$$

$$\dot{P}/P = \pi(m, r). \quad (35g)$$

$$N = c + \sigma_z z - \sigma_x x. \quad (35h)$$

$$y = N + g + i + \delta k. \quad (35i)$$

$$BC = P(\sigma_x x - \sigma_z z). \quad (35j)$$

$$CC = P(\sigma_x x - \sigma_z z) - B_{rm} - DG_d(R). \quad (35k)$$

$$CK = RB_{rm} + DG_s(R). \quad (35l)$$

$$BP = P(\sigma_x x - \sigma_z z) - B_{rm} - DG_d(R) + RB_{rm} + DG_s(R). \quad (35m)$$

VIII. Modelo macroeconómico con microfundamentos para México

En términos generales se puede decir que en la elaboración de un modelo macroeconómico, el marco teórico macroeconómico se usa como punto de partida para establecer los determinantes de las variables endógenas que lo integran, los signos, y posiblemente las magnitudes que los coeficientes de las variables predeterminadas (endógenas rezagadas y

exógenas) deban tener, y algunas otras características inherentes al modelo o a las variables mismas. Sin embargo, de ninguna manera debe utilizarse para decidir la forma funcional de sus relaciones de comportamiento, ni el número de rezagos de las variables que se incorporan en ellas. Éstas son decisiones empíricas que resultan de probar especificaciones alternativas para una relación de comportamiento particular, con el firme propósito de obtener el modelo econométrico que proporcione los mejores resultados, en lo que respecta a la evaluación de políticas y pronósticos.

En la formulación del modelo macroeconómico con microfundamentos para México, se parte básicamente de las relaciones de comportamiento del modelo macroeconómico planteado en la sección anterior; de las relaciones (35a) a la (35m). Debido a la naturaleza de los datos observados, se integran otras y se agregan algunas identidades con el propósito de cerrar el modelo. Dada una especificación inicial, y elegida la información empírica con la que se alimentará, se procede a implementar la metodología econométrica estructural propuesta en Spanos (1986) y (1988).

El análisis econométrico, y más precisamente la evaluación de los supuestos teóricos y estadísticos del modelo estimable, conduce a proponer formas funcionales alternativas a las que se proponen inicialmente, y/o a introducir especificaciones dinámicas de algunas de las variables de interés; todo con el propósito de obtener un modelo con buena capacidad explicativa y poder predictivo. Es por esta razón que la especificación final del modelo no tiene por qué coincidir con la que se propone inicialmente, pero sí debe en todo momento respetar el marco teórico que lo sustenta.

VIII.1. Características generales

El modelo macroeconómico con microfundamentos para México se alimenta de información trimestral del periodo comprendido entre el primer trimestre del año 1995 y el último del 2002.⁸ Los datos observados de las variables del modelo macroeconómico se encuentran en términos reales, y tienen como base el año de 1993. Está constituido por siete ecuaciones de comportamiento y diez identidades, algunas de las cuales se originan

⁸ El Banco de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y los Informes Económicos del Banco de México (BANXICO) son las principales fuentes de información empírica que se utilizaron en el modelo.

por la forma en que se contabilizan los agregados de las principales variables de la economía mexicana.⁹

VIII.2. Definición de variables y especificación inicial

A continuación se presenta la especificación inicial del modelo macroeconómico con microfundamentos para México, expresado en términos de las variables observadas asociadas al modelo macroeconómico teórico, presentado en la sección anterior [de la relación en (35a) a la (35m)]. Se plantean las ecuaciones de comportamiento, y con el propósito de cerrar el modelo, es decir, de hacerlo consistente con el sistema de cuentas nacionales de México, se agregan algunas definiciones e identidades. En cada ecuación se agrega la nomenclatura de las variables observadas, y entre paréntesis la notación que se ha usado en el modelo teórico. También se muestran los signos que se espera obtener para los coeficientes de las variables explicativas, las que determinan cada una de las endógenas.

VIII. 2.1. Ecuaciones estocásticas

- Consumo privado: $c = c(y_d)$, $c_{y_d} > 0$.

$CONS = F(YPD)$.

$CONS$ (cp): consumo de bienes producidos en el país en términos reales.

YPD (y_d): ingreso personal disponible real ($y_d \equiv yd$).

$F' > 0$.

- Importaciones: $z = z(y_d, c, E, P)$, $z_E < 0$.

$IMPOR = F(YPD, CONS, TCAMBIO, INPC)$.

$IMPOR$ (z): importaciones totales de bienes y servicios reales.

$TCAMBIO$ (tcr): tipo de cambio real.

$INPC$ (P): índice nacional de precios al consumidor (nivel general de precios).

$F_1 > 0$, $F_2 > 0$, $F_3 < 0$ y $F_4 > 0$.

⁹ En la literatura econométrica existen varios métodos para estimar modelos de ecuaciones simultáneas.

- Exportaciones: $x = x(y_d, z, E, P)$, $x_E > 0$.
 $EXPOR = F(YPD, IMPOR, TCAMBIO, INPC)$.
 $EXPOR(x)$: exportaciones totales de bienes y servicios reales.
 $F_1 > 0, F_2 > 0, F_3 > 0$ y $F_4 > 0$.
- Inversión privada: $i = i(q - 1)$.
 $INVERP = F(CETES)$.
 $INVERP(inv)$: formación bruta de capital privado en términos reales.
 $CETES(rr)$: tasa de rendimiento real de los $CETES$ a 28 días.
 $F' > 0$.
- Demanda de saldos reales: $m = m(y, R)$, $m_y > 0$, $m_R < 0$.
 $\ln M1 = F(YPD, CETES, INPC)$.
 $M1(m1r)$: agregado monetario $M1$ en términos reales.
 $F_1 > 0, F_2 < 0$ y $F_3 < 0$.
- Producción: $y = F(k, l)$, $F_k, F_l > 0$, $F_{kk}, F_{ll} < 0$.
 $PIB = F(\Delta INVERP, EMP)$.¹⁰
 $PIB(y)$: producción real.
 $\Delta INVERP(k)$: cambio en la $INVERP$
 $EMP(l)$: población ocupada.
 $F_1 > 0$ y $F_2 > 0$.
- Precios: $\dot{P}/P = \pi(m, r)$.
 $\ln INPC = F(M1, CETES)$.
 $F_1 > 0$ y $F_2 > 0$.

VIII.2.2. Identidades

- Consumo privado real
 $CONSP = CONS + IMPOR - EXPOR$,
 $CONSP$: consumo privado real.
- Ingreso nacional disponible real.
 $YND = CONSP + CONSG + AH$,
 YND : ingreso nacional disponible real.
 $CONSG$ (parte de g): consumo de gobierno real.
 AH : ahorro real.

¹⁰ En adelante $X(-h)$ denotará la variable X rezagada h periodos y $\Delta X = X - X(-1)$ será la primera diferencia de X .

- Ingreso personal disponible real.
 $YPD=YND-TI$.
TI: impuestos indirectos.

- Demanda agregada real.
 $DA=CONSP+CONSG+INVERP+INVERG+EXPOR+VEXIS$,
DA: demanda agregada real.
INVERG (parte de *g*): inversión de gobierno real.
VEXIS: variación de existencias reales.

- Oferta agregada real.
 $OA=PIB+IMPOR$.
OA: oferta agregada real.

- Equilibrio en el mercado de bienes.
 $DA=OA$ o bien, $VEXIS=OA-CONSP-CONSG-INVERP-INVERG-EXPOR$.

- Balanza comercial en términos reales.
 $BC=EXPOR-IMPOR$.

- Cuenta corriente en términos reales.
 $CC=BC+BSF+BSNF+BT$.
CC: balanza en cuenta corriente en términos reales.
BSF: balanza de servicios factoriales en términos reales.
BSNF: balanza de servicios no factoriales en términos reales.
BT: balanza de transferencias en términos reales.

- Balanza de pagos en términos reales.
 $BP=CC+CK+VRI+EO$.
BP: balanza de pagos en términos reales.
CK: balanza de cuenta de capital en términos reales.
VRI: variación en las reservas internacionales en términos reales.
EO: errores y omisiones en términos reales.

VIII.3. Estimación del modelo

La metodología econométrica se inicia con el modelo formulado en la sección VIII.2. Su marco teórico originado a partir del análisis micro es

de gran utilidad para saber qué variables determinan las que nos interesa modelar, sus signos, la magnitud de sus coeficientes, y algunas otras características inherentes al modelo. Sin embargo, el modelo teórico no se utiliza para decidir la forma funcional, ni el número de rezagos de las variables que se incorporan en él. Éstas son decisiones empíricas que resultan de analizar la dinámica de la información empírica integrada al modelo, o bien de probar especificaciones alternativas para las relaciones de comportamiento, con el único propósito de obtener el mejor modelo.

El modelo econométrico que se presenta en este trabajo es el resultado de un proceso que incluye, entre otros elementos, la evaluación del modelo estimado mediante diferentes pruebas de diagnóstico. De manera que si no es del todo adecuada se revisa la especificación, y en su caso, se sugiere una formulación alternativa.

Así, la metodología seguida condujo a que la especificación inicial del modelo tuviera que modificarse en aras de obtener uno bueno. Los determinantes de las ecuaciones de comportamiento se trataron de mantener hasta donde fue posible, pero se tuvo que incorporar más dinámica a cada ecuación de comportamiento, debido a lo inadecuado de los resultados de la evaluación económica y econométrica. La dinámica introducida consistió en agregar rezagos hasta de cuarto orden en cada una de las ecuaciones de comportamiento, lo cual se justifica por la periodicidad trimestral de la información empírica con la que se alimentó el modelo.

A pesar de lo anterior, hubo necesidad de sacar de la especificación las variables explicativas que impedían obtener buenos resultados de evaluación. De tal forma que si en el modelo que se presenta en este trabajo no aparecen como variables explicativas algunos de los rezagos o incluso algunos de los determinantes establecidos en el marco teórico, es porque en el proceso econométrico se decidió eliminarlos.

El modelo macroeconómico con microfundamentos para México fue elaborado siguiendo las líneas de acción de la econometría estructural (Spanos, 1986 y 1988). Las ecuaciones de comportamiento son lineales y en su presentación, bajo cada parámetro estimado, se muestra el estadístico t y se reportan los de las pruebas de diagnóstico más relevantes, con sus correspondientes p -value entre paréntesis.

La estacionariedad de las variables incorporadas en el modelo se analiza mediante la prueba de raíces unitarias de Dickey y Fuller; la cointegración se examina a través de la prueba de Johansen; y la especificación del número óptimo de rezagos se determina con las pruebas de Akaike,

Hannan-Quinn y Schwarz. Asimismo, se llevan a cabo diversas pruebas estadísticas de diagnóstico.

- Consumo privado

En el apéndice D, cuadro 20, se puede observar que el consumo privado y el ingreso disponible tienen orden de integración I(1). A continuación se presentan las pruebas para especificar el número óptimo de rezagos, pruebas de cointegración y varias pruebas de diagnóstico.

Cuadro 1. Criterios para especificar el número correcto de rezagos en el VAR

Núm. de rezagos	Criterios de información		
	Akaike	Hannan-Quinn	Schwarz
0	-6.59	-6.57	-6.50
1	-8.03	-7.94	-7.74
2	-9.98	-9.84	-9.51
3	-11.14	-10.94	-10.48
4	-11.75*	-11.49*	-10.89*

Notas: (*) Indica el número de rezagos correctos para el VAR. Periodo 1995:01 – 2002:04.

Cuadro 2. Prueba de cointegración para la ecuación de consumo privado mediante el procedimiento de Johansen

Ho	Prueba de la traza	Valores críticos (5%)	Prueba de la raíz característica máxima	Valores críticos (5%)
$r = 0$	17.99*	12.5	12.11*	11.4
$r \leq 1$	2.877	3.8	2.877	3.8

Notas: r = Número de vectores de cointegración. (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. Número de rezagos en el VAR = 4. Periodo 1995:01 – 2002:04.

El vector de cointegración normalizado como una función del consumo privado se muestra a continuación (en todo lo que sigue las variables están en logaritmos):

$$cp_t = 0.984 * yd_t$$

Cuadro 3. Pruebas de diagnóstico sobre el procedimiento de Johansen

<i>Variable</i>	<i>LM (4)</i> <i>F(4,15)</i>	<i>ARCH (4)</i> <i>F(4,11)</i>	<i>Jarque-Bera</i> $\chi^2(2)$	<i>R</i> ²
cp_t	0.782 [0.558]	0.354 [0.835]	2.653 [0.265]	0.982
yd_t	1.811 [0.191]	0.244 [0.905]	7.097 [0.028]	0.979

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. LM = prueba de autocorrelación, ARCH = prueba de heterocedasticidad. Jarque-Bera = prueba de normalidad. Número de rezagos en el VAR = 4. Periodo 1995:01 – 2002:04.

El modelo de corrección de error del consumo privado está dado por:

$$\Delta cp = -0.232^* \Delta cp(-1) + 0.516^* \Delta cp(-4) + 0.366^* \Delta yd - 0.185^* mcecp(-1).$$

t-stad (-2.704) (4.620) (3.029) (-2.646)

El mecanismo de corrección de error del consumo privado se denota mediante la variable *mcecp*.

Cuadro 4. Pruebas de diagnóstico sobre el modelo de corrección de error del consumo privado

*Coefficiente de determinación R*²: 0.901

Pruebas de diagnóstico:

Jarque-Bera:	$\chi^2(2)$: 0868 [0.647]
Durbin-Watson:	1.914
LM (4):	<i>F</i> : 0.713 [0.593]
ARCH (4):	<i>F</i> : 0.413 [0.796]
White (4):	<i>F</i> : 0.404 [0.904]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(4):	1.497 [0.827]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(16):	10.103 [0.607]

Notas: Los valores entre paréntesis indican el número de rezagos. Los valores entre corchetes indican la probabilidad. Periodo: 1995:01 – 2002:04.

Debido a que las variables incorporadas en esta ecuación están cointegradas, se ha estimado un modelo de corrección de error. De acuerdo

con los resultados de especificación, los coeficientes son estadísticamente significativos, y representan elasticidades constantes los de la ecuación de largo plazo, y variables los restantes. De esta manera, en todo el periodo de estimación, la variable que más va a impactar en el consumo de los bienes domésticos es la del ingreso personal disponible en la relación de cointegración, la de largo plazo.

- Importaciones

$$\Delta z = 0.116 + 1.886*\Delta cp - 0.646*\Delta cp(-4) - 0.012*tc r + 0.147*\Delta z(-4)$$

t-stad (2.3161) (9.3505) (-1.8846) (-2.1492) (1.8852)

Cuadro 5. Estadísticas de la ecuación de la demanda de importaciones

<i>Coeficiente de determinación R²:</i>	0.9543
Pruebas de diagnóstico:	
Jarque-Bera:	$\chi^2(2)$: 0.7570 [0.6849]
Durbin-Watson:	2.2964
LM (4):	<i>F</i> : 1.4358 [0.2514]
ARCH (4):	<i>F</i> : 3.7204 [0.4452]
White (4):	<i>F</i> : 5.6538 [0.4630]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(4):	6.1127 [0.191]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(16):	22945 [0.199]

Notas: Los valores entre paréntesis indican el número de rezagos. Los valores entre corchetes indican la probabilidad. Periodo: 1995:01 – 2002:04.

En esta ecuación todos los parámetros son estadísticamente significativos y también representan elasticidades. En los casos del consumo y de las importaciones las elasticidades son constantes.

- Exportaciones

$$\Delta x = -0.064 + 0.388*\Delta z + 0.081*tc r + 0.209*\Delta x(-4)$$

t-stad (-2.4325) (5.9622) (5.8794) (3.0556)

Cuadro 6. Estadísticas de la ecuación de la oferta de exportaciones

<i>Coefficiente de determinación R²:</i>	0.8876
Pruebas de diagnóstico:	
Jarque-Bera:	$\chi^2(2)$: 0.7473 (0.6882)
Durbin-Watson:	1.7124
LM (4):	<i>F</i> : 2.2910 [0.6824]
ARCH (4):	<i>F</i> : 3.8876 (0.4214)
White (4):	<i>F</i> : 20.1031 (0.1099)
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(4):	2.0581 (0.725)
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(16):	14.095 (0.592)

Notas: Los valores entre paréntesis indican el número de rezagos. Los valores entre corchetes indican la probabilidad. Periodo: 1995:01 – 2002:04.

Aunque todas las variables explicativas de las exportaciones en esta ecuación son importantes, destaca la del tipo de cambio, que de alguna forma refleja el grado de competitividad de los bienes nacionales respecto a los del extranjero. Nuevamente, los coeficientes estimados representan elasticidades.

- Inversión privada

A continuación se presentan las pruebas para especificar el número óptimo de rezagos (Akaike, Hannan-Quinn y Schwarz), pruebas de cointegración (Johansen) y varias pruebas de diagnóstico.

Cuadro 7. Criterios para especificar el número correcto de rezagos en el VAR

<i>Núm. de rezagos</i>	<i>Criterios de información</i>		
	<i>Akaike</i>	<i>Hannan-Quinn</i>	<i>Schwarz</i>
0	1.10	1.13	1.20
1	-1.57	-1.48	-1.29*
2	-1.76	-1.61	-1.28
3	-1.87*	-1.67*	-1.21
4	-1.69	-1.43	-0.84

Notas: (*) Indica el número de rezagos correctos para el VAR. Periodo 1995:01 – 2002:04.

Cuadro 8. Prueba de cointegración para la ecuación de la inversión privada utilizando el procedimiento de Johansen

<i>Ho</i>	<i>Prueba de la traza</i>	<i>Valores críticos (5%)</i>	<i>Prueba de la raíz característica máxima</i>	<i>Valores críticos (5%)</i>
$r = 0$	15.52*	15.4	14.46*	14.1
$r \leq 1$	1.06	3.8	1.06	3.8

Notas: r = Número de vectores de cointegración. (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. Número de rezagos en el VAR = 3. Periodo 1995:01 – 2002:04.

El vector de cointegración normalizado como una función de la inversión privada se muestra a continuación:

$$inv_t = - 0.013*rr_t$$

Cuadro 9. Pruebas de diagnóstico sobre el procedimiento de Johansen

<i>Variable</i>	<i>LM (4)</i> <i>F(4,13)</i>	<i>ARCH (4)</i> <i>F(4,9)</i>	<i>Jarque-Bera $\chi^2(2)$</i> Ω	<i>R²</i>
inv_t	0.394 [0.809]	1.200 [0.374]	1.604[0.448]	0.963
rr_t	0.506 [0.732]	0.114 [0.974]	9.860 [0.007]*	0.475

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. LM = prueba de autocorrelación, ARCH = prueba de heterocedasticidad. Jarque-Bera = prueba de normalidad. Número de rezagos en el VAR = 3. Periodo 1995:01 – 2002:04.

El modelo de corrección de error de la inversión privada está dado por:

$$\Delta inv = 3.805 - 0.398*\Delta inv(-1) + 0.256*\Delta inv(-4) - 0.023*\Delta rr(-2) - 0.194*mceinv(-1).$$

t-stad (4.661) (-2.893) (-2.063) (-1.797) (-4.637)

El mecanismo de corrección de error de la inversión privada se representa mediante la variable *mceinv*.

Cuadro 10. Pruebas de diagnóstico sobre el modelo de corrección de error de la inversión privada

<i>Coefficiente de determinación R²:</i>	0.635
<hr/>	
Pruebas de diagnóstico:	
Jarque-Bera:	$\chi^2(2)$: 2.038 [0.361]
Durbin-Watson:	1.590
LM (4):	<i>F</i> : 0.725 [0.586]
ARCH (4):	<i>F</i> : 4.225 [0.790]
White (4):	<i>F</i> : 1.344 [0.285]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(4):	2.796 [0.593]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(16):	5.136 [0.953]

Notas: Los valores entre paréntesis indican el número de rezagos. Los valores entre corchetes indican la probabilidad. Periodo: 1995:01 – 2002:04.

Los resultados de estimación de esta ecuación muestran que la inversión depende en gran medida de su propia dinámica. La elasticidad del indicador de la tasa de interés es de 0.1228.

- Demanda de saldos monetarios reales

Cuadro 11. Criterios para especificar el número correcto de rezagos en el VAR

<i>Núm. de rezagos</i>	<i>Criterios de información</i>		
	<i>Akaike</i>	<i>Hannan-Quinn</i>	<i>Schwarz</i>
0	-2.83	-2.79	-2.69
1	-4.87	-4.70	-4.30
2	-6.45	-6.14	-5.45*
3	-6.75	-6.32	-5.33
4	-7.09*	-6.52*	-5.23

Notas: (*) Indica el número de rezagos correctos para el VAR. Periodo 1995:01 – 2002:04.

Cuadro 12. Prueba de cointegración para la ecuación de los saldos reales monetarios utilizando el procedimiento de Johansen

<i>Ho</i>	<i>Prueba de la traza</i>	<i>Valores críticos (5%)</i>	<i>Prueba de la raíz característica máxima</i>	<i>Valores críticos (5%)</i>
$r = 0$	38.82*	34.9	31.16*	22.0
$r \leq 1$	7.661	20.0	5.604	15.7
$r \leq 2$	2.06	9.2	2.06	9.2

Notas: r = Número de vectores de cointegración. (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. Número de rezagos en el VAR = 4. Periodo 1995:01 – 2002:04.

El vector de cointegración normalizado como una función de los saldos reales monetarios está dado por:

$$m1r_t = 18.313 + 1.624*yd_t - 0.217*rr_t$$

Cuadro 13. Pruebas de diagnóstico sobre el procedimiento de Johansen

<i>Variable</i>	<i>LM (4)</i> <i>F(4,11)</i>	<i>ARCH (4)</i> <i>F(4,7)</i>	<i>Jarque-Bera</i> $\chi^2(2)$	<i>R²</i>
$m1r_t$	1.099 [0.404]	0.198 [0.931]	0.340 [0.843]	0.983
yd_t	1.678 [0.219]	0.169 [0.947]	3.938 [0.139]	0.975
rr_t	2.637 [0.091]	0.053 [0.993]	3.132 [0.208]	0.537

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. LM = prueba de autocorrelación, ARCH = prueba de heterocedasticidad. Jarque-Bera = prueba de normalidad. Número de rezagos en el VAR = 4. Periodo 1995:01 – 2002:04.

El modelo de corrección de error de los saldos reales monetarios está dado por:

$$\Delta m1r = -0.386*\Delta m1r(-1) - 0.581*\Delta m1r(-2) - 0.397*\Delta m1r(-3) + 1.339*\Delta yd - 0.034*\Delta rr - 0.342*mcem1r(-1).$$

t-stad (-4.349) (-5.426) (-2.917) (4.499) (-2.484) (-5.331)

El mecanismo de corrección de error de la demanda de saldos reales se denota mediante la variable *mcem1r*.

Cuadro 14. Pruebas de diagnóstico sobre el modelo de corrección de error de los saldos reales monetarios

<i>Coefficiente de determinación R²:</i>		0.871
Pruebas de diagnóstico:		
Jarque-Bera:		$\chi^2(2)$: 0.931 [0.627]
Durbin-Watson:		1.735
LM (4):		<i>F</i> : 0.155 [0.957]
ARCH (4):		<i>F</i> : 1.323 [0.297]
White (4):		<i>F</i> : 1.234 [0.345]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(4):		0.757 [0.944]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(16):		2.125 [0.999]

Notas: Los valores entre paréntesis indican el número de rezagos. Los valores entre corchetes indican la probabilidad. Periodo: 1995:01 – 2002:04.

Los saldos monetarios reales, el ingreso y la tasa de interés son variables cointegradas, razón por la que se especifica un modelo de corrección de error para *M1*.

- Producción.

$$y = 3.398 + 0.266*inv + 0.087*l + 0.647*y(-1)$$

t-stad (2.2153) (8.0100) (6.0127) (5.489)

Cuadro 15. Estadísticas de la ecuación de la producción

<i>Coefficiente de determinación R²:</i>		0.9521
Pruebas de diagnóstico:		
Jarque-Bera:		$\chi^2(2)$: 3.5522 [0.1693]
Durbin-Watson:		1.739
LM (4):		<i>F</i> : 1.7652 [0.1840]
ARCH (4):		<i>F</i> : 0.6280 [0.4281]
White (4):		<i>F</i> : 7.0382 [0.3173]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(4):		5.5370 [0.236]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(16):		19.950 [0.222]

Notas: Los valores entre paréntesis indican el número de rezagos, con excepción de la Prueba Reset, en donde indican el número de términos estimados. Los valores entre corchetes indican la probabilidad. Periodo: 1995:01 – 2002:04.

La producción nacional responde en gran medida a su propia dinámica, y en menor proporción a la inversión. Dado que la especificación de esta ecuación es logarítmica, sus parámetros estimados representan las elasticidades, las cuales son constantes en el periodo de estimación. Se puede observar que el impacto de la población ocupada es poco relevante en la determinación de la producción.

- Precios

Por último se presentan, para el caso de los precios, las pruebas para especificar el número óptimo de rezagos (Akaike, Hannan-Quinn y Schwarz), pruebas de cointegración (Johansen) y las pruebas estándar de diagnóstico.

Cuadro 16. Criterios para especificar el número correcto de rezagos en el VAR

Núm. de rezagos	Criterios de información		
	Akaike	Hannan-Quinn	Schwarz
0	-0.57	-0.52	-0.42
1	-7.77	-7.59	-7.19*
2	-7.99	-7.68	-6.99
3	-7.99	-7.55	-6.56
4	-8.91*	-8.34*	-7.05

Notas: (*) Indica el número de rezagos correctos para el VAR. Periodo 1995:01 – 2002:04.

Cuadro 17. Prueba de cointegración para la ecuación de precios utilizando el procedimiento de Johansen

Ho	Prueba de la traza	Valores críticos (5%)	Prueba de la raíz característica máxima	Valores críticos (5%)
$r = 0$	43.40*	24.3	39.12*	17.9
$r \leq 1$	4.28	12.5	2.56	11.4
$r \leq 2$	0.98	3.8	1.727	3.8

Notas: r = Número de vectores de cointegración. (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. Número de rezagos en el VAR = 4. Periodo 1995:01 – 2002:04.

El vector de cointegración normalizado como una función de los precios está dado por:

$$p_t = 0.313 * m1r_t - 0.001 * rr_t$$

Cuadro 18. Pruebas de diagnóstico sobre el procedimiento de Johansen

Variable	LM (4) F(4,12)	ARCH (4) F(4,8)	Jarque-Bera $\chi^2(2)$	R ²
p_t	1.142 [0.383]	0.158 [0.953]	1.070 [0.585]	0.999
$M1r_t$	0.329 [0.852]	1.121 [0.411]	0.909 [0.634]	0.983
rr_t	1.459 [0.274]	0.166 [0.949]	5.266 [0.071]	0.567

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. LM = prueba de autocorrelación, ARCH = prueba de heterocedasticidad. Jarque-Bera = prueba de normalidad. Número de rezagos en el VAR = 4. Periodo 1995:01 – 2002:04.

El modelo de corrección de error de los precios satisface:

$$\Delta p = 0.239 * \Delta p(-2) + 0.011 * \Delta rr(-1) - 0.046 * mcep(-1)$$

t -stad (2.477) (3.845) (-5.831)

El mecanismo de corrección de error de los precios se denota mediante la variable *mcep*.

Cuadro 19. Pruebas de diagnóstico sobre el modelo de corrección de error de los precios

Coeficiente de determinación R ² :	0.846
Pruebas de diagnóstico:	
Jarque-Bera:	$\chi^2(2)$: 0.592 [0.743]
Durbin-Watson:	1.633
LM (4):	F: 0.462 [0.762]
ARCH (4):	F: 897 [0.784]
White (4):	F: 0.316 [0.921]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(4):	1.515 [0.824]
Prueba Ljung-Box sobre Residuales Q(16):	15.267 [0.227]

Notas: Los valores entre paréntesis indican el número de rezagos. Los valores entre corchetes indican la probabilidad. Periodo: 1995:01 – 2002:04.

La inflación anualizada depende de su propia dinámica, de los saldos reales y del indicador de la tasa de interés. Todas las variables explicativas son importantes en la determinación de la inflación; muestra de ello es que sus correspondientes parámetros estimados son significativos estadísticamente.

En el apéndice D se presentan gráficas en las que se muestra el comportamiento de la variable dependiente observada de cada ecuación, su ajuste y los residuos.

Una vez elegidas las ecuaciones de comportamiento estimadas del modelo macroeconómico para México, es importante analizar su capacidad explicativa y predictiva. Ello hace necesario efectuar una simulación histórica y un pronóstico fuera de la muestra, mediante los cuales se puedan contrastar los resultados generados por el modelo, con la evolución de las variables endógenas observadas dentro y fuera del periodo de análisis.

VIII.4. Medidas de evaluación del pronóstico¹¹

Los estadísticos que más comúnmente se utilizan para evaluar la calidad de las predicciones son la raíz del error cuadrático medio, el error absoluto medio, el error absoluto porcentual medio y el coeficiente de desigualdad de Theil. Los dos primeros tienen el inconveniente de que dependen de las unidades de medida de la variable, razón por la cual se usaron los dos últimos. Mientras más pequeño o cercano a cero se encuentre el valor de cualquiera de esos estadísticos, mejor será el pronóstico generado por el modelo seleccionado.

Los estadísticos se determinan como sigue:

$$EAPM = \frac{1}{h+1} \sum_{t=H}^{H+h} \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t}$$

y

$$CTheil = \frac{\left[\frac{1}{h+1} \sum_{t=H}^{H+h} \frac{(y_t - \hat{y}_t)^2}{y_t} \right]^{1/2}}{\left[\frac{1}{h+1} \sum_{t=H}^{H+h} y_t^2 \right]^{1/2} + \left[\frac{1}{h+1} \sum_{t=H}^{H+h} \hat{y}_t^2 \right]^{1/2}}$$

¹¹ Una discusión más detallada de la evaluación del pronóstico puede consultarse en Pindyck y Rubinfeld (1991), y en Aznar y Trávez (1993).

donde $t=H, H+1, \dots, H+h$ es el periodo que se pronostica, y y_t y \hat{y}_t son, de manera respectiva, el valor observado y pronosticado de la variable y en el periodo t . Cuando se efectúa una simulación histórica, el periodo de pronóstico que se debe considerar es $t=H, \dots, T$. A diferencia del *EAPM*, que se mide en términos porcentuales, el *CTheil* es una medida estandarizada que se encuentra entre cero y uno.

El error cuadrático medio incorporado en el *CTheil* se puede descomponer como

$$\frac{1}{h} \sum_{t=H}^{H+h} (y_t - \hat{y}_t)^2 = (\bar{y}_t - \bar{\hat{y}}_t)^2 + (\sigma_y - \sigma_{\hat{y}})^2 + 2(1-\rho)\sigma_{\hat{y}} - \sigma_y,$$

donde \bar{y} , $\bar{\hat{y}}$, σ_y y σ_x son las medias y las desviaciones estándares de y y de \hat{y}_t respectivamente, y ρ es la correlación entre y y \hat{y}_t . Utilizando esa expresión, el coeficiente de desigualdad de Theil puede descomponerse en las siguientes proporciones:

Proporción de sesgo:
$$PSesgo = \frac{(\bar{y}_t - \bar{\hat{y}}_t)^2}{\frac{1}{h} \sum_{t=H}^{H+h} (y_t - \hat{y}_t)^2},$$

Proporción de varianza:
$$PVar = \frac{(\sigma_y - \sigma_{\bar{y}})^2}{\frac{1}{h} \sum_{t=H}^{H+h} (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

y

Proporción de covarianza:
$$PCov = \frac{2(1-\rho)\sigma_y - \sigma_{\bar{y}}}{\frac{1}{h} \sum_{t=H}^{H+h} (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

Las tres son medidas que reflejan las desviaciones del pronóstico. La proporción de sesgo muestra la diferencia entre la media de la variable pronosticada y la de la observada; la de varianza indica qué tan lejos se encuentra la variación de la variable pronosticada de la correspondiente a la observada; y la de covarianza proporciona el grado de correlación entre lo pronosticado y lo observado. Cuando el pronóstico es adecuado, *PSesgo* y *PVar* deben ser cercanos a cero, de forma que *PCov*

sea cercano a uno, y por tanto se proporcione evidencia de que las variables observada y pronosticada están altamente correlacionadas.

VIII.5. Resultados

En términos generales puede afirmarse que el modelo macroeconómico con microfundamentos para la economía mexicana reproduce en gran medida la evolución y la dinámica de las variables endógenas, tanto en el periodo muestral que comprende del primer trimestre de 1995 al primero del 2003, como en los tres últimos trimestres del 2003. Ello se puede contrastar tanto visualmente, a través de las gráficas 1 a 8 (Apéndice E), como estadísticamente, con base en el error absoluto porcentual medio y el coeficiente de desigualdad de Theil.

Una medida adicional del ajuste global del modelo sería la variación de existencias. En la gráfica 8 se puede ver una comparación de la variación de existencias observada, *versus* la calculada a partir de las variables ajustadas del modelo. Si bien el comportamiento del ajuste es errático en la primera mitad del periodo de análisis, en la segunda reproduce la dinámica observada de la variable.

IX. Conclusiones

Se ha formulado un modelo macroeconómico con microfundamentos en el que la dinámica de las variables relevantes es el resultado de modelar, mediante un problema de optimización intertemporal, el comportamiento individual de los agentes en la economía. Este hecho hace que el modelo se distinga de otros que se han definido *ad-hoc*, y que han sido adaptados y adoptados a las peculiaridades de la economía mexicana y a la información empírica disponible.¹²

Es importante señalar que el objetivo de este estudio no es el trabajo econométrico en sí. El interés es romper el paradigma metodológico que se ha utilizado en la construcción de los modelos econométricos, y proponer una alternativa que evite plantear relaciones de comportamiento

¹² Algunos modelos desarrollados recientemente son el ECONOMEX [Urzúa *et al.* (2001)] y el EUDOXIO (Castro *et al.* 2000).

e identidades definidas de manera arbitraria, y que permita construir un modelo macroeconómico cuyas ecuaciones sean el resultado de analizar la conducta individual de los agentes económicos.

Desde el punto de vista econométrico, el interés radica en presentar un modelo aceptable, esto es, un modelo que satisfaga las condiciones circunscritas en su marco teórico, que tenga una buena capacidad predictiva, y que, en resumen, permita obtener resultados empíricos consistentes con hechos estilizados en el desempeño trimestral de la economía mexicana de 1995 a 2002, tal y como lo hace la propuesta desarrollada en este trabajo (véanse las gráficas 1-7).

Los fundamentos microeconómicos del modelo condujeron a un modelo macroeconómico sencillo y teóricamente consistente. Se hizo una formulación precisa de la conducta de los consumidores y productores, especificando funciones objetivo que condujeron a soluciones analíticas. Los resultados del modelado micro son congruentes con los determinantes y con los signos que se esperarían de las variables asociadas a los agregados económicos relevantes.

El modelo macroeconómico con fundamentos micro se alimentó con información trimestral de la economía mexicana. Se implementó la metodología econométrica estructural, y se logró formular un modelo macroeconómico con microfundamentos para México. Su fundamentación microeconómica constituye una de sus principales características. El modelo macroeconómico es sencillo y pequeño, con una estructura teórica consistente, y capaz de explicar el comportamiento de las variables económicas fundamentales. Su ventaja relativa es precisamente su tamaño, que lo hace ser un modelo fácil de manipular y actualizar. Su ventaja absoluta es su consistencia con el marco macroeconómico desarrollado a partir de fundamentos microeconómicos, lo cual permite estudiar el impacto de políticas económicas a partir del comportamiento individual de consumidores y productores.

Como todo modelo econométrico, el que aquí se presentó también tiene limitaciones. De ellas, la más importante es que no es posible agregar variables explicativas diferentes a las que se obtuvieron de los fundamentos microeconómicos, aun cuando sean importantes en la determinación de las variables endógenas correspondientes, y aun cuando así lo sugieran los resultados de las pruebas de omisión de variables relevantes o de inclusión de variables irrelevantes. La forma correcta de hacerlo de acuerdo a la metodología sugerida en este documento, es volver a modelar la conducta de los agentes económicos. Llevarlo a cabo de la manera

tradicional, podría contradecir el marco teórico obtenido de los fundamentos microeconómicos.

El modelo macroeconómico con microfundamentos, y por ende el macroeconómico, puede enriquecerse mediante diferentes extensiones. En este sentido, algunas líneas de investigación son las siguientes: incorporar agentes económicos heterogéneos y/o bienes diferenciados, modelar la conducta del productor a fin de obtener variables de comercio exterior, agregar más instrumentos de política monetaria del gobierno y diferenciar entre deuda interna y externa, así como modelar la conducta de los agentes en un contexto estocástico, entre otras.

Referencias bibliográficas

- Akaike, H. (1974). "A New Look at the Statistical Model Identification", *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-19, 716-723.
- Aznar, A. y F. J. Trávez (1993), *Métodos de predicción en economía* (I). *Fundamentos Input-Output, modelos econométricos y métodos no paramétricos de series temporales*, Ariel Economía.
- Banco de México, *Información financiera y económica. Indicadores económicos y financieros*, www.banxico.org.mx.
- , *Información financiera y económica. Cuadernos de información económica*, www.banxico.org.mx
- Barro, R. J. y X. Sala-i-Martin (1995), *Economic Growth*, Advanced Series in Economics, McGraw-Hill.
- Cagan, P. D. (1956), "The Monetary Dynamics of Hyperinflation", en Milton Friedman, ed., *Studies in the Quantity Theory of Money*, Chicago, University of Chicago Press.
- Calvo, G. A. (1986), "Temporary Stabilization: Predetermined Exchange Rates", *Journal of Political Economy* 94, pp. 1319-1329.
- Castro, C., Loría E., y M. A. Mendoza (2000), *EUDOXIO. Modelo macroeconómico de la economía mexicana*, México, UNAM, Facultad de Economía.
- Gould, J. P. (1968), "Adjustment Costs in the Theory of Investment of the Firm", *The Review of Economic Studies* 35, pp. 47-56.
- Hannan, E. J., and B. G. Quinn (1979): "The Determination of the Order of an Autoregression", *Journal of the Royal Statistical Society, B*, 41, 190-195.

- Hayashi, F. (1982), "Tobin's Marginal q and Average q : A Neoclassical Interpretation", *Econometrica* 50, pp. 213-224.
- INEGI, *Banco de información económica*, www.inegi.mx
- Johansen, S. (1988), "Statistical Analysis of Cointegration Vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, pp. 231-254.
- Lucas, R. E. Jr. (1967), "Adjustment Costs and the Theory of Supply", *The Journal of Political Economy* 75, pp. 321-334.
- Maddala, G. S. e I. Kim (1998), *Unit roots, Cointegration and Structural Change*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 64.
- Muth, J. F. (1961), "Rational Expectations and the Theory of Price Movements", *Econometrica* 29, pp. 315-335.
- Pindyck, R. S. y D. L. Rubinfeld (1991), *Econometrics Models and Economic Forecasts*, McGraw-Hill.
- Ramsey, F. P. (1928), "A Mathematical Theory of Saving", *Economic Journal* 38, pp. 543-559.
- Sargent, T. J. (1987), *Macroeconomic Theory*, 2a. ed., Academic Press.
- Schwarz, G. (1978), "Estimating the Dimension of a Model". *Annals of Statistics*, 6, 461-464.
- Spanos, A. (1986), *Statistical Foundations of Econometric Modelling*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1988), "Towards a Unifying Methodological Framework for Econometric Modelling", *Economic Notes*, Sienna 1, pp. 1-28.
- Turnovsky, S. J. (1999), *International Macroeconomic Dynamic*, Massachusetts, MIT Press.
- (2000), *Methods of Macroeconomic Dynamics*, 2a. ed., Massachusetts, MIT Press.
- Urzúa, C. M., G. Esquivel, L. M. Lagunes y J. L. de la Cruz (2000), *Proyecto ECONOMEXICO 1. Un espacio de acercamiento para la comprensión de la Macroeconometría*, México, COLMEX, Centro de Estudios Económicos.

Apéndice A. Determinación del costo total de transacción

Se considera que el consumidor adquiere y vende bienes de manera continua y vende activos cada φ unidades de tiempo; entonces φy es el monto que debe poseer al inicio de cada periodo y que debe agotar al finalizarlo. Además, si ζ es el costo real de transacción que se supone independiente del número de activos que se venden, entonces ζ / φ es el costo por unidad de tiempo.

Por su parte, los saldos monetarios reales deben igualar el monto promedio gastado, lo cual en términos reales significa que

$$m = \frac{\varphi}{2} y.$$

De aquí se obtiene que la frecuencia de las transacciones $1 / \varphi$, se encuentra dada por

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{1}{2} \frac{y}{m}$$

y en consecuencia, el costo de transacción por unidad de tiempo es:

$$\frac{\zeta}{\varphi} = \alpha \frac{y}{m}$$

donde $\alpha = \zeta / 2$. Lo anterior significa que mientras más saldos reales mantenga el consumidor en su bolsillo, menor será el costo que deba de pagar por su tenencia.

Apéndice B. Valor de una empresa

En la sección 3 se obtuvo la solución del problema intertemporal básico del productor, cuyo objetivo es maximizar el valor de la empresa, es decir, el valor presente de sus flujos de efectivo, los cuales, una vez que se han sustituido la inversión y su correspondiente costo, se encuentran dados por

$$V = \int_0^{\infty} P \left[(1 - \tau_y)F - wl - \dot{k} - \delta k - \frac{\beta}{2} \dot{k}^2 \right] e^{-Rt} dt. \quad (\text{B.1})$$

El teorema de Euler, la condición (22a) y el hecho de que $q = P[(1 - \tau_y)F_k - \delta]/R$ (véase la sección 3.2), conducen a que

$$(1 - \tau_y)F - wl = \frac{Rqk}{P} + \delta k$$

y por tanto (B.1) se puede expresar como sigue:

$$V = \int_0^{\infty} \left[\frac{Rqk}{P} - \dot{k} - \frac{\beta}{2} \dot{k}^2 \right] e^{-Rt} dt.$$

Reemplazando la solución del problema del productor y su correspondiente derivada, dadas en (25) y (24) respectivamente, y agrupando términos, lleva a

$$\begin{aligned} V &= \int_0^{\infty} \left\{ \left(\frac{q}{P} - 1 + \beta \frac{D}{R} \right) + \left[R \frac{q}{P} \left(k_0 - \frac{\eta}{R} - \frac{D}{R} t \right) + \frac{D}{R} - \frac{\beta}{2} \frac{D^2}{R^2} \right] e^{-Rt} - \frac{\beta}{2} \eta^2 e^{Rt} \right\} dt \\ &= \left\{ \left(\frac{q}{P} - 1 + \beta \frac{D}{R} \right) \eta t - \left[R \frac{q}{P} \left(k_0 - \frac{\eta}{R} - \frac{D}{R} t \right) + \frac{D}{R} - \frac{\beta}{2} \frac{D^2}{R^2} \right] \frac{1}{R} e^{-Rt} - \frac{qD}{PR} t e^{-Rt} \right\}_0^{\infty} \\ &\quad - \left\{ \frac{\beta}{2} \frac{1}{R} \eta^2 e^{Rt} \right\}_0^{\infty} \end{aligned}$$

De aquí, es evidente que $V < 0$, ya que $\beta > 0$ y e^{Rt} crece mucho más rápido que cualquier función lineal de t . El valor de la empresa es no negativo cuando $\eta = 0$ y está dado por

$$\begin{aligned}
 V &= - \left\{ \left[R \frac{q}{P} \left(k_0 - \frac{D}{R^2} \right) + \frac{D}{R} - \frac{\beta}{2} \frac{D^2}{R^2} \right] \frac{1}{R} e^{-Rt} - \frac{qD}{PR} t e^{-Rt} \right\}_0^\infty \\
 &= \frac{q}{P} k_0 + \frac{D}{R^2} \left[\left(1 - \frac{q}{P} \right) - \frac{\beta}{2} \frac{D}{R} \right] \\
 &= \frac{q}{P} k_0 + \frac{1}{\beta R} \left(\frac{q}{P} - 1 \right) \left[\left(\frac{q}{P} - 1 \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{q}{P} - 1 \right) \right] \\
 &= \frac{q}{P} k_0 + \frac{1}{2\beta R} \left(\frac{q}{P} - 1 \right)^2, \tag{B.2}
 \end{aligned}$$

donde la penúltima igualdad se obtiene utilizando la definición de D dada en la sección 3.3, y que se repite a continuación:

$$\begin{aligned}
 D &= - \frac{R}{\beta} \left[\frac{(1 - \tau_y) F_k - \delta}{R} - 1 \right] \\
 &= - \frac{R}{\beta} \left(\frac{q}{P} - 1 \right).
 \end{aligned}$$

Observe en (B.2) que cuando la empresa representativa no enfrenta costos de ajuste, esto es, cuando $\frac{q}{P} = 1$, su valor es k_0 , su capital inicial, en cuyo caso se tiene que

$$(1 - \tau_y) F_k = R + \delta,$$

lo cual significa que existe mercado de capitales perfecto, en el que las empresas pueden adquirir capital en cada momento. Sin embargo, si este no fuera el caso, las empresas sólo comprarían capital cuando su producto marginal fuera superior al costo real del mismo, el cual se encuentra dado por $R + \delta$; en esta situación se tendría que $q > 1$. Las empresas venderán capital si se da la situación contraria, esto es, cuando el producto marginal del capital sea menor que su costo, en cuyo caso $q < 1$.¹³

¹³ En aras de facilitar su interpretación, estas aseveraciones se han formulado considerando que $\tau_y = 0$ y $\delta = 0$.

Apéndice C. Propensiones marginales y elasticidades

Las definiciones de la propensión marginal y de la elasticidad son:

$$PMg = \frac{\partial y}{\partial x} \quad y \quad \varepsilon = \frac{\frac{\partial y}{y}}{\frac{\partial x}{x}} = \frac{x}{y} \frac{\delta y}{\delta x} \quad ,$$

de manera respectiva.

- Función lineal: $y = \alpha + \beta x$.

$$PMg = \beta.$$

$$\varepsilon = \beta \frac{x}{y}.$$

- Función logarítmica: $\ln y = \ln \alpha + \beta \ln x$.

$$PMg = \beta \frac{x}{y}.$$

$$\varepsilon = \beta.$$

- Función Lineal-Log: $y = \ln \alpha + \beta \ln x$.

$$PMg = \frac{\beta}{x}.$$

$$\varepsilon = \frac{\beta}{y}.$$

- Función Log-Lineal: $\ln y = \alpha + \beta x$.

$$PMg = \beta y.$$

$$\varepsilon = \beta x.$$

Apéndice D. Prueba de raíces unitarias de Dickey y Fuller (ADF)

A continuación, en el Cuadro 20, se presenta la Prueba de raíces unitarias de Dickey y Fuller (ADF).

Cuadro 20. Prueba ADF de raíces unitarias

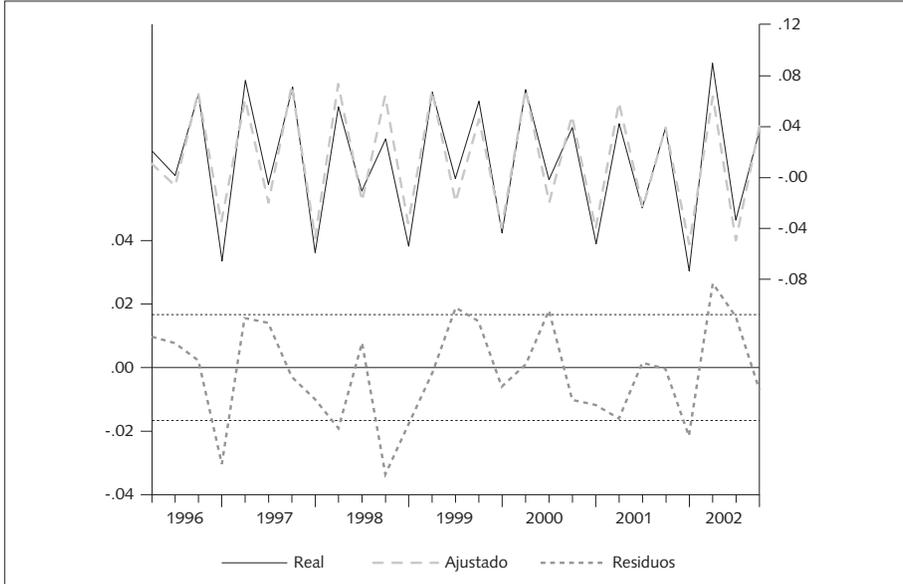
Variable	ADF		
	A	B	C
cp_t	-0.905 (7)	-1.025 (7)	2.441 (7)
Δcp_t	-2.886 (6)*	-3.077 (7)*	-0.631 (7)
yd_t	2.324 (8)	-2.139 (7)	1.083 (4)
Δyd_t	-3.531 (6)*	-3.242 (7)*	-0.799 (7)
z_t	-2.391 (4)	-1.541 (5)	0.906 (5)
Δz_t	-2.593 (4)	-2.915 (4)*	-1.983 (6)*
tcr_t	-5.147 (0)*	-3.693 (0)*	-2.083 (0)*
x_t	-3.188 (8)	-1.419 (1)	2.558 (1)
Δx_t	-8.578 (0)*	-8.474 (0)*	-2.810 (0)*
inv_t	-1.307 (0)	-1.312 (0)	1.439 (0)
Δinv_t	-8.162 (0)*	-7.403 (0)*	-1.166 (0)
rr_t	-3.778 (1)*	-2.021 (6)	-1.847 (5)
Δrr_t	-7.923 (1)*	-8.078 (1)*	-8.215 (1)*
$m1r_t$	-3.696 (4)*	0.082 (6)	2.684 (6)
$\Delta m1r_t$	-4.864 (7)*	-4.712 (7)*	-0.486 (7)
p_t	0.968 (0)	-5.336 (0)*	0.843 (3)
Δp_t	-5.568 (0)*	-4.162 (0)*	-1.564 (2)

Notas: Los valores de las series se representan en logaritmos naturales.

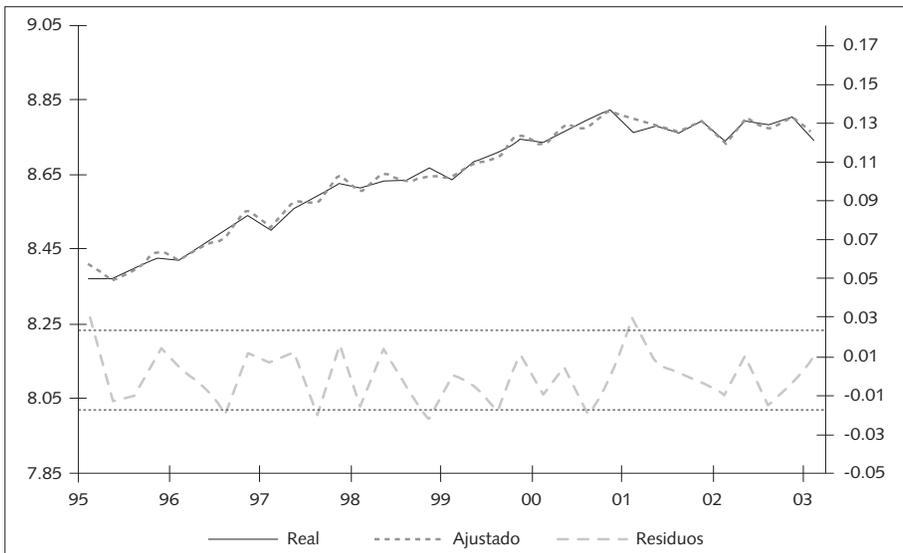
Los valores entre paréntesis representan el número óptimo de rezagos, el cual fue especificado mediante el criterio de información de Schwarz, utilizando 8 rezagos. (*) representa el rechazo de la hipótesis nula. Los valores críticos al 5% de significancia para la prueba Dickey-Fuller Aumentada (ADF), tomando una muestra $N = 100$ son: Modelo A = -3.45 (incluye constante y tendencia). Modelo B = -2.89 (incluye constante). Modelo C = -1.95 (no incluye constante ni tendencia). *Referencia:* Maddala, G. S. e I. Kim (1998). *Unit roots, Cointegration and Structural Change*, Cambridge University Press, pp. 64. Periodo 1995:01 – 2002:04.

Apéndice E. Gráficas de las variables dependientes, de su ajuste y de los residuos

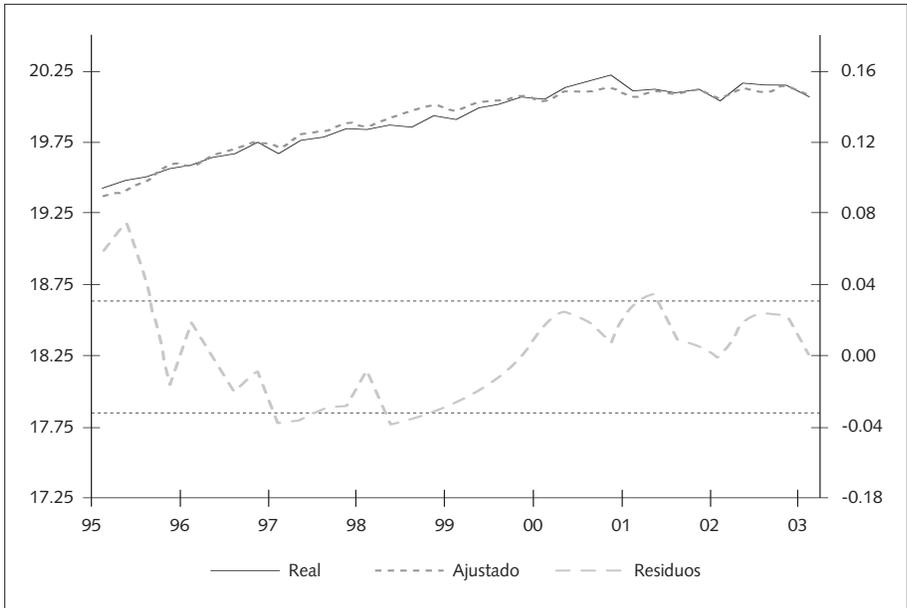
Gráfica 1. Diferencia del logaritmo del consumo privado



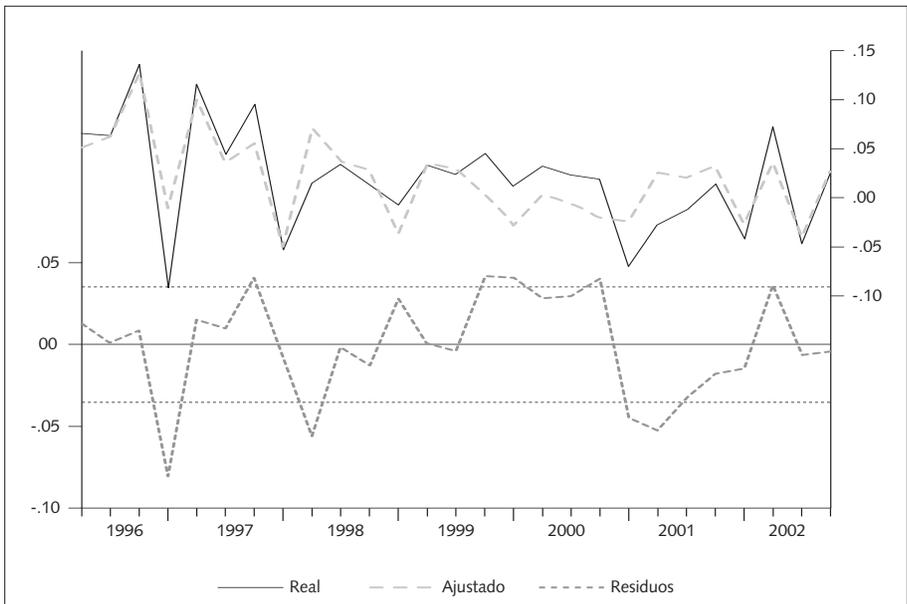
Gráfica 2. Diferencia del logaritmo de las importaciones



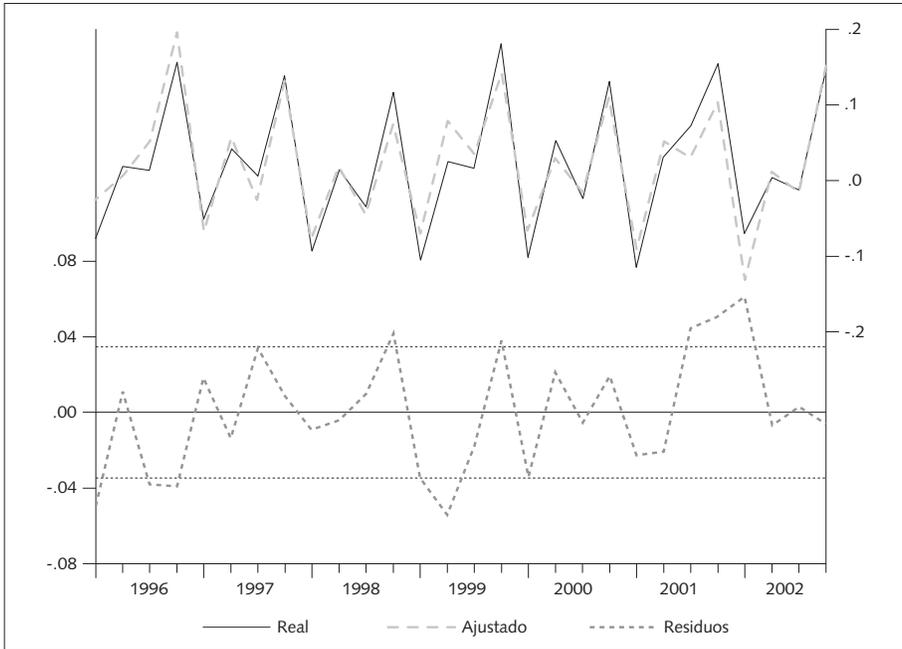
Gráfica 3. Diferencia del logaritmo de las exportaciones



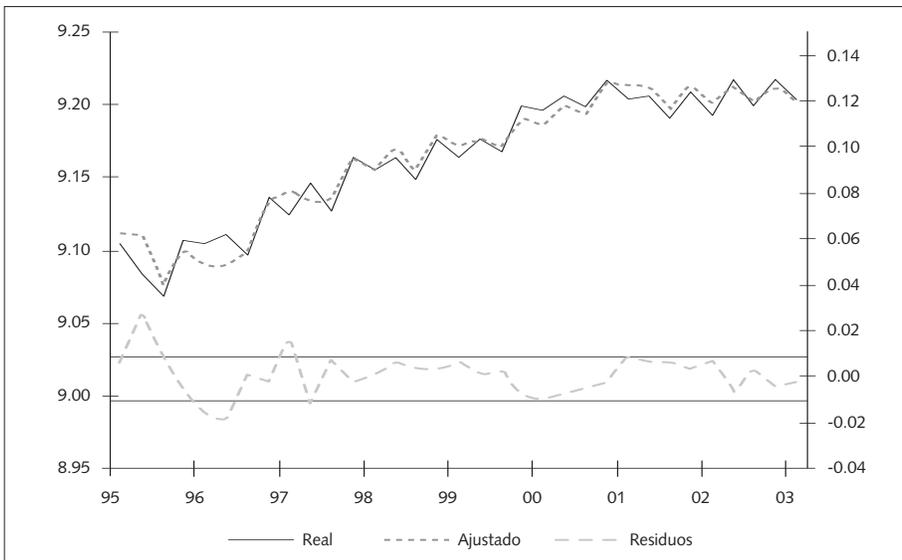
Gráfica 4. Diferencia del logaritmo de la inversión privada



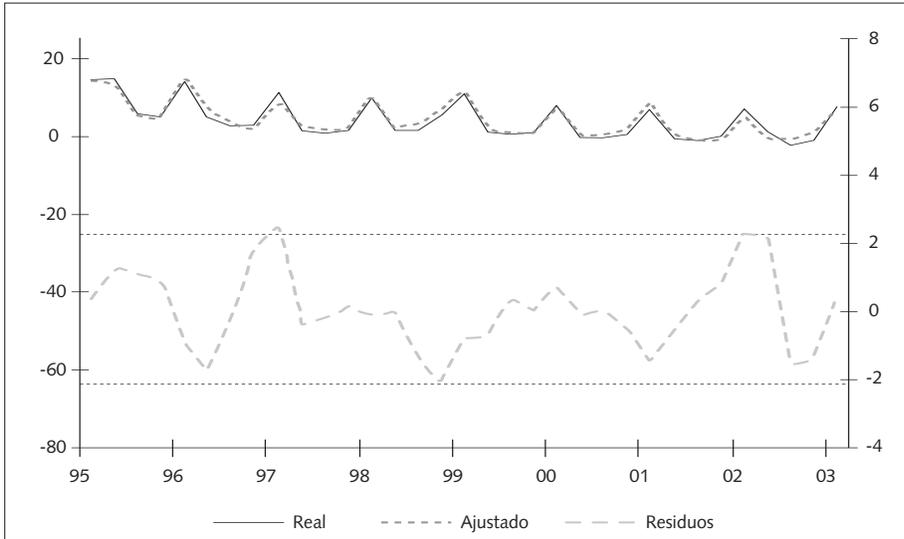
Gráfica 5. Diferencia del logaritmo de los saldos monetarios reales



Gráfica 6. Comportamiento histórico observado y simulado del logaritmo de la producción



Gráfica 7. Diferencia del logaritmo de precios



Gráfica 8. Comportamiento histórico observado y simulado de la variación de existencias

