CAPITAL FISICO, CAPITAL HUMANO Y FLUCTUACIONES AGREGADAS EN URUGUAY

ELIZABETH BUCACOS
ebucacos@bcu.gub.uy
Banco Central del Uruguay
Universidad de Montevideo

Este trabajo investiga el efecto de incluir la inversión en capital humano en un modelo simple del ciclo de negocios reales. El punto de partida es un modelo de crecimiento estocástico simple guiado por shocks tecnológicos, el cual se expande al introducir la formación en capital humano realizada por los individuos. Las empresas, por su parte, reciben una externalidad positiva al contar con trabajadores más productivos sin haber financiado directamente su formación. Se computa la regla de decisión óptima y se comparan algunos hechos estilizados predichos por el modelo con los de la realidad uruguaya.

Palabras clave: capital humano, ciclo de negocios reales, crecimiento, externalidades, modelo estocástico, regla de decisión óptima, shocks tecnológicos.

INTRODUCCION

En las dos últimas décadas, la ciencia económica ha avanzado enormemente en el entendimiento del crecimiento económico. Numerosos investigadores han señalado elementos claves en la explicación del mismo, así como diseñado modelos teóricos sofisticados con la intención de desentrañar el mecanismo que está detrás de la evolución del producto.

Sin embargo, en este trabajo nuestro interés consiste en no limitarnos a analizar una variedad de modelos teóricos con referencias solamente generales y ad hoc a los datos que se pretende explicar. Por el contrario, preferimos utilizar una estrategia que pretende resolver con métodos numéricos apropiados el modelo teórico, dejando que los datos establezcan la posible relevancia (o no) del mismo. Partiendo de los modelos seminales planteados por Kydland y Prescott (1982), en el presente trabajo nos planteamos cuán importantes son los shocks tecnológicos y el supuesto de optimalidad de Pareto para replicar ciertos hechos estilizados de la economía uruguaya en el período 1960-1998. A tal efecto, incorporamos al esquema básico de la teoría real del ciclo económico elementos de la teoría de crecimiento endógeno que considera la existencia de externalidades las cuales general equilibrios que no son óptimos paretianos. En particular, la habilidad individual del consumidor se traduce en una tecnología que mejora la utilización de la mano de obra por parte de las empresas. Además, se adapta el modelo de tres sectores productivos -el sector de investigación, el sector de bienes de capital y el sector de bienes finales- a la realidad uruguaya, al incorporar la transferencia tecnológica desde el exterior donde se realiza la invención de nuevos bienes de capital.

El esquema del presente trabajo es como sigue. En la sección siguiente se presenta el modelo planteado, se explica su resolución y se analizan los resultados. Finalmente, se concluye.

EL MODELO

Descripción

Se modela un país pequeño que crece al aprender a utilizar los bienes de capital más sofisticados disponibles ya inventados por el resto del mundo y al influjo de shocks tecnológicos. La economía nacional está integrada por dos tipos de agentes: consumidores y firmas.

Cada período, las *firmas* producen un bien homogéneo, y_t, usando trabajo, n_t, una serie de bienes de capital, x_{jt}, y además reciben la influencia de un shock tecnológico R_t. Como en Romer (1990), el número de bienes de capital que los trabajadores pueden usar está limitado por sus niveles de habilidad, h_t,

$$(1) \quad y_t = n_t^{1-\alpha} \int_0^{h_t} x_{jt}^{\alpha} \, dj \; e^{R_t}$$

La ecuación (1)[1] señala que un trabajador con un alto grado de habilidad puede usar un mayor número de bienes de capital que otro con un menor nivel. De este modo, por ejemplo, un trabajador más entrenado es capaz de utilizar herramientas sofisticadas en tanto que un trabajador con un menor nivel de habilidades no puede hacerlo.

Siguiendo a Jones (1998), una unidad de cualquier bien intermedio de capital puede producirse con una unidad de insumo de capital y esa transformación se realiza (y deshace) sin esfuerzo:

$$(2) \quad \int_0^{h_t} x_{jt} \, dj = k_t$$

es decir, la cantidad total de bienes de capital de todo tipo usado en la producción es igual a la oferta total del insumo capital. A su vez, los bienes intermedios son tratados

[1]Esta función de producción también es utlizada en Easterly, King, Levine, and Rebelo (1994).

simétricamente de forma tal que $x_j = x$ para todo j, todo lo cual implica que la tecnología de producción de la firma representativa tiene la forma:

$$(3)\ y_t = k_t^{\alpha} (h_t n_t)^{1-\alpha} e^{R_t}$$

donde el nivel de habilidad individual, h_t, integra la ecuación como una tecnología que mejora la utilización del insumo mano de obra.

El capital físico se acumula según:

$$(4)\ k_{t+1} = (1-\delta) k_t + i_t$$

donde i_t es la inversión en capital físico en el período t y δ es la tasa de depreciación.

Para lograr su objetivo de maximizar ganancias en cada período t

$$(5)\ B_t = y_t p_t - r_t k_t - w_t n_t$$

dadas las restricciones tecnológicas

$$(5a)\ y_t = f(k_t, n_t, R_t)$$

las firmas contratan mano de obra y capital a los niveles para los cuales la productividad marginal de cada uno de los factores de producción iguala su precio de contratación, por lo que, reordenando:

$$(6)\ \frac{\partial y_t}{\partial k_t} = r_t$$

$$\frac{\partial y_t}{\partial n_t} = \frac{w_t}{p_t}$$

donde r_t es la tasa de retorno real del capital, w_t es el salario nominal pagado y p_t es el

precio del bien de consumo. El proceso para el shock tecnológico se asume que está dado por

$$(7)\ R_{t+1} = a_4 R_t + c + \varepsilon_{t+1} \qquad \varepsilon_t \sim (0, \sigma_\varepsilon^2)$$

El *consumidor representativo* desea encontrar secuencias de consumo $\{c_t\}$ y de ocio $\{l_t\}$ para maximizar la esperanza de su utilidad descontada del tipo CRRA, cumpliendo con su restricción presupuestaria:

$$(8)\ E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \frac{(c_t^{\delta} + l_t^{\delta})^{\frac{1-\gamma}{\delta}}}{1-\gamma}$$

$$s.a$$

$$(8a)\quad c_t + \sum_{j=1}^{h} (k_{t+1} - (1-\delta) k_t) \le \frac{w_t}{p_t} n_t + \sum_{j=1}^{h} r_t k_t$$

donde E_o es la esperanza condicional dada la información disponible en el momento t=0, δ es el coeficiente de elasticidad de sustitución entre consumo y ocio, γ es el coeficiente de aversión relativa al riesgo (Arrow-Pratt), β es la tasa subjetiva de descuento, k_t es el stock de capital físico en el momento t, n_t es el tiempo dedicado a trabajar. La ecuación (8a) establece la restricción presupuestaria del individuo, según la cual, su gasto en consumo e inversión no debe superar a sus ingresos provenientes del tiempo dedicado a trabajar en las empresas más los ingresos derivados de sus rentas del capital.

Asimismo, el individuo cuenta con una dotación total de tiempo -normalizada a 1, sin pérdida de generalidad - que debe distribuir entre su propia formación (a_1), trabajar (n_t) y ocio (l_t):

$$(8b) \qquad a_1 + n_t + l_t = 1$$

La formación en capital humano h_t está íntimamente vinculada al tiempo que el individuo dedica a educarse (a_1). Pero la habilidad del individuo no está dada únicamente

por a_1. Como en Jones, op.cit., se define "habilidad" como la variedad de bienes intermedios que el individuo ha aprendido a utilizar Siguiendo la literatura, se asume que dicha habilidad crece a una tasa promedio del nivel de habilidad propio y del nivel de habilidad de la frontera de conocimiento A, identificada como el bien de capital más avanzado inventado hasta el momento, siendo a_2 la distancia que separa al conocimiento individual de la frontera. Además, la habilidad adquirida se deprecia a una tasa $*_h$[2]:

$$(8c) \qquad h_{t+1} = a_1 a_5 + (1-*_h)\, h_t + a_6 (a_2 A + (1-a_2)\, h_t)$$

Se asume que la frontera de conocimiento crece a una tasa constante a_3 :

$$(9) \quad A_{t+1} = a_3 A_t$$

y, alternativamente, la frontera de conocimiento se asume que es empujada por un shock aleatorio que recoge el surgimiento de un nuevo paradigma tecnológico:

$$(9)) \quad A_{t+1} = a_3 A_t + c_3 \varepsilon_{t+1}$$

Solución

Debido a la existencia de distorsiones, el *equilibrio* de esta economía no puede encontrarse a través de la solución del problema de maximización intertemporal enfrentado por el agente representativo, sino que debe buscarse la solución descentralizada. Es decir, cada agente optimiza de forma independiente y además los mercados se clarean.

Sea X_t el vector de variables de estado en el momento t. Realicemos una partición $X_t = [X_t^1, X_t^2, X_t^3]$, donde $X_t^1 = [k_t, h_t]$, corresponde a variables de estado directamente controlables por el agente quien también conoce sus leyes de

[2]Esta ecuación sería una linealización de la tasa bruta de acumulación de capital humano del tipo:

$$e^{\delta \cdot d} A^{a_2} e^{1-a_2}$$

movimiento; X_t^2 =[A_t,R_t, 1, K_t , H_t], variables de estado no controlables por el agente pero con leyes de movimiento conocidas por el econometrista y, finalmente, X_t^3 = [I_t, N_t], variables de estado no controlables por el agente y con leyes de movimiento desconocidas por el econometrista. Las variables de control son: u = [i_t , n_t].

En equilibrio, los hogares eligen secuencias de c, i, n dadas sus decisiones corrientes de consumo, inversión, horas de trabajo como funciones de sus estados corrientes X de forma de maximizar (8) sujeto a (8a), (8b), (8c), (4), (9) y leyes de movimiento percibidas para I_t, N_t , pero no conocidas hasta que el equilibrio se computa. Su restricción presupuestaria depende de precios y tasas de interés que están en función de los estados de la economía, X_t^2 , X_t^3 , y esas funciones son tomadas como dadas por los hogares pero en realidad son determinadas en equilibrio.

Si los agentes son racionales, ellos deberían anticipar correctamente las leyes de movimiento de la inversión agregada en capital físico y humano y las horas trabajadas. El econometrista no conoce apriori esas leyes de movimiento, pero debe especificar las leyes de movimieto percibidas por los agentes. Si los agentes anticipan correctamente las formas funcionales para esas variables agregadas y si el hogar es representativo, debe suceder que en equilibrio la imposición de que el mercado debe clarearse determina que las reglas de decisión individual para i_t y para n_t sean iguales para el agregado I_t y N_t, tomadas como dadas por los agentes al momento de resolver sus problemas:

$$(10a)\quad k_t = k_t$$

$$h_t = H_t$$

$$(10b)\quad i_t = I_t$$

$$n_t = N_t$$

lo cual determina la imposición de dos restricciones adicionales:

$$(11a)\quad X_t^1 = N X_t^2$$

$$(11b)\quad u_t = X_t^3$$

La aproximación lineal cuadrática

No es posible computar explícitamente las reglas de decisión de los agentes para el modelo nolineal anteriormente descrito. Por lo tanto, computamos las reglas de

$$donde \quad N = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}$$

decisión y el equilibrio de un modelo aproximado. Es decir, estudiamos un modelo que tiene una función objetivo cuadrática, restricciones lineales y un punto estacionario que coincide con el punto estacionario del modelo nolineal. La ventaja de la aproximación lineal cuadrática reside en la obtención de una solución explícita para el modelo aproximado y en la similitud de las propiedades estadísticas de las series generadas a partir del modelo simulado respecto a las series verdaderas cuando el sistema está cercano al estado estacionario.

En primer lugar, escribimos el problema en forma recursiva (Sargent, 1987), es decir, la representación de espacio de estados y controles:

$$(12) \quad \max \quad E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \mu(X_t, u_t)$$

$$s.a. \qquad X_{t+1} = G(X_t, u_t, \varepsilon_{t+1})$$

donde μ(.) es la función de retorno, G(.) es la función de transición, X es el vector de variables de estado, u es el vector de variables de control y ε es el vector de shocks aleatorios {iid}. Es decir, (12) puede expresarse como:

$$(13) \quad \max \quad E_0 \beta^t \frac{[(x_{1t}^{\alpha}(x_{2t}u_{2t})^{1-\alpha}e^{x_{4t}} - u_{1t})^{D} + (1 - a_1 - u_{2t})^{D}]^{\frac{1-D}{\gamma}}}{1-\gamma}$$

sujeto a:

$$
\begin{aligned}
(14)\quad X_{1t+1} &= (1-\delta)\, X_{1t} + u_{1t} \\
X_{2t+1} &= (1-\delta_h)\, X_{2t} + a_5\, a_1 + a_6\, (a_2 X_{3t} + (1-a_2)\, X_{2t}) \\
X_{3t+1} &= a_3\, X_{3t} \\
X_{4t+1} &= a_7 + a_4\, X_{4t} + \varepsilon_{t+1} \\
X_{5t+1} &= X_{5t} \\
X_{6t+1} &= (1-\delta)\, X_{6t} + X_{8t} \\
X_{7t+1} &= (1-\delta_h)\, X_{7t} + a_5\, a_1 + a_6\, (a_2 X_{3t} + (1-a_2)\, X_{7t})
\end{aligned}
$$

El paso siguiente consiste en mapear el problema (13)-(14) en un problema dinámico con una función objetivo cuadrática y leyes de movimiento lineales, es decir:

$$
(15)\quad \max E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left((X_t)\, Q\, X_t + u_t) R\, u_t + 2\, X_t) W\, u_t) \right)
$$

sujeto a:

$$
\begin{bmatrix} X^1_{t+1} \\ X^2_{t+1} \\ X^3_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^1_t \\ X^2_t \\ X^3_t \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} u_t + \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} \varepsilon_{t+1}
$$

donde las particiones realizadas a las matrices A, B y C[3] corresponden a las efectuadas

[3]Cuando la frontera de conocimiento evoluciona según la ecuación (9‘), la partición C_2 queda:

$$
C_2 = \begin{bmatrix} c_3 & c_{34} \\ 0 & c_4 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}
$$

al vector de controles X y

$$(15)\quad A_{11}=\begin{bmatrix}1-\theta & 0\\ 0 & (1-\theta_h)\%a_6(1-a_2)\end{bmatrix},\quad A_{12}=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ a_6 & a_2 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix},\quad A_{13}=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$A_{21}=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix},\quad A_{22}=\begin{bmatrix}a_3 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & a_4 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1-\theta & 0\\ a_6 a_2 & 0 & a_5 a_1 & 0 & (1-\theta)\%a_6(1-a_2)\end{bmatrix},\quad A_{23}=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 1\\ 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$A_{31}=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix},\quad A_{32}\ y\ A_{33}\quad desconocidas$$

$$B_1=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix},\quad B_2=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix},\quad B_3=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$C_1=\begin{bmatrix}0\\ 0\end{bmatrix},\quad C_2=\begin{bmatrix}0\\ c_4\\ 0\\ 0\\ 0\end{bmatrix},\quad C_3=\begin{bmatrix}0\\ 0\end{bmatrix}$$

Un resultado estándar de la literatura de control óptimo es que la solución a problemas de optimización con costos cuadráticos y restricciones lineales es una regla

lineal de retroalimentación para $u_t = (u_{1t}, u_{2t})$, donde las variables de control dependen solamente de los estados del problema y la función F es invariante en el tiempo, de la forma: $u_t = -FX_t$, es decir, $u_t = -F_1 X_t^1 - F_2 X_t^2 - F_3 X_t^3$. En un problema como el que tenemos planteado, además de encontrar la regla de decisión óptima, debemos computar las matrices A_{32} y A_{33} que determinan que $i_t = I_t$, $n_t = N_t$, es decir, $u_t = X_t^3$. La metodología para la resolución se describe en McGrattan (1990).

CALIBRACION Y SIMULACIONES

Parámetros usados

Primeramente, se resuelve el modelo para una configuración dada de parámetros $\theta = (a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, *, *_h, \$, (, D, F_3, F_4, F_{34})$ y luego se lo simula a través de un generador de números aleatorios para ε. En particular, se generan 1.500 muestras aleatorias de igual tamaño al de la muestra real para las que se calculan ciertos estadísticos, tales como la desviación estándar del producto, las correlaciones entre el producto y sus valores rezagados, etc., los cuales son comparados con los estadísticos que surgen de la realidad y se escoge aquel valor de θ que minimice la distancia entre los estadísticos del modelo simulado con los que se observan en los datos. Para las calibraciones realizadas en este trabajo, siguiendo a Quiroz, et.al., el valor específico de los parámetros de θ se elige de modo tal que:

$$(16) \quad \theta_i = \min_{\theta} \left[\sum_i |S_i - S_i'(\theta)| \right] \cdot e_i$$

donde S_i es el estadístico reportado en los datos y $S_i'(\theta)$ es el estadístico correspondiente calculado con un valor particular de los parámetros de θ. A su vez, se escoge la colección de parámetros de θ que cumplan con:

$$|S_i - S_i'(\theta)| < F_i$$

donde F_i corresponde a la desviación estándar del estadístico i.

Algunos parámetros son considerados parámetros “libres”, en el sentido de que el econometrista tiene cierto grado de libertad respecto a qué valores de los mismos

utilizar a los efectos de la calibración del modelo. Tal es el caso de a_4, la persistencia del shock tecnológico; a_5, el peso del tiempo dedicado a adquisición de habilidades productivas por parte del individuo; a_6, el peso que tiene el promedio entre las habilidades propias y las de la frontera del conocimiento en la formación de capital humano; F_3, la desviación estándar del shock que gobierna a la ley de movimiento de la frontera de conocimiento; F_4, la desviación estándar del shock tecnológico y F_{34}, la correlación entre esos dos shocks. Otros parámetros son considerados como "menos libres", en el sentido de que se tiene una idea apriori respecto a los valores que pueden tomar. Tal sería el caso de α, β, δ, δ_h, a_1, a_2, a_3, a_7, θ, ψ. El primero representa la participación del capital en el producto, estimada econométricamente en investigaciones previas (Bucacos, 1999); β es el recíproco de 1 más la tasa de interés real, la cual se puede suponer comprendida dentro de cierto rango. Siguiendo a Quiroz, et. al., dados α y β si se quiere imponer un valor de largo plazo para la tasa de inversion sobre producto, el valor de δ queda unívocamente determinado.

Cuadro 1. Valores de los parámetros utilizados en las simulaciones

Parámetros libres	Valores
a_4	0.9218
a_5	0.077
a_6	0.35
F_3	0 ó 0.01
F_{34}	0 ó 0.01
F_4	0.03
Parámetros menos libres	**Valores**
α	0.30
β	$(1+0.055)^{-1}$
a_1	0.04
a_2	0.75
a_3	0.01
a_7	1
δ	0.055
δ_h	0.09
θ	0.96
ψ	0.84

Además, la resolución del estado estacionario del modelo, exige que los valores

de los parámetros a_1, a_7, $*_h$, (, D estén comprendidos dentro de márgenes estrechos. En efecto, el tiempo dedicado a formación propia debe ser no negativo y menor o igual a 0.05; el valor inicial de la frontera de conocimientos debe valer 1; la tasa de depreciación de las habilidades adquiridas no puede ser inferior a 0.09; el coeficiente de aversión relativa al riesgo debe ser positivo y no puede superar el valor 1; y, finalmente, la elasticidad de sustitución entre consumo y ocio no puede superar 0.65. Por último, la distancia que separa al individuo de la frontera de conocimientos (a_2) se supone de 0.75 debido al relativo fácil acceso que tiene el individuo al conocimiento de la manipulación del bien de capital más sofisticado hasta el momento; y la tasa de crecimiento de la frontera de conocimientos (a_3) se asume constante e igual a 0.01.

El cuadro 2 presenta los principales resultados de las calibraciones efectuadas. Las regularidades empíricas de los datos se resumen en los estadísticos: desviación estándar del produco (F_y), desviación estándar de la tasa de inversión física (F_f), desviación estándar de la tasa de inversión en capital humano (F_h), desviación estándar de la ocupación (F_n), correlación entre el producto y la tasa de inversión en capital físico, correlación entre el producto y la tasa de inversión en capital humano, correlación entre el producto y la ocupación, correlación entre las tasas de inversión en capital físico y en capital humano, las tres primeras autocorrelaciones del producto, las tres primeras autocorrelaciones de la tasa de inversión en capital físico, las tres primeras autocorrelaciones de la tasa de inversión en capital humano y las tres primeras autocorrelaciones de la ocupación.

Cuadro 2. Resultados de las simulaciones

Estadísticos	Datos de la realidad	Modelo 1	Modelo 2
F_y	0.066	0.064 (0.060)	0.067 (0.062)
$F_{i/y}$	0.000	0.000 (1.05e-09)	0.000 (1.10e-09)
$F_{h/y}$	0.000	0.000 (7.88e-10)	0.000 (8.25e-10)
F_n	0.023	0.024 (0.023)	0.025 (0.024)
corr(y, i/y)	-0.926	-0.987 (1.961)	-0.987 (1.962)
corr(y, h/y)	-0.924	-0.998 (1.994)	-0.943 (1.834)
corr(y, n)	0.560	0.912 (0.079)	0.914 (0.077)
corr(i/y, h/y)	0.968	0.986 (0.014)	0.943 (0.053)
corr(y, y_{-1})	0.825	0.816 (0.139)	0.819 (0.138)
corr(y, y_{-2})	0.514	0.656 (0.194)	0.664 (0.196)
corr(y, y_{-3})	0.222	0.524 (0.199)	0.533 (0.202)
corr(i/y, i/y_{-1})	0.710	0.880 (0.100)	0.883 (0.099)
corr(i/y, i/y_{-2})	0.281	0.720 (0.177)	0.726 (0.177)
corr(i/y, i/y_{-3})	-0.013	0.583 (0.195)	0.591 (0.198)
corr(h/y, h/y_{-1})	0.767	0.817 (0.139)	0.776 (0.160)
corr(h/y, h/y_{-2})	0.385	0.658 (0.194)	0.630 (0.201)
corr(h/y, h/y_{-3})	0.061	0.526 (0.199)	0.508 (0.202)
corr(n, n_{-1})	0.780	0.492 (0.211)	0.499 (0.212)
corr(n, n_{-2})	0.623	0.405 (0.191)	0.416 (0.198)
corr(n, n_{-3})	0.525	0.333 (0.171)	0.347 (0.177)

Notas: (1) En la primer columna aparecen los estadísticos elegidos para contrastar la realidad con los modelos simulados: desviaciones estándar y correlaciones. (2) En la segunda columna se presentan los valores correspondietes a las series verdaderas, una vez removidas las tendencias determinísticas correspondientes a cada una. (3) En las columnas tres y cuatro se muestran los valores de los estadísticos respectivos calculados en base a las serie estimadas en cada uno de los dos modelos, en base a 1.500 replicaciones muestrales. Los valores entre paréntesis corresponden a las desviaciones típicas respectivas. (4) El modelo 1 toma a la ecuación (9) como la que refleja la ley de movimiento de la frontera de conocimiento, en tanto que el modelo 2 considera la ecuación (9‘).

Análisis de los resultados

Como puede apreciarse en el Cuadro 2, los modelos estimados replican razonablemente bien la mayor parte de los estadísticos propuestos, con relativamente baja variabilidad. En efecto, la desviación estándar del producto, de las tasas de inversión en capital físico y humano y de la ocupación de la mano de obra son muy similares a los estadísticos reales. Asimismo, las correlaciones del producto con otras variables no solamente muestran los signos esperados sino que tienen valores muy cercanos a los verificados en la realidad, exceptuando la correlación del producto con la ocupación.

La consideración de shocks aleatorios en la ley de movimiento de la frontera de conocimiento mejora la primera autocorrelación de la tasa de inversión en capital humano. Con respecto a las autocorrelaciones del producto y de la tasa de inversión en capital humano, las series estimadas en el Modelo 2 muestran valores prácticamente idénticos a los datos para la primera autocorrelación y una mayor memoria para las restantes, sobrestimando las correlaciones del producto con sus valores rezagados dos y tres períodos. Se necesitan shocks persistentes ($a_4 = 0.9218$), relativamente volátiles ($F_4 = .034$) y relativamente vinculados a los movimientos aleatorios de la frontera ($F_{34} = .01$), para reproducir la primera autocorrelación tanto del producto como de la tasa de inversión en capital humano. Luego, la propia persistencia aumenta las correlaciones con las variables rezagadas dos y tres períodos. Probablemente, este problema podría solucionarse en el caso de la tasa de inversión en capital humano endogeneizando el tiempo que el individuo destina a su propia formación en vez de tomarlo como un "parámetro no libre" ($a_1 = 0.04$).

Los modelos fallaron en replicar las autocorrelaciones de la tasa de inversión en capital físico y de la ocupación. Para la primera, las simulaciones sobrestiman los valores y la persistencia del vínculo entre la variable corriente y sus valores rezagados. La consideración de "tiempo para construir" (Kydland y Prescott, 1982), es decir, que los proyectos de inversión requieren tiempo para su maduración, podría mejorar la calidad de los estadísticos. En cuanto a la ocupación, la serie estimada está más correlacionada con el producto y menos correlacionada con sus valores pasados. La inclusión de costos de ajuste relativos a la contratación de mano de obra podría

aumentar la dependencia de los valores actuales de los valores que se verificaron en el pasado cercano.

Los resultados encontrados son particularmente sensibles al valor de ciertos parámetros utilizados en las calibraciones. Tal es el caso de (, que teóricamente puede tomar valores entre cero y uno) y es un elemento clave cuando se pretende calcular los efectos sobre el bienestar de políticas alternativas, pudiendo ser interpretado como el coeficiente de aversión relativa al riesgo. En nuestro caso particular, la solución del estado estacionario requirió que dicho coeficiente fuera 0.96, indicando que el agente representativo uruguayo valora la estabilidad en grado sumo.

Una importante limitación del análisis la constituye el hecho de contar con datos anuales para la inversión en capital físico y humano y para la ocupación de la mano de obra, lo cual obligó a forzar la teoría de los ciclos reales.

COMENTARIOS FINALES

En este trabajo se ha intentado replicar ciertos hechos estilizados de la economía uruguaya en el período 1960-1998 a través de la solución y calibración de un modelo de crecimiento estocástico, enriquecido con la inclusión de formación en capital humano y la utilización de habilidades ya inventadas por otros.

A pesar de su simplicidad, los modelos dinámicos con distorsiones aquí presentados resultan capaces de replicar ciertas regularidades empíricas de una economía real, tales como la volatilidad del producto y de la ocupación, la escasa variabilidad de las tasas de inversión tanto en capital físico como humano, la alta correlación negativa entre el producto y las tasas de inversión en capital físico y humano, la alta correlación positiva entre dichas tasas de inversión y la autocorrelación del valor corriente con el del período anterior para el producto y para la tasa de inversión en capital humano.

Los modelos propuestos, sin embargo, resultan incapaces de replicar la alta

correlación serial de la ocupación de la mano de obra y la rápidamente declinante correlación serial de la tasa de inversión en capital físico. Probablemente, la inclusión de costos de ajuste en la contratación de trabajo y la consideración de tiempo para construir puedan subsanar dichas deficiencias.

A la luz de los resultados obtenidos, surgen varios caminos de investigación. En primer lugar, la consideración del sector externo enriquecería el análisis al permitir captar shocks regionales y del resto del mundo que se intuye han sido importantes en la explicación de las fluctuaciones del producto uruguayo. Asimismo, un gran ausente en esta modelización es el gobierno, quien, a través del manejo de la política impositiva es capaz de afectar significativamente las decisiones de ahorro, consumo y ocupación de los agentes individuales. Otros autores (MCGrattan, op.cit.) han encontrado evidencia de que una parte sustantiva de las fluctuaciones agregadas observadas en la economía norteamericana han sido causadas por modificaciones en el sistema impositivo[4]. La presencia del Estado resulta particularmente importante en el caso uruguayo, el que no solamente ha jugado un rol de juez y gendarme sino que ha sido agente activo en el proceso productivo uruguayo a través del suministro de insumos productivos y de la contratación de mano de obra.

[4]En el período 1947:1-1987:4, solamente un 70% de la varianza del producto es explicada por un shock tecnológico, en tanto que el resto fue debida a shocks vinculados a los gastos gubernamentales y a las tasas impositivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BUCACOS, ELIZABETH, (1999). “Fuentes del crecimiento económico en Uruguay: 1960-1998", *Revista de Economía*, Volumen 6, Nº2, Segunda Epoca.

EASTERLY, W., KING, R., LEVINE, R. y REBELO, S. (1994). “Policy, Technology Adoption, and Growth”, *NBER Working Paper Nº4681*. Cambridge MA: National Bureau of Economic Research.

QUIROZ, JORGE (1991). “Las Regualridades Empíricas del Tipo de Cambio Real en Chile: Un Enfoque de Ciclo de Negocios Reales”, *Revista de Análisis Económico*, Vol. 6, Nº 2, Noviembre.

QUIROZ, J., BERNASCONI, F., CHUMACERO, R., REVOREDO, C., (1991). “Modelos y Realidad: Enseñando Macroeconomía en los Noventa”, *Revista de Análisis Económico*, Vol. 6, Nº 2, Noviembre.

KYDLAND, F. y PRESCOTT, E. (1982). “Time to Build and Aggregate Fluctuations”, *Econometrica,* 50.

McGRATTAN, ELLEN, (1990). “Solving the Stochastic Growth Model by Linear-Quadratic Approximation”, *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 8, Nº1.

McGRATTAN, ELLEN, (1990). “The Macroeconomic Effects of Distortionary Taxation”, mimeo, Duke University.

SARGENT, THOMAS, (1987). Dynamic Macroeconomic Theory. Harvard University Press.