



Maestría en Economía
Departamento de Economía

**Costos de ajuste y utilización variable del capital:
Un caso de estudio para Argentina**

Tesis de Posgrado

Francisco Martín Colella

18H1126

Tutor: Constantino Hevia

Julio 2020

Índice

1. Introducción	1
2. Modelos	3
2.1. Firmas	3
2.2. Agentes	4
2.3. Equilibrio competitivo	8
2.4. Solución del Modelo	9
3. Calibración	12
4. Resultados	14
4.1. Funciones de Impulso Respuesta	14
4.2. Evaluación de los modelos	22
4.3. Análisis de sensibilidad	31
5. Conclusión	32
6. Apéndice	34

1. Introducción

La teoría de los ciclos reales surge en la década de los 80s de la mano de la revolución neoclásica de la macroeconomía de los años previos. El trabajo de Kydland y Prescott (1982) [8] puede considerarse el pilar fundacional de esta teoría, en el cual los autores adaptan un modelo de crecimiento microfundado para estudiar el comportamiento de los ciclos económicos en Estados Unidos. Este trabajo dio origen a una extensa literatura que hacía énfasis en los shocks reales, particularmente los shocks a la productividad, como factor principal a la hora de explicar los ciclos económicos. Con el correr de los años, diversos autores han ido incorporando variantes al modelo original con el objetivo de mejorar la capacidad explicativa del mismo. Características como múltiples sectores, agentes heterogéneos y la introducción de dinero en el modelo, entre otras, combinadas con shocks de diversa naturaleza, han ido poblando la literatura de los años recientes. Sin embargo, la tecnología de acumulación de capital en los modelos de ciclos reales ha sido un aspecto tratado de forma marginal en el marco de una economía abierta.

La gran mayoría de los trabajos que utilizan modelos de tipo RBC incluyen costos de ajuste a la inversión relativo al nivel de capital instalado en la tecnología de acumulación de capital, como por ejemplo el de Mendoza (1991) [9]. Esto ayuda a reducir la volatilidad de la inversión que genera el modelo en relación a la especificación sin costos de ajuste, a la vez que no altera demasiado las propiedades más generales del modelo. Sin embargo, la utilización de este tipo de costos de ajuste tiene ciertas limitaciones, como por ejemplo la incapacidad de generar funciones de impulso respuesta *hump-shaped*, en donde la respuesta de las variables ante shocks exógenos no es abrupta, sino que toma varios períodos. Una especificación alternativa es la planteada por Christiano, Eichenbaum y Evans (2005) [2], en donde el costo de ajuste depende de la tasa de crecimiento de la inversión, y no del capital instalado. Por otro lado, el modelo tradicional de ciclos reales no permite modificar el grado de utilización del capital instalado, haciendo que la oferta del mismo esté fija en cada período. La incorporación de la utilización variable permite reducir la rigidez de estos modelos en torno al capital, a la vez de generar una tasa de depreciación variable en el tiempo.

El objetivo de este trabajo es analizar el impacto que generan distintas tecnologías de acumulación de capital en el comportamiento de las principales variables en un contexto de economía abierta, integrada por firmas y agentes que actúan de forma racional. Para ello, se construye un modelo basado en la tradición de ciclos reales con variantes que combinan distintos tipos de costos de ajuste mezclado con la inclusión de la utilización variable del capital. Con el fin de dilucidar las similitudes y diferencias entre ellos, se procede a computar las funciones de impulso respuesta antes shocks a la productividad, eficiencia marginal de la inversión y tasa de interés internacional. Además, se calibran los modelos utilizando datos de Argentina de los últimos años y se comparan las predicciones de los mismos en relación a los datos históricos recopilados. En particular, se utilizan técnicas de evaluación de desempeño

basadas en los enfoques de variabilidad de simulación y muestreo para contrastar las correlaciones entre variables generadas por los modelos con las observadas en los datos. A su vez, se investiga la sensibilidad de los resultados obtenidos al considerar un marco de economía cerrada.

Los resultados obtenidos sugieren que la especificación de costos de ajuste más tradicional logra reproducir de manera más satisfactoria las correlaciones entre las principales variables de la economía con respecto a la inversión. Si bien la inclusión de costos de ajuste a la tasa de crecimiento de la inversión genera dinámicas interesantes en las funciones de impulso respuesta, esta no logra replicar aspectos básicos de los datos recopilados. Además, la utilización variable no resulta relevante para explicar el desempeño de los modelos en relación a los datos históricos.

El trabajo se ordena de la siguiente manera: En la sección 2 se describen en detalle los cuatro modelos propuestos y el método utilizado para resolverlos. La sección 3 presenta los datos recolectados de Argentina y la técnica de calibración elegida para los parámetros de los modelos. Los resultados, compuestos por las funciones de impulso respuesta, la evaluación de los modelos y el análisis de sensibilidad se concentran en la sección 4. Finalmente, la sección 5 contiene la conclusión del trabajo y la sección 6 el apéndice.

2. Modelos

El objetivo del presente trabajo es estudiar las diferencias que generan distintas especificaciones en la tecnología de acumulación de capital en cuanto a la dinámica y comportamiento de las principales variables de la economía ante shocks de diversa naturaleza, así como su grado de correspondencia con los datos recolectados. Para ello, se construye un modelo de ciclos reales en un marco de economía abierta, con un trimestre como unidad temporal. El modelo está integrado por firmas encargadas de producir bienes y consumidores dotados con la tecnología de acumulación de capital. Como se mencionó previamente, se consideran cuatro variantes del modelo, explicitadas en la tabla 1.

Tabla 1: Guía de modelos: Costos de ajuste (CA) y utilización variable

	Utilización variable de capital	
	No	Si
CA Capital	Modelo 1	Modelo 2
CA Inversión	Modelo 3	Modelo 4

Las secciones subsiguientes describen el comportamiento las firmas y los agentes, así como el equilibrio competitivo de la economía y el método de solución utilizado para resolver y simular el modelo.

2.1. Firmas

El problema de la firma representativa es idéntico para las cuatro especificaciones previamente mencionadas. La firma produce el único bien de esta economía Y_t , que puede ser utilizado para consumo o inversión por los agentes. Para ello, demanda capital K_t y trabajo N_t . La función de producción es de tipo Cobb-Douglas: $A_t K_t^\alpha N_t^{1-\alpha}$ donde A_t es el parámetro tecnológico que representa la productividad total de los factores y α la ponderación del capital en la función de producción. Como la acumulación de capital es realizada por los agentes, el problema de la firma representativa es estático. En particular, en cada período la firma resuelve:

$$\max_{K_t, N_t} \Pi_t = A_t K_t^\alpha N_t^{1-\alpha} - w_t N_t - R_t K_t$$

donde w_t y R_t representan el salario y la retribución real al capital respectivamente. Las condiciones de primer orden del capital y trabajo vienen dadas por:

$$\alpha A_t K_t^{\alpha-1} N_t^{1-\alpha} = R_t$$

$$(1 - \alpha) A_t K_t^\alpha N_t^{-\alpha} = w_t$$

Intuitivamente, las firmas contratan trabajo o capital adicional hasta que el producto marginal de la última unidad de insumo contratada sea igual a su costo marginal. Si estas igualdades no se cumplen, la firma puede aumentar sus beneficios modificando la cantidad de factores demandados. Reescribiendo las condiciones de primer orden, y utilizando que $Y_t = A_t K_t^\alpha N_t^{1-\alpha}$, se obtiene:

$$\alpha \frac{Y_t}{K_t} = R_t \quad (1)$$

$$(1 - \alpha) \frac{Y_t}{N_t} = w_t \quad (2)$$

Combinando (1) y (2), vemos que el ratio óptimo de insumos para la firma $\frac{N_t}{K_t}$ depende de sus respectivos precios y de las ponderaciones de los factores en la función de producción.

$$\left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) \frac{N_t}{K_t} = \frac{R_t}{w_t}$$

2.2. Agentes

La economía está integrada por un continuo de agentes que viven infinitos períodos. Por simplicidad, analizamos la conducta del agente representativo, que refleja el comportamiento agregado de los consumidores. El agente representativo valora el consumo de bienes c_t y obtiene desutilidad del trabajo n_t . Sus preferencias son representadas por la siguiente función de utilidad periódica, propuesta por Greenwood, Hercowitz y Huffman (1988) [3].

$$U(c_t, n_t) = \frac{\left(c_t - \psi \frac{n_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right)^{1-\sigma}}{1-\sigma}$$

con ψ , φ y σ parámetros a determinar en la sección de calibración. En cada período, el agente dedica sus recursos a consumir, renovar su stock de bonos internacionales ($b_{t+1} - b_t$) a tasa r_t y a bienes de inversión i_t , financiándose con ingresos laborales $w_t n_t$, ingresos por alquiler de capital $R_t u_t k_t$, ambos contratados por la firma, e intereses de bonos del período pasado ¹. Notar que u_t es la tasa de utilización del capital. Si bien en cada período el stock de capital k_t está dado (elegido el período anterior), el agente puede

¹Si bien los agentes son dueños de las firmas, los beneficios de estas son cero en equilibrio.

variar la intensidad con la que trabaja el capital. Por lo tanto, en cada período el agente ofrece $u_t k_t$ a las firmas en términos de servicios de capital. Para los Modelos 1 y 3, que no cuentan con utilización variable de capital, $u_t = 1 \forall t$. La restricción presupuestaria secuencial que enfrenta el agente viene dada por la ecuación (3).

$$c_t + (b_{t+1} - b_t) + i_t \leq w_t n_t + R_t u_t k_t + r_t b_t \quad (3)$$

Tal y como se mencionó previamente, el agente es dueño del stock de capital en esta economía. La tecnología de acumulación de capital es un elemento central de este trabajo, ya que es lo que motiva el objetivo del mismo, además de ser la principal diferencia entre los dos grupos de modelos propuestos. Para los Modelos 1 y 2, la ecuación que regula la evolución del capital en el tiempo viene dada por

$$k_{t+1} = (1 - \delta(u_t)) k_t + z_t i_t - \frac{\gamma}{2} \left(\frac{z_t i_t}{k_t} - \delta(u_t) \right)^2 k_t \quad (4)$$

donde z_t es un shock a la eficiencia marginal de la inversión, introducido por Greenwood, Hercowitz y Krusell (1998) [4]. Intuitivamente, un z_t mayor indica que, por cada unidad destinada a inversión, se obtiene un mayor stock de capital para el período siguiente. El último término representa el costo de ajuste al capital. Notar que si $z_t i_t = \delta(u_t) k_t$, es decir que la inversión en nuevos bienes de capital alcanza con lo justo a compensar la caída del stock por la depreciación, los costos de ajuste son nulos. En el caso del Modelo 1, la depreciación es constante ya que no hay utilización variable del capital, luego $\delta(u_t) = \delta \forall t$, mientras que para el Modelo 2 se tiene que $\delta(u_t) = \delta u_t^\omega$ con $\omega > 1$.

El problema del agente se resume a maximizar el valor descontado de la utilidad esperada sujeto a la restricción presupuestaria secuencial y la ley de movimiento del capital en cada período, además de la restricción de No-Ponzi para los bonos ². En términos de ecuaciones,

$$\max_{\{c_t, n_t, u_t, i_t, b_{t+1}, k_{t+1}\}} \mathbb{E}_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[\frac{\left(c_t - \psi \frac{n_t^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right)^{1-\sigma}}{1-\sigma} \right]$$

$$\text{s.a. } c_t + (b_{t+1} - b_t) + i_t \leq w_t n_t + R_t u_t k_t + r_t b_t$$

²No es necesaria la condición de No-Ponzi para el capital por la restricción natural $k_t \geq 0$.

$$k_{t+1} - (1 - \delta(u_t)) k_t = z_t i_t - \frac{\gamma}{2} \left(\frac{z_t i_t}{k_t} - \delta(u_t) \right)^2 k_t$$

Las condiciones que caracterizan la solución a este problema son las siguientes:

$$\psi n_t^\varphi = w_t \tag{5}$$

$$1 = q_t z_t \left[1 - \gamma \left(\frac{z_t i_t}{k_t} - \delta(u_t) \right) \right] \tag{6}$$

$$q_t = \beta \mathbb{E}_t \left[\left(\frac{c_t - \psi \frac{n_t^{1+\varphi}}{1+\varphi}}{c_{t+1} - \psi \frac{n_{t+1}^{1+\varphi}}{1+\varphi}} \right)^\sigma \left(R_{t+1} u_{t+1} + q_{t+1} \left[(1 - \delta(u_{t+1})) + \frac{\gamma}{2} \left(\left(\frac{i_{t+1}}{k_{t+1}} \right)^2 - \delta(u_{t+1}) \right) \right] \right) \right] \tag{7}$$

$$1 = \beta \mathbb{E}_t \left[\left(\frac{c_t - \psi \frac{n_t^{1+\varphi}}{1+\varphi}}{c_{t+1} - \psi \frac{n_{t+1}^{1+\varphi}}{1+\varphi}} \right)^\sigma (1 + r_{t+1}) \right] \tag{8}$$

$$R_t = q_t \delta'(u_t) \tag{9}$$

donde $q_t = \frac{\mu_t}{\lambda_t}$ es el cociente de los multiplicadores de Lagrange de la restricción presupuestaria y la ley de movimiento del capital respectivamente. q_t , conocida como la "Q de Tobin", refleja cuantas unidades de consumo está dispuesto a sacrificar el agente por una unidad extra de capital. Sin costos de ajuste en el modelo, tendríamos que $q_t = 1 \forall t$. La inclusión de costos de ajustes rompe esta igualdad, permitiendo que q_t varíe en el tiempo. En otras palabras, q_t puede ser interpretado como el precio relativo de una unidad de capital instalado en términos de unidades de bien de consumo.

De (5) se observa que no hay un efecto ingreso presente en la elección del trabajo, ya que solo depende del salario real. Esto es una consecuencia directa de la función de utilidad elegida. La ecuación (6) define la elección óptima de la inversión en el período t . La intuición detrás de (7) es clara e interesante. El lado izquierdo de la igualdad refleja el costo marginal de una unidad extra de capital instalado, que es igual a q_t unidades de consumo. El lado derecho es el beneficio marginal de esa unidad extra, que viene dado por el retorno del capital alquilado más lo que queda de esa unidad adicional neto de depreciación en el período siguiente, apropiadamente descontado. La ecuación (8) es la ecuación de Euler tradicional que marca la relación intertemporal del consumo. Por último, (9) es la condición de optimalidad para la utilización variable del capital que solo rige para el Modelo 2 y que, de nuevo, puede ser interpretada como la igualdad de ingreso y costo marginal. El lado izquierdo representa el ingreso marginal de aumentar la utilización del capital instalado, que no es otra cosa que el retorno del capital pagado por la firma. En cambio, el lado derecho es el costo marginal de realizar esta acción, que conlleva un aumento en la tasa de depreciación. Luego, el costo en términos de bienes de consumo de incrementar la utilización

del stock de capital es $q_t \delta'(u_t)$.

Por otro lado, la ley de movimiento del capital para los Modelos 3 y 4 cuenta con una especificación alternativa para los costos de ajuste y viene dado por la siguiente ecuación:

$$k_{t+1} = (1 - \delta(u_t)) k_t + z_t \left[1 - \frac{\phi}{2} \left(\frac{i_t}{i_{t-1}} - 1 \right)^2 \right] i_t \quad (10)$$

Esta metodología fue utilizada por Christiano, Eichnbaum y Evans (2005) [2] entre otros, pero no tuvo mayor preponderancia en los trabajos académicos más recientes que consideran una economía abierta. En este caso, el costo de ajuste ya no depende de la inversión presente respecto al nivel de capital instalado sino de la tasa de cambio de la inversión respecto al período previo. Por ende, los costos de ajuste son nulos si la inversión se mantiene constante entre períodos. Es importante destacar que, bajo esta especificación, los costos de ajuste se encuentran expresados en unidades de inversión, mientras que la ecuación (4) presenta costos de ajustes medidos en unidades de capital. La forma funcional de la depreciación se mantiene consistente con lo presentado anteriormente. En el caso de los Modelos 3 y 4, el problema del agente es análogo al planteado previamente, pero con la ley de movimiento del capital dada por (10). Las condiciones que caracterizan la solución a este problema son las siguientes:

$$\psi n_t^\varphi = w_t \quad (11)$$

$$1 = q_t z_t \left[1 - \frac{\phi}{2} \left(\frac{i_t}{i_{t-1}} - 1 \right)^2 - \phi \left(\frac{i_t}{i_{t-1}} - 1 \right) \frac{i_t}{i_{t-1}} \right] + \beta \mathbb{E}_t \left[\left(\frac{c_t - \psi \frac{n_t^{1+\varphi}}{1+\varphi}}{c_{t+1} - \psi \frac{n_{t+1}^{1+\varphi}}{1+\varphi}} \right)^\sigma z_{t+1} q_{t+1} \phi \frac{i_{t+1}^2}{i_t^2} \left(\frac{i_{t+1}}{i_t} - 1 \right) \right] \quad (12)$$

$$q_t = \beta \mathbb{E}_t \left[\left(\frac{c_t - \psi \frac{n_t^{1+\varphi}}{1+\varphi}}{c_{t+1} - \psi \frac{n_{t+1}^{1+\varphi}}{1+\varphi}} \right)^\sigma (R_{t+1} u_{t+1} + q_{t+1} (1 - \delta(u_{t+1}))) \right] \quad (13)$$

$$1 = \beta \mathbb{E}_t \left[\left(\frac{c_t - \psi \frac{n_t^{1+\varphi}}{1+\varphi}}{c_{t+1} - \psi \frac{n_{t+1}^{1+\varphi}}{1+\varphi}} \right)^\sigma (1 + r_{t+1}) \right] \quad (14)$$

$$R_t = q_t \delta'(u_t) \quad (15)$$

Las ecuaciones (11), (14) y (15) no varían respecto al caso de costos de ajuste sobre el capital. Como los nuevos costos de ajuste involucran a la inversión pasada, esta variable aparece en la condición de optimalidad (12). El nivel de inversión presente no solo afecta los costos a pagar en ese mismo período, sino que también repercute de manera directa en los del período siguiente. Bajo esta nueva especificación,

i_{t-1} es una variable de estado al momento t , junto con el stock de capital y bonos. La interpretación de (13) es análoga a la de (7).

2.3. Equilibrio competitivo

La restricción de consistencia agregada dicta que el total de bienes producidos en esta economía pequeña y abierta más los intereses de los bonos acumulados previamente deben ser igual la suma del consumo, inversión y nuevo aumento en el stock de bonos. En términos matemáticos,

$$Y_t + r_t b_t = c_t + i_t + (b_{t+1} - b_t) \quad (16)$$

Para evitar que las asignaciones de equilibrio dependan de las condiciones iniciales elegidas, se sigue la estrategia de Uribe y Schmitt-Grohe (2002) [11] donde la tasa de interés doméstica a la que acceden los agentes se compone de la tasa de interés internacional r_t^* más una prima de riesgo que depende del nivel de bonos promedio entre los agentes. Esta prima es positiva en la medida que el stock de bonos promedio sea menor que el de estado estacionario ³. Específicamente, la tasa de interés local r_t se rige por la siguiente ecuación:

$$r_t = r_t^* + \theta \left(e^{-(\bar{b}_t - \bar{b})} - 1 \right) \quad (17)$$

Como la prima de riesgo es función del stock promedio de bonos de la economía, el agente no internaliza el efecto de su elección de activos sobre la prima de riesgo, tomando esta como dada. Finalmente, resta explicitar los procesos aleatorios para las variables exógenas correspondientes a la productividad total de los factores A_t , la eficiencia de la inversión z_t y la tasa de interés internacional r_t^* . Por simplicidad, se eligen procesos autoregresivos de primer orden para cada uno de ellos.

$$\log(A_{t+1}) = \rho_A \log(A_t) + (1 - \rho_A) \log(\bar{A}) + \epsilon_{A,t+1} \quad (18)$$

$$\log(z_{t+1}) = \rho_z \log(z_t) + (1 - \rho_z) \log(\bar{z}) + \epsilon_{z,t+1} \quad (19)$$

$$\log(r_{t+1}^*) = \rho_r \log(r_t^*) + (1 - \rho_r) \log(\bar{r}^*) + \epsilon_{r,t+1} \quad (20)$$

³En el trabajo de Uribe y Schmitt-Grohe la prima de riesgo es positiva cuando el stock de deuda agregado es mayor al de estado estacionario. Ambas especificaciones son equivalentes.

Los parámetros ρ_A , ρ_z y ρ_r se determinan en la sección correspondiente a la calibración.

De esta manera, se cuenta con todos los elementos necesarios para definir un equilibrio en este marco conceptual. Por simplicidad de exposición, solo se define el equilibrio para el Modelo 4, con costos de ajuste a la inversión y utilización variable del capital. Específicamente, un equilibrio competitivo en esta economía es una secuencia de precios $\{R_t^e, w_t^e, r_t^e, q_t^e\}_{t=0}^\infty$ y asignaciones $\{k_t^e, b_t^e, i_t^e, c_t^e, n_t^e, u_t^e, Y_t^e, N_t^e, K_t^e, \bar{b}_t^e\}_{t=0}^\infty$ tal que, dados los procesos para la tasa de interés doméstica (16) y el vector de variables exógenas $\{A_t, z_t, r_t^*\}$ especificados en (18) a (20) junto con la función de producción:

- Dados los precios $\{R_t^e, w_t^e\}_{t=0}^\infty$, las asignaciones $\{N_t^e, K_t^e\}_{t=0}^\infty$ resuelven el problema de la firma. Es decir que se cumplen (1) y (2).
- Dados los precios $\{R_t^e, w_t^e, r_t^e, q_t^e\}_{t=0}^\infty$, las asignaciones $\{k_t^e, b_t^e, i_t^e, c_t^e, n_t^e, u_t^e\}_{t=0}^\infty$ resuelven el problema del agente. Es decir que se cumplen (10) a (15).
- Los mercados de trabajo y capital se vacían, Además, como todos los agentes son idénticos, el nivel promedio de activos es igual a los bonos individuales. Es decir que en cada período se cumplen:

$$n_t = N_t \tag{21}$$

$$u_t k_t = K_t \tag{22}$$

$$b_t = \bar{b}_t \tag{23}$$

- Se cumple la condición de factibilidad (16)

La definición de equilibrio competitivo aplica para los tres modelos restantes, cambiando apropiadamente las condiciones de optimalidad que aplican para el caso del agente. La restricción presupuestaria secuencial que enfrenta el agente (3) no se incluye en la definición del equilibrio ya que es una ecuación redundante.

2.4. Solución del Modelo

Una vez obtenidas las ecuaciones que caracterizan el equilibrio de esta economía, se procede a computar el estado estacionario no estocástico del modelo, y luego log-linealizar las ecuaciones relevantes para simular las respuestas del modelo ante diversos shocks alrededor del estado estacionario encontrado. Con el objetivo de reducir la dimensión de las variables en el modelo, se reemplazan las condiciones (21) a (23), quedando solo las variables que corresponden al accionar del agente además del producto.

Sea x_t una variable cualquiera. Definimos \bar{x} como su valor de estado estacionario. Por simplicidad, se

asume que la utilización de capital en estado estacionario es $\bar{u} = 1$. Además $\bar{A} = \bar{z} = 1$ por estudiar el equilibrio no estocástico de esta economía. Entonces, en estado estacionario:

$$\alpha \frac{\bar{Y}}{\bar{k}} = \bar{R} \quad (24)$$

$$(1 - \alpha) \frac{\bar{Y}}{\bar{n}} = \bar{w} \quad (25)$$

$$\psi \bar{n}^\varphi = \bar{w} \quad (26)$$

$$\bar{q} = 1 \quad (27)$$

$$1 = \beta [\bar{R} + (1 - \delta)] \quad (28)$$

$$1 = \beta (1 + \bar{r}) \quad (29)$$

$$\bar{r} = \bar{r}^* \quad (30)$$

$$\bar{Y} = \bar{c} + \bar{i} - \bar{r}\bar{b} \quad (31)$$

$$\bar{Y} = \bar{k}^\alpha \bar{n}^{1-\alpha} \quad (32)$$

$$\bar{i} = \delta \bar{k} \quad (33)$$

$$\bar{R} = \delta \omega \quad (34)$$

De la ecuación (27) se observa que el precio relativo del capital en términos de unidades de consumo es igual a uno, lo cual es consistente con que, en estado estacionario, los costos de ajuste sean nulos. De hecho, las ecuaciones (24) a (33) también aplican para los tres modelos restantes, y la ecuación (34) vale para el Modelo 2. Dicho de otra forma, los cuatro modelos son equivalentes en estado estacionario, ya que la utilización variable del capital y los costos de ajuste no juegan un rol importante en el mismo. Para realizar una aproximación del modelo alrededor del estado estacionario, se computan expansiones de Taylor de primer orden. Siendo \hat{x}_t el desvío porcentual de estado estacionario, definido como $\hat{x}_t = \log\left(\frac{x_t}{\bar{x}}\right)$, las ecuaciones log-linealizadas son las siguientes:

$$0 \approx \hat{Y}_t - \hat{u}_t - \hat{k}_t - \hat{R}_t \quad (35)$$

$$0 \approx \hat{Y}_t - \hat{n}_t - \hat{w}_t \quad (36)$$

$$0 \approx \varphi \hat{n}_t - \hat{w}_t \quad (37)$$

$$\beta \phi \mathbb{E}_t \left[\hat{i}_{t+1} \right] \approx \phi (1 + \beta) \hat{i}_t - \phi \hat{i}_{t-1} - \hat{q}_t - \hat{z}_t \quad (38)$$

$$\beta(1 - \delta\bar{u}^\omega) \mathbb{E}_t[\hat{q}_{t+1}] - \pi_1 \mathbb{E}_t[\hat{c}_{t+1}] + \pi_2 \mathbb{E}_t[\hat{n}_{t+1}] + \beta \bar{R} \bar{u} \mathbb{E}_t[\hat{R}_{t+1}] \approx \hat{q}_t - \pi_1 \hat{c}_t + \pi_2 \hat{n}_t \quad (39)$$

$$(1 - \beta) \mathbb{E}_t[\hat{r}_{t+1}] - \pi_1 \mathbb{E}_t[\hat{c}_{t+1}] + \pi_2 \mathbb{E}_t[\hat{n}_{t+1}] \approx -\pi_1 \hat{c}_t + \pi_2 \hat{n}_t \quad (40)$$

$$0 \approx \hat{R}_t - \hat{q}_t + (1 - \omega) \hat{u}_t \quad (41)$$

$$0 \approx \bar{r} \hat{r}_t - \bar{r}^* \hat{r}_t^* + \theta \bar{b} \hat{b}_t \quad (42)$$

$$\bar{b} \mathbb{E}_t[\hat{b}_{t+1}] \approx \bar{Y} \hat{Y}_t - \bar{c} \hat{c}_t - \bar{u} \hat{u}_t + (1 + \bar{r}) \bar{b} \hat{b}_t + \bar{r} \bar{b} \hat{r}_t \quad (43)$$

$$0 \approx \hat{Y}_t - \hat{A}_t - \alpha (\hat{u}_t + \hat{k}_t) - (1 - \alpha) \hat{n}_t \quad (44)$$

$$\mathbb{E}_t[\hat{k}_{t+1}] \approx (1 - \delta) \hat{k}_t + \delta (\hat{z}_t + \hat{i}_t) - \delta \omega \hat{u}_t \quad (45)$$

$$\mathbb{E}_t[\hat{A}_{t+1}] \approx \rho_A \hat{A}_t \quad (46)$$

$$\mathbb{E}_t[\hat{z}_{t+1}] \approx \rho_z \hat{z}_t \quad (47)$$

$$\mathbb{E}_t[\hat{r}_{t+1}^*] \approx \rho_z \hat{r}_t^* \quad (48)$$

donde $\pi_1 = \left[\frac{\sigma \bar{c}}{\bar{c} - \psi \frac{\bar{n}^{1+\varphi}}{1+\varphi}} \right]$ y $\pi_2 = \left[\frac{\sigma \psi \bar{n}^{1+\varphi}}{\bar{c} - \psi \frac{\bar{n}^{1+\varphi}}{1+\varphi}} \right]$. El conjunto de ecuaciones log-linealizadas para el resto de los modelos se encuentra en la sección 6. Se utiliza un programa de Matlab para resolver numéricamente el modelo, introduciendo el sistema de ecuaciones log-linealizadas de la forma:

$$A \mathbb{E}_t[X_{t+1}] = B X_t$$

donde A_t y B_t son matrices de coeficientes y X_t la matriz que contiene todas las variables del sistema. En este caso $X_t = \left[\hat{c}_t, \hat{b}_t, \hat{i}_{t-1}, \hat{A}_t, \hat{z}_t, \hat{r}_t^*, \hat{c}_t, \hat{n}_t, \hat{u}_t, \hat{Y}_t, \hat{W}_t, \hat{R}_t, \hat{w}_t, \hat{r}_t, \hat{q}_t \right]$ donde \hat{W}_t es una variable auxiliar creada simplemente para poder incorporar la inversión en el período $t + 1$. El programa de Matlab devuelve como solución del modelo las matrices F y P donde

$$U_t = F M_t$$

$$M_{t+1} = P M_t$$

con $U_t = \left[\hat{c}_t, \hat{n}_t, \hat{u}_t, \hat{Y}_t, \hat{W}_t, \hat{R}_t, \hat{w}_t, \hat{r}_t, \hat{q}_t \right]'$ el vector que contiene las variables de control del modelo y $M_t = \left[\hat{k}_t, \hat{b}_t, \hat{i}_{t-1}, \hat{A}_t, \hat{z}_t, \hat{r}_t^* \right]'$ las variables de estado. La matriz F resume las funciones de política del modelo, ya que refleja como dependen las variables de control de las de estado, mientras que P está integrada por los coeficientes que marcan el comportamiento de las variables de estado en el tiempo.

3. Calibración

Con el objetivo de calibrar el modelo y contrastar las predicciones del mismo con los datos históricos, se recopilaron datos desestacionalizados en formato trimestral de las principales variables macroeconómicas de Argentina para el período 1994-2019. En particular, se obtuvieron datos correspondientes al producto bruto interno, consumo privado, inversión, exportaciones e importaciones para el período previamente mencionado, obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). Para construir una serie de horas trabajadas, se computo el producto de la cantidad de trabajadores asalariados formales, extraído del Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial (OEDE) del Ministerio de Trabajo de la Nación para los años 1996 a 2019, y el promedio de horas trabajadas reportado en la Encuesta Permanente de Hogares (EPH) para los años 2004 a 2019, posteriormente desestacionalizadas. Ante la ausencia de datos de horas trabajadas en formato trimestral entre 1996 y 2004, se imputó un valor constante para estas, igual al promedio de las horas para los años disponibles. A su vez, se obtuvieron datos de el retorno de los Bonos del Tesoro de Estados Unidos a 3 meses y la inflación trimestral en ese mismo país.

Comenzando con el proceso de calibración, se fija $\alpha = 1/3$. Además, tomando una tasa de interés real neta en estado estacionario de $\bar{r} = 0,01$, por (29) se obtiene $\beta \approx 0,99$. En el caso de la función de utilidad que representa las preferencias de los agentes, esta tiene tres parámetros a elegir: σ , φ y ψ . Consistente con la literatura de ciclos reales, se fija $\sigma = 2$. Ahora bien, de (24) y (25), se obtiene lo siguiente:

$$\psi = (1 - \alpha) \frac{\bar{Y}}{\bar{n}^{1+\varphi}}$$

Esta expresión muestra que la determinación de los parámetros φ y ψ debe ser realizada de manera conjunta. Por simplicidad, se asume $\varphi = 1$, quedando ψ determinado por la ecuación de arriba.

El valor de δ se elige de forma tal que el modelo logre reproducir en estado estacionario la inversión como fracción del producto de los datos recolectados. En particular, dividiendo (33) por \bar{Y} ,

$$\frac{\bar{i}}{\bar{Y}} = \delta \frac{\bar{k}}{\bar{Y}}$$

Además (24), (28) y (29) implican:

$$\alpha \frac{\bar{Y}}{\bar{k}} = \bar{r} + \delta$$

Combinando ambos resultados y resolviendo para el parámetro que guía la depreciación del capital

$$\delta = \frac{\bar{r} \frac{\bar{i}}{\bar{Y}}}{\alpha - \frac{\bar{i}}{\bar{Y}}}$$

El promedio del ratio inversión producto para los años considerados es 0.20. Por lo tanto, se fija $\delta = 0,0152$. Luego, asumiendo que los agentes dedican un tercio de su tiempo a trabajar en equilibrio, es decir que $\bar{n} = 1/3$, el stock de capital en estado estacionario queda determinado por la siguiente expresión:

$$\bar{k} = \bar{n} \left(\frac{\alpha}{\bar{r} + \delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

Reemplazando lo obtenido en (32), se obtiene el producto de estado estacionario. Para el caso del valor de los activos, reescribiendo la ecuación (31) y dividiendo por el producto de estado estacionario \bar{Y}

$$-\frac{\bar{n}\bar{x}}{\bar{Y}} = \frac{\bar{r}\bar{b}}{\bar{Y}}$$

donde $\bar{n}\bar{x} = \bar{Y} - \bar{c} - \bar{i}$ es la balanza comercial de estado estacionario. La balanza comercial promedio como fracción del producto es de -0.018 para el caso de Argentina, implicando un valor para el stock de activos en estado estacionario de 1.3188.

Para los Modelos 2 y 4 que cuentan con utilización variable de capital, el parámetro ω queda determinado por la ecuación (34). Los parámetros correspondientes a los costos de ajuste γ y ϕ se fijan igual a 2.

Respecto a los procesos para las variables exógenas, se fija $\rho_A = 0,95$ en base a Neumeyer-Perri (2002) [10], que manifiestan la imposibilidad de construir una serie del residuo de Solow en formato trimestral para el caso argentino. Además, se elige $\rho_r = 0,9$ dado por la persistencia observada en la serie de tasa de interés real, contruida como la diferencia entre el retorno de los bonos a tres meses del Tesoro y la inflación de Estados Unidos, ambas en formato trimestral para 1994-2019. Por último, ρ_z se fija en 0.9. La tabla 2 resume la calibración realizada.

Tabla 2: Parámetros calibrados

α	β	σ	φ	ψ	θ	γ	ϕ	δ	ω	ρ_A	ρ_z	ρ_r
1/3	0.99	2	1	7.53	0.001	2	2	0.0152	1.65	0.95	0.9	0.9

4. Resultados

A continuación se presentan los principales resultados del trabajo. En la sección 4.1 se muestran las funciones de impulso respuesta generadas por cada uno de los modelos ante diversos shocks. Además, se comparan estos resultados con los obtenidos en el marco de una economía cerrada, en la cual los agentes no tienen acceso al mercado de bonos, dejando al capital como única herramienta para trasladar consumo entre períodos. La sección 4.2 incluye los resultados de las simulaciones, además del análisis sobre la base de variabilidad de simulación y muestreo. Finalmente, la sección 4.3 presenta un análisis de sensibilidad frente a la elección de los parámetros elegidos en relación a los costos de ajuste.

4.1. Funciones de Impulso Respuesta

Una forma de apreciar las dinámicas que generan los modelos planteados es analizando las funciones de impulso respuesta, que muestran como responden las principales variables de la economía ante shocks partiendo del estado estacionario no estocástico. En particular, se consideran perturbaciones de un 1% del valor de estado estacionario a la productividad A_t , a la eficiencia de la inversión z_t y a la tasa de interés libre de riesgo r_t^* . Se grafican los desvíos porcentuales de cada variable con respecto a su valor de estado estacionario por 40 períodos posteriores al shock.

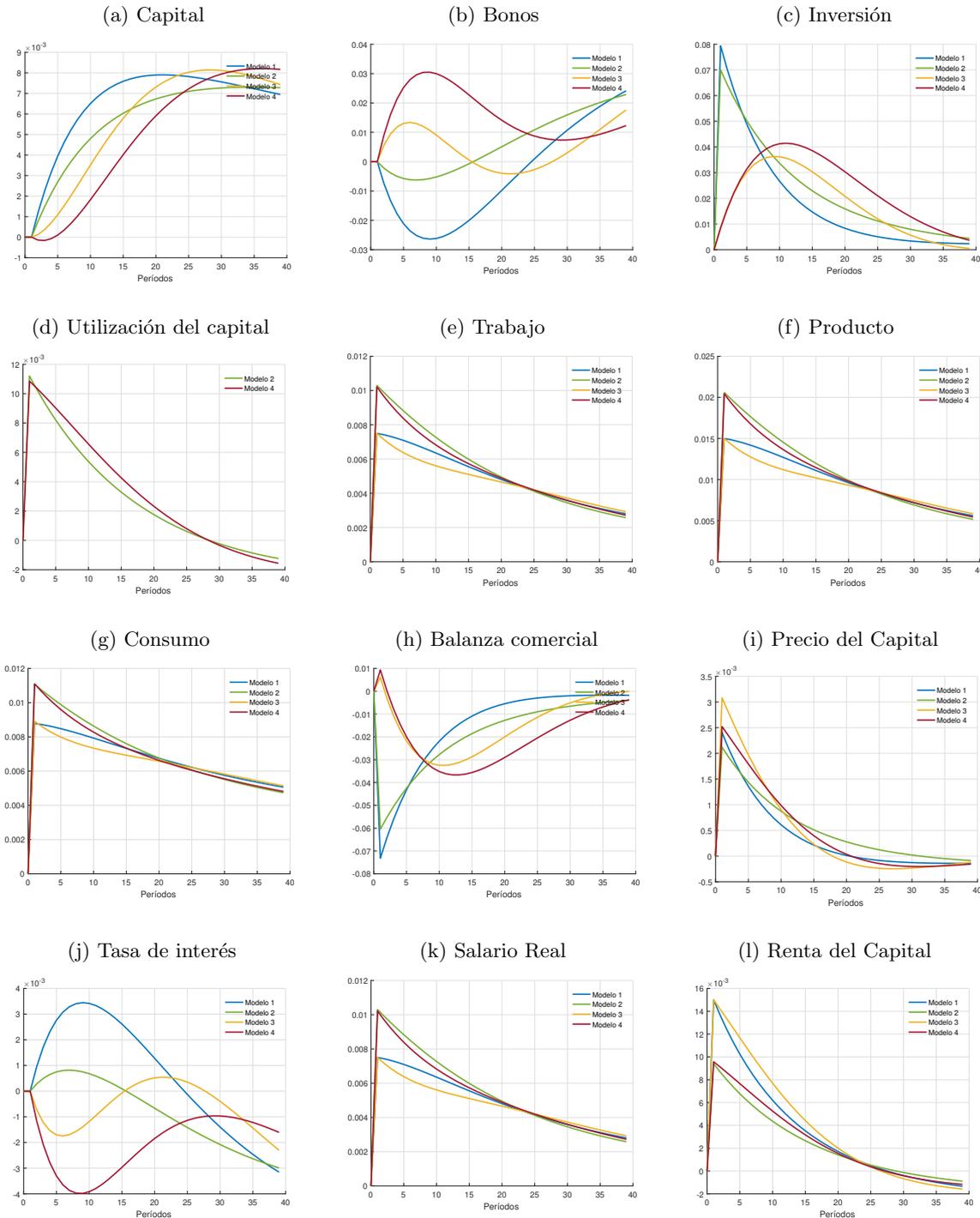
Productividad

El shock a la productividad total de los factores (TFP por sus siglas en inglés), representada por la variable A_t en la función de producción, es la perturbación más tradicional en la literatura de ciclos reales. Un aumento en la TFP indica una mejora en la tecnología que poseen las firmas para combinar trabajo y capital, aumentando la capacidad de producción para una dada cantidad de insumos. La figura 1 resume la respuesta de las principales variables de la economía ante un shock transitorio de un 1% en el parámetro tecnológico.

En primer lugar, esta perturbación genera un cambio en la composición de la cartera de activos de los agentes, con respuestas dispares entre los modelos. En el caso del Modelo 1, se observa un marcado aumento en el stock de capital, acompañado de una caída transitoria en el total de activos financieros. Por el contrario, el Modelo 4 muestra una leve caída en el stock de capital en los primeros períodos, mientras que crece la acumulación de bonos. Por un lado, la utilización variable de capital atenúa el incremento en el stock de capital, lo cual se observa comparando los Modelos 1 y 2 así como 3 y 4. Por otro lado, el costo de ajuste sobre la inversión hacen más costosos cambios bruscos en esta variable relativo a la especificación alternativa, lo cual contribuye a que el capital crezca a una tasa más lenta en los Modelos 3 y 4. Este fenómeno puede apreciarse en el panel (c) de la figura 1, en donde se observa que la inversión

aumenta rápidamente en los modelos con costo de ajuste al capital, mientras que lo hace de forma más paulatina y en una magnitud menor en los otros dos modelos.

Figura 1: Funciones de Impulso Respuesta ante shock en A_t



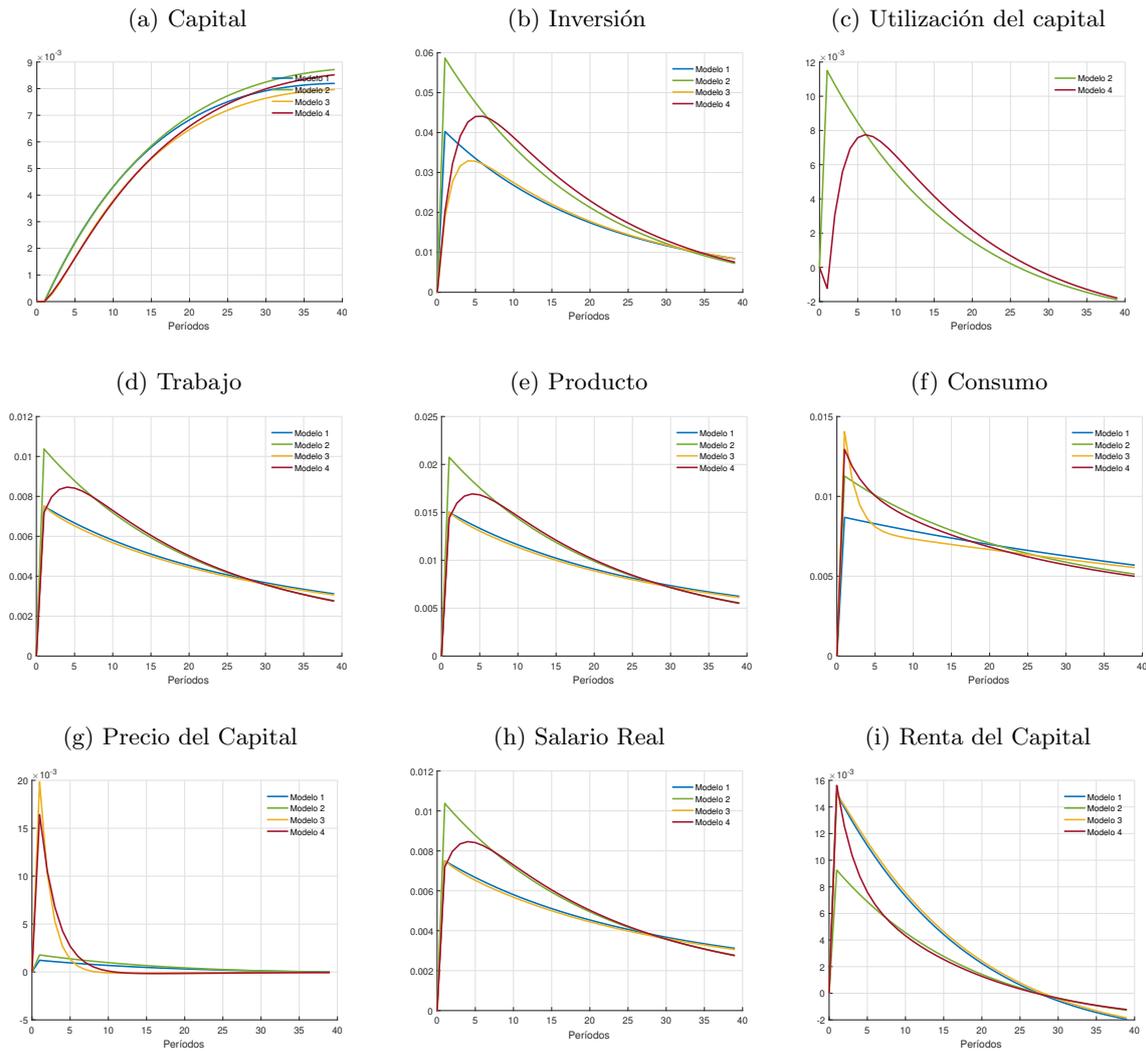
Además, los Modelos 2 y 4, en los cuales el agente puede modificar el grado de utilización del capital, reflejan un aumento mayor en el trabajo y el producto en relación a los otros. La existencia de la utilización variable permite evitar la rigidez del stock de capital en el corto plazo. Algo similar ocurre con el consumo, tal y como se observa en el panel (g) de la figura 1. La respuesta de la balanza comercial es

notablemente dispar entre ambos grupos de modelos. Se observa un marcado déficit de balanza comercial en los modelos con costo de ajuste al capital mientras que, al menos en los primeros períodos, esta es superavitaria para los modelos con costos de ajuste sobre la tasa de crecimiento de la inversión. Esta última especificación obliga a los agentes a aumentar de manera suave la inversión en nuevo capital para no incurrir en grandes costos. En suma, el aumento por mero efecto impacto en el producto logra generar una balanza comercial positiva.

Finalmente, el panel (i) de la figura 1 muestra el aumento relativamente homogéneo del precio del capital en todos los modelos, que retorna a su valor de estado estacionario al cabo de aproximadamente 30 períodos. Ante el aumento en el parámetro tecnológico, las firmas aumentan su demanda de capital, induciendo al agente a acumular más del mismo. Intuitivamente, el aumento en el precio del capital refleja la disposición del agente a sacrificar más bienes de consumo por cada unidad de capital instalada adicional. El comportamiento de la tasa de interés doméstica es el correlato del cambio en la prima de riesgo dado por la variación en la tenencia de activos financieros por parte de los agentes. Tanto el salario real como la renta del capital aumentan, para luego volver lentamente a su valor de estado estacionario. Mientras que el salario real aumenta más en los modelos con utilización variable, lo contrario ocurre con la renta del capital.

Las funciones de impulso respuesta son algo distintas cuando se considera una economía cerrada, las cuales se muestran en la figura 2. En primer lugar, el aumento en el stock de capital a causa del shock es similar entre los cuatro modelos. Además, se reduce drásticamente la diferencia de magnitudes en la inversión para ambos grupos de modelos. Como los agentes no pueden acceder al mercado de crédito, solo son capaces de ahorrar parte de la mejora tecnológica a través de bienes de capital. El consumo en todos los modelos llega a niveles más elevados que los del caso de la economía abierta, además de retornar más rápido a su valor de equilibrio no estocástico, mostrando la incapacidad de los agentes de suavizar el consumo de manera perfecta. La dinámica que muestra la utilización del capital para el Modelo 4, reflejado en el panel (c) de la figura 2, es algo inesperada ya que se observa una reducción en la tasa de utilización en el primer período, para luego aumentar y mantenerse por encima de su valor de estado estacionario por varios períodos.

Figura 2: Funciones de Impulso Respuesta ante shock en A_t en una economía cerrada



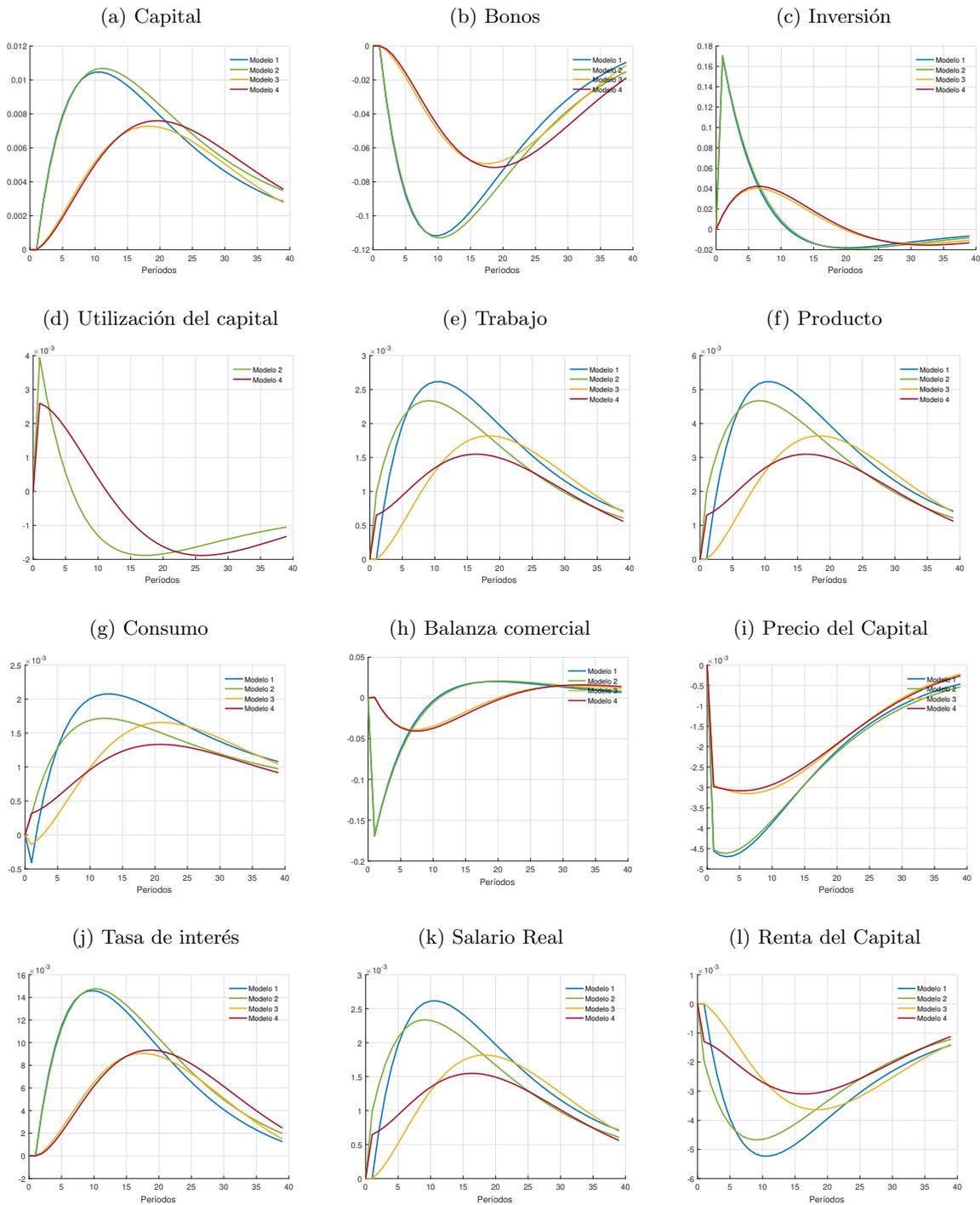
El comportamiento del precio del capital para los Modelos 1 y 2 es similar al caso de economía abierta. Por el contrario, el aumento del mismo en los Modelos 3 y 4 es de un orden de magnitud superior al registrado previamente, lo cual se puede observar en el eje vertical del gráfico. El comportamiento del salario real no presenta mayores desviaciones respecto a lo observado bajo la economía con acceso al mercado de activos financieros.

Eficiencia de la inversión

El shock a la eficiencia marginal de la inversión afecta directamente la tecnología para convertir bienes de inversión en bienes de capital. En particular, un aumento en z_t implica que cada unidad dedicada a la inversión genera, todo lo demás constante, más bienes de capital para el período siguiente. La figura 3 muestra las funciones de impulso respuesta de los modelos ante este shock. Como se observa en el panel (a), el capital crece rápidamente en los Modelos 1 y 2 ante la mejora en la eficiencia de la inversión, acompañados de una reducción en el stock de bonos. Algo similar ocurre en los Modelos 3 y 4, aunque a

una velocidad y magnitud menor. Bajo ambas especificaciones, los agentes reducen su tenencia de activos financieros para dedicar más recursos a la inversión con el objetivo de aprovechar la mejora tecnológica transitoria. La utilización variable de capital no genera grandes cambios en las repuestas de estas dos variables.

Figura 3: Funciones de Impulso Respuesta ante shock en z_t



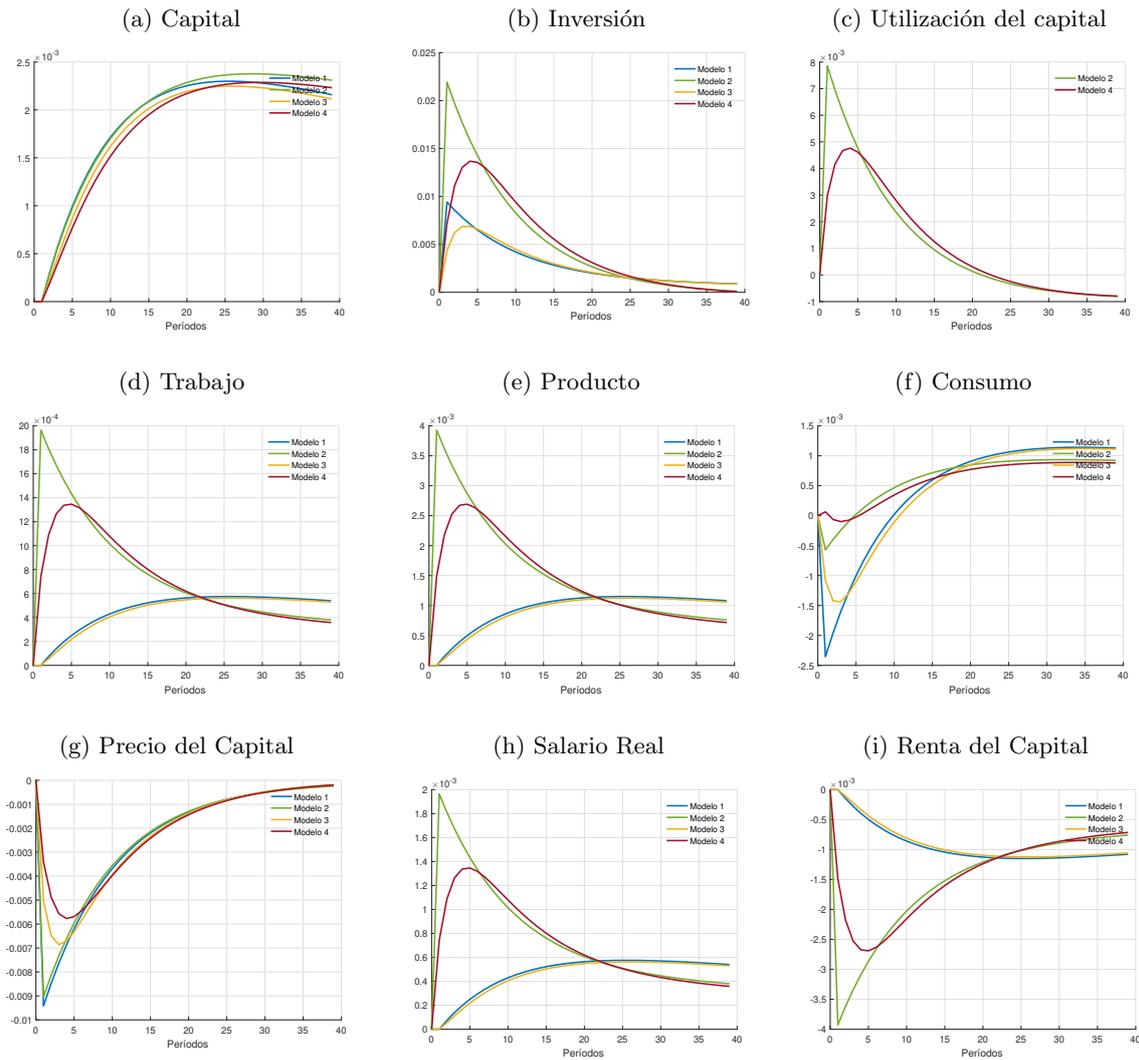
El panel (c) muestra que la inversión aumenta casi cuatro veces más en los modelos con costos de ajuste al capital. Además, la utilización de capital aumenta bajo ambas especificaciones de manera relativamente similar. Al no haber una mejora en la tecnología de producción de bienes de consumo, solo los modelos

con utilización variable reflejan un aumento en el trabajo y producto de manera inmediata, mientras que en los Modelos 1 y 3 esto recién ocurre en el período siguiente al shock. Además, los Modelos 2 y 4 reflejan un quiebre en las respuestas de trabajo y capital, lo cual es una característica de los modelos con utilización variable.

En el caso del consumo, plasmado en el panel (g) de la figura 3, surge una dinámica interesante. Los modelos sin utilización variable muestran una reducción del consumo en los primeros períodos, mientras que lo contrario ocurre con los modelos que carecen de esta característica. Intuitivamente hay dos efectos contrapuestos detrás de ese gráfico. Por un lado, el shock positivo genera un sendero de ingreso más alto para el agente, lo cual le permite aumentar el consumo presente y futuro. Por el otro, la mejora tecnológica incentiva a los agentes a reducir su consumo presente de bienes para aumentar la inversión. La utilización variable ayuda a morigerar este último efecto. Además, los agentes pueden evitar una severa reducción en el consumo presente desacumulando activos financieros, algo que no está disponible en el caso de la economía cerrada. Finalmente el comportamiento de los precios de la economía se encuentran resumidos en los paneles (i) a (l). El precio del capital cae de manera abrupta, sobre todo en los Modelos 1 y 2, producto de la mejora tecnológica en la confección de capital. A diferencia del shock en la TFP, los precios de los factores reaccionan de manera opuesta. El aumento en el capital disponible hace caer la renta del mismo, mientras que aumenta la productividad marginal del trabajo, elevando el salario real.

La figura 4 resume el impacto del shock previamente descrito en la economía para el caso en que los agentes no tienen acceso al mercado de crédito internacional. A simple vista, se pueden apreciar tres características salientes: 1) Las respuestas no varían demasiado entre distintas especificaciones de costos de ajuste, pero sí cambian respecto de la existencia de utilización variable. 2) Los cambios en la inversión son menores en magnitud respecto a los registrados bajo economía abierta. 3) Los Modelos 1,2 y 3 muestran una caída en el consumo en los primeros períodos, mientras que en el Modelo 4 este aumenta muy levemente. Como los agentes carecen de un mercado de bonos, estos reducen su consumo presente de bienes con el objetivo de aumentar la inversión y poder aumentar el consumo más adelante, lo cual implica un costo importante en términos de utilidad.

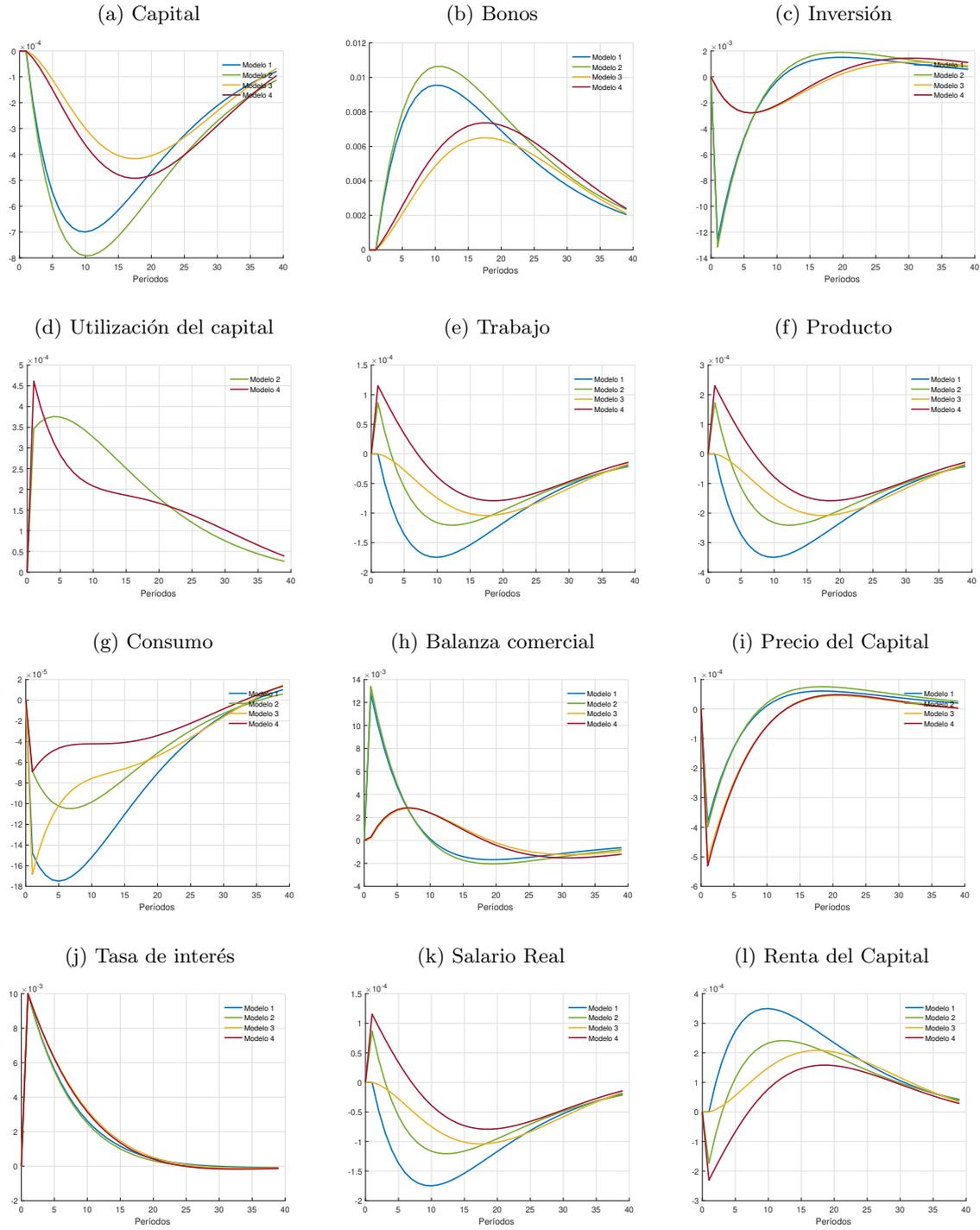
Figura 4: Funciones de Impulso Respuesta ante shock en z_t en una economía cerrada



Tasa de interés internacional

El último shock considerado es uno a la tasa de interés internacional. Los resultados están resumidos en la figura 5. El aumento en la tasa libre de riesgo genera un cambio de composición en la cartera de los agentes, reduciendo el stock de capital mediante una caída en la inversión a la vez que crece la tenencia de bonos. Estos movimientos son más drásticos en los modelos con costos de ajuste sobre el nivel de capital. El comportamiento del resto de las variables se ve fuertemente condicionado por la utilización variable del capital. A pesar de la caída del stock de capital, los Modelos 2 y 4 registran un aumento en el trabajo y la utilización que redundan en un aumento del producto. En cambio, ocurre lo contrario para los Modelos 1 y 3. Esto tiene un correlato en el comportamiento del consumo, en donde los modelos sin utilización variable experimentan una caída más drástica, ya que a la caída del producto se le agrega el efecto sustitución intertemporal, por el cual el agente reduce consumo presente y aumenta el futuro aprovechando el mayor retorno de los bonos.

Figura 5: Funciones de Impulso Respuesta ante shock en r_t^*



4.2. Evaluación de los modelos

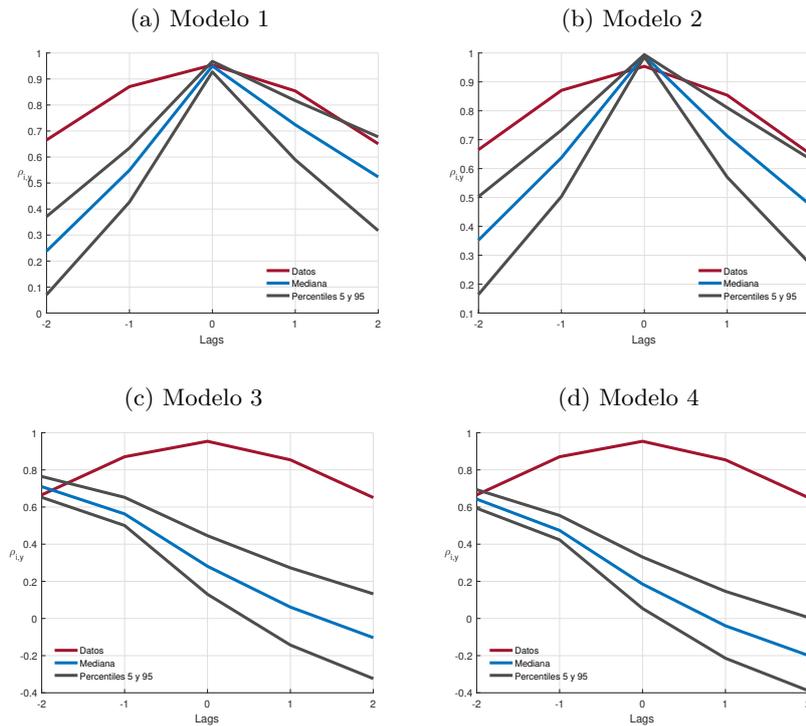
Las funciones de impulso respuesta presentadas en la sección previa resultan útiles para revelar el comportamiento de las principales variables de la economía ante shocks exógenos. Sin embargo, se deben adoptar técnicas algo más sofisticadas para poder evaluar el desempeño de los modelos en relación a los datos. En esta sección se busca determinar la capacidad de los modelos para reproducir ciertas regularidades presentes en los datos recolectados. En términos más generales, siguiendo a Canova [1], sea $S_d(\Delta_t)$ un conjunto de estadísticos relevantes de los datos con Δ_t un error de medición y $S_m(\epsilon_t, \Gamma)$ el correspondiente estadístico en los datos simulados dado un vector de parámetros Γ y ϵ_t un vector de shocks. El objetivo de realizar una evaluación de los modelos es medir y cuantificar la distancia entre $S_d(\Delta_t)$ y $S_m(\epsilon_t, \Gamma)$. A continuación se presentan dos enfoques alternativos para la evaluación de los modelos, particularmente centrados en las correlaciones de ciertas variables (producto, consumo y trabajo) con la inversión en distintos lags: Variabilidad de simulación y variabilidad de muestreo. El primer enfoque hace énfasis en ϵ_t mientras que el segundo se centra en Δ_t . En el resto de la sección se describen ambas técnicas en detalle y los resultados obtenidos. En ambos enfoques, las series utilizadas son previamente filtradas con el filtro de Hodrick-Prescott.

Variabilidad de simulación

El enfoque centrado en la variabilidad de simulación, popularizado por Gregory y Smith [5], consiste en tomar los datos como dados, a la vez de simular el modelo reiteradas veces con shocks aleatorios en todos los períodos. De esta forma, se crea una distribución para los datos simulados, que pueden ser contrastados con lo que marcan los datos históricos previamente recolectados. En particular, se realizan 2000 simulaciones de T períodos para cada modelo, con T la cantidad de trimestres con datos disponibles. En cada simulación se computan las correlaciones entre producto e inversión en distintos lags. Por simplicidad, solo se incluyen shocks a la productividad total de los factores en las simulaciones.

La figura 6 muestra la mediana de la correlación entre producto e inversión en diferentes lags generada por cada uno de los modelos, así como también las bandas definidas por los percentiles 5 y 95 de la distribución resultante. Además, se incluyen las correlaciones observadas en los datos.

Figura 6: Correlación entre Producto e Inversión en diferentes lags



En primer lugar, se observa que los resultados difieren significativamente entre especificaciones de costos de ajuste. En el caso de los Modelos 1 y 2, con costos de ajuste sobre el nivel de capital, estos logran reproducir la correlación contemporánea del producto y la inversión de manera aceptable. Además, los modelos son capaces de reproducir cualitativamente el comportamiento de las correlaciones de los datos, en el sentido que caen a medida que se consideran lags más lejanos al cero. De todas formas, ambos modelos subestiman considerablemente todas las correlaciones que no sean la contemporánea. Por otro lado, los Modelos 3 y 4 reflejan una relación algo distinta entre las variables consideradas. Como ya se mencionó previamente, la especificación que cuenta con costos de ajuste sobre el cambio en la inversión hace que los agentes modifiquen esta variable de manera suave ante cambios en el parámetro tecnológico, mientras que el efecto es inmediato en el caso del producto. Esto hace esperable observar correlaciones altas entre la inversión y el producto rezagado algunos períodos, tal y como muestran los paneles (c) y (d) de la figura 6. De todas formas, es claro que esta segunda especificación para la tecnología de acumulación de capital no logra capturar la dinámica observada en los datos, sobretudo para los Lags 1 y 2, en donde los modelos predicen correlaciones cercanas a cero o incluso negativas.

Los resultados son similares cuando se analizan las correlaciones entre inversión y consumo o inversión y trabajo, plasmados en las figuras 7 y 8.

Figura 7: Correlación entre Consumo e Inversión en diferentes lags

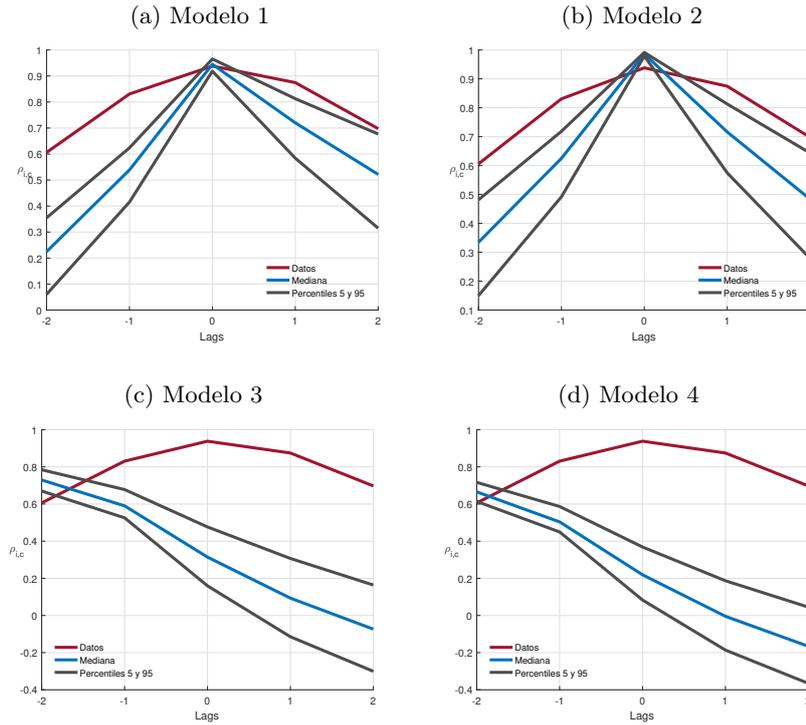
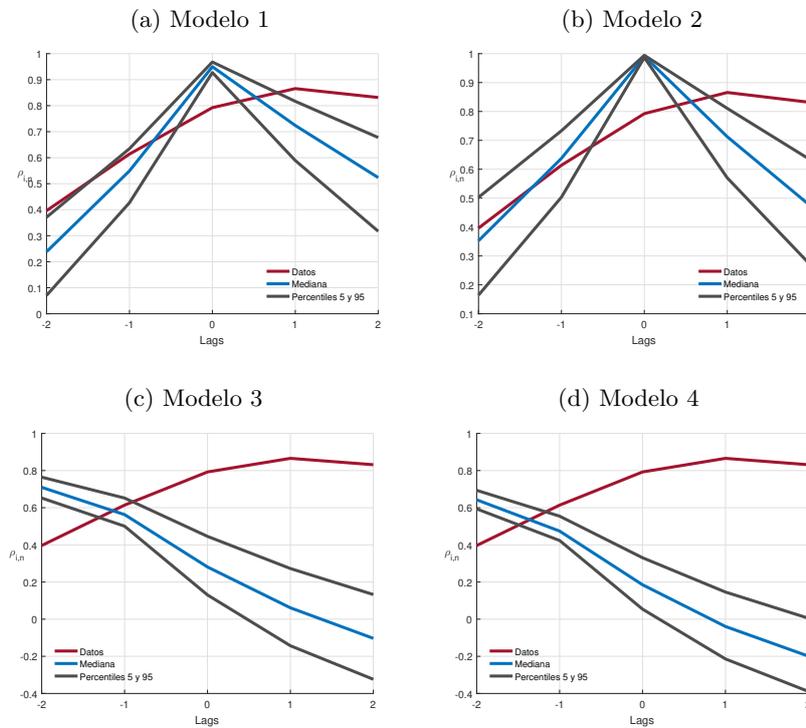


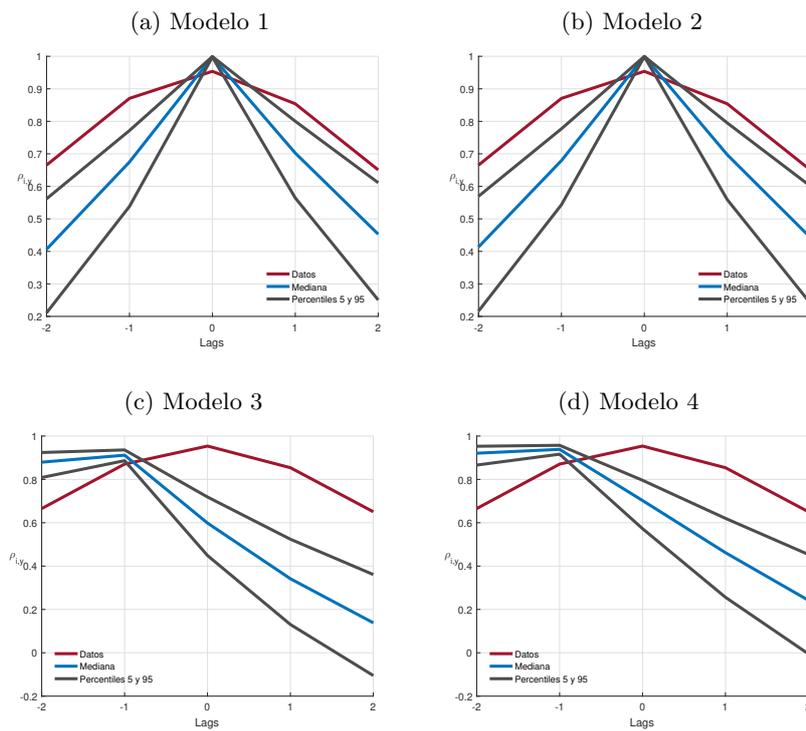
Figura 8: Correlación entre Trabajo e Inversión en diferentes lags



Relizando el mismo análisis para el caso en el que los agentes no tienen acceso al mercado de crédito, los resultados son algo distintos. Los paneles (a) y (b) de la figura 9 muestran que los Modelos 1 y 2 se comportan prácticamente igual entre sí, mientras que había leves diferencias en el caso de economía

abierta. Además, las correlaciones para los Modelos 3 y 4 aumentan en todos los lags, siendo positivas todas las medianas de las correlaciones estudiadas. Ante la ausencia de bonos para suavizar los shocks a la productividad, los agentes deben ajustar más rápido la inversión de lo que lo hacían bajo un esquema de economía abierta, siendo perjudicados en términos de bienestar por la mayor cantidad de recursos perdidos por el costo de ajuste a pagar. En el caso de la economía cerrada, la correlación más alta registrada es entre i_t e Y_{t-1} . Por simplicidad, no se incluyen los resultados del Consumo y Trabajo, ya que de ellos se desprenden las mismas conclusiones.

Figura 9: Correlación entre Producto e Inversión en diferentes lags en una economía cerrada



Variabilidad de muestreo

El enfoque de variabilidad de muestreo permite introducir cierta aleatoriedad por el lado de los datos, alegando la existencia de errores de medición. Para ello, se procede a estimar un VAR de dos rezagos con los datos recolectados incluyendo las variables Producto, Consumo e Inversión. La tabla 3 resume la selección de rezagos del VAR mediante los criterios de información.

Tabla 3: Selección de rezagos para estimación del VAR

	AIC	SIC	HQC
1	-15.1808	-14.8757	-15.0572
2	-15.5775	-15.0435	-15.3612
3	-15.5195	-14.7567	-15.2105
4	-15.3948	-14.4032	-14.9931

Se utilizan los coeficientes estimados del VAR para generar datos sintéticos, incorporando residuos de una normal multivariada con matriz de varianzas y covarianzas calculada a partir de los datos históricos. De nuevo, se realizan 2000 simulaciones de T períodos, calculando las correlaciones entre variables en cada iteración. Como se dispone de una serie más corta para la variable referente al trabajo, se estima un nuevo VAR incluyendo las cuatro variables y repitiendo el mismo procedimiento. Este nuevo VAR solo se utiliza en las simulaciones para calcular las correlaciones entre Trabajo e Inversión.

A modo de ejemplo, la figura 10 muestra la mediana de las correlaciones entre Producto e Inversión para los modelos, calculadas en la sección anterior, junto con la mediana y las bandas de 5% y 95% para los datos sintéticos generados a partir del VAR.

Figura 10: Correlación entre Producto e Inversión en diferentes lags

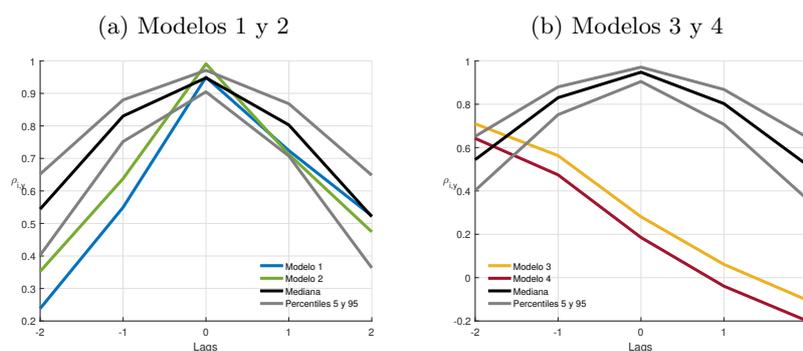


Figura 11: Correlación entre Consumo e Inversión en diferentes lags

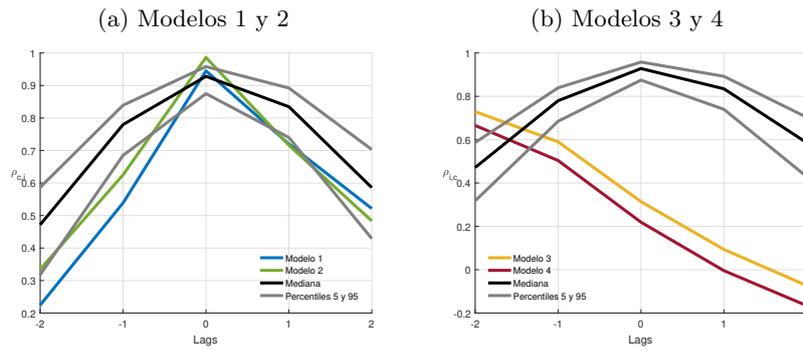
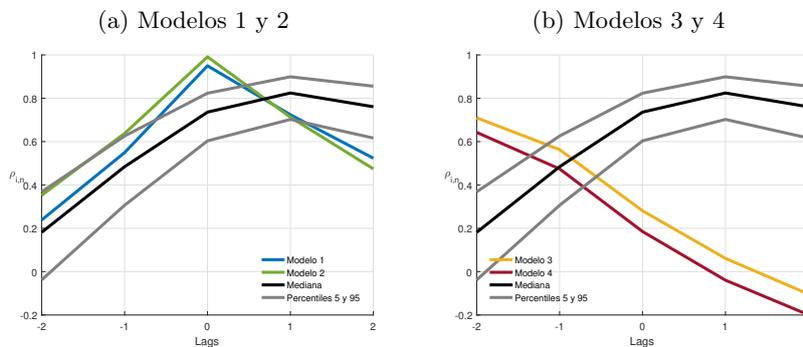


Figura 12: Correlación entre Trabajo e Inversión en diferentes lags

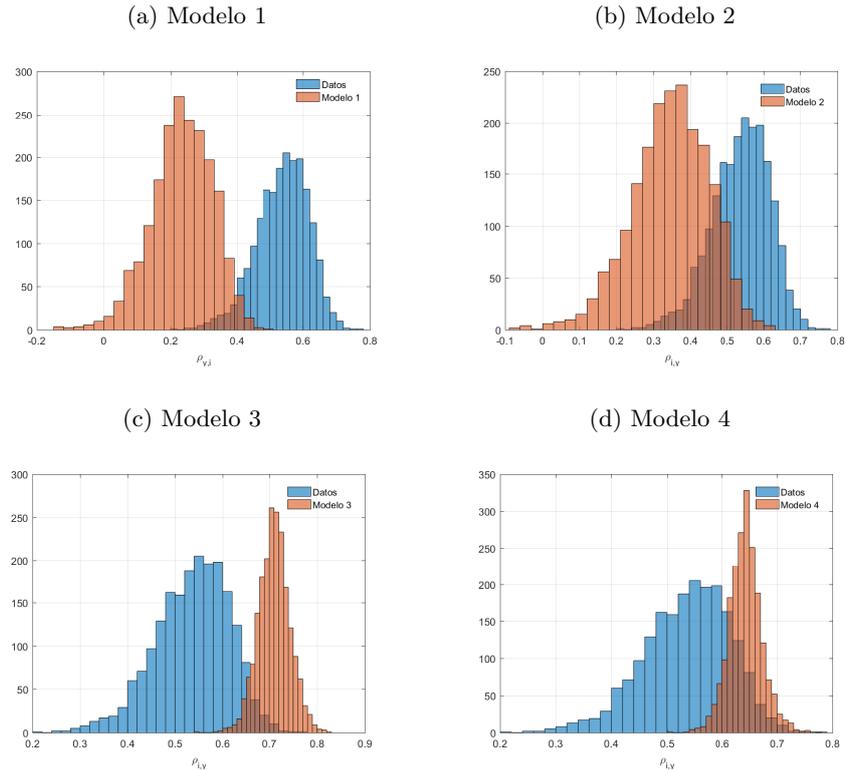


Variabilidad de simulación y muestreo

Combinando los resultados de ambas técnicas utilizadas para la evaluación de los modelos, se construyen histogramas con las distribuciones de las simulaciones así como de los datos sintéticos para cada estadístico de interés.

La figura 13 muestra las distribuciones de las simulaciones de los modelos así como de los datos generados a través de los coeficientes del VAR en torno a la correlación entre la inversión y el producto rezagado dos períodos. Se observa que los Modelos 1 y 2 tienden a subestimar la correlación en cuestión, mientras que lo contrario ocurre con los Modelos 3 y 4. Estos últimos muestran una distribución más concentrada alrededor de la mediana. En este caso, los modelos con utilización variable de capital logran una superposición mayor de las distribuciones, indicando un mejor desempeño a la hora de reproducir este estadístico en particular.

Figura 13: Distribución de simulaciones y datos sintéticos - Correlación i_t e Y_{t-2}



A partir de la correlación entre la inversión y el producto rezagado un período, el desempeño de los modelos con costos de ajuste sobre el cambio en la inversión es deficiente, ya que prácticamente la distribución resultante de las simulaciones de estos modelos no se solapan con la de los datos generados a partir del VAR, como se observa en las figuras 14 a 17. Por el contrario, el resultado para los Modelos 1 y 2 es más que aceptable. En el caso de la correlación contemporánea entre las variables consideradas, la distribución generada por el Modelo 1 se solapa casi perfectamente con la de los datos, a pesar de que esta última tiene algo más de dispersión. Además, algo similar ocurre con ambos modelos con la especificación más tradicional de costo de ajuste en el caso de la correlación de i_t con Y_{t+2} .

Estos resultados sugieren que los modelos con costo de ajuste al capital logran reproducir mejor las correlaciones observadas en los datos. Además, la utilización variable no parece ser un fenómeno determinante en términos de predicciones, salvo para el caso de la correlación contemporánea, en donde el Modelo 2 sobreestima este estadístico, mientras que el Modelo 1 genera correlaciones muy parecidas a la de los datos.

Figura 14: Distribución de simulaciones y datos sintéticos - Correlación i_t e Y_{t-1}

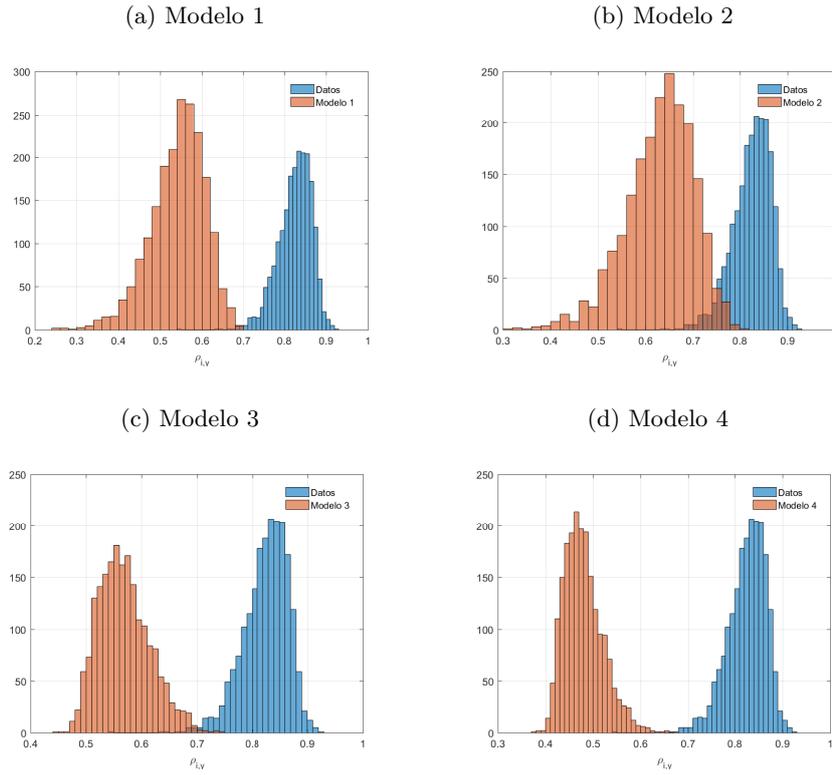


Figura 15: Distribución de simulaciones y datos sintéticos - Correlación i_t e Y_t

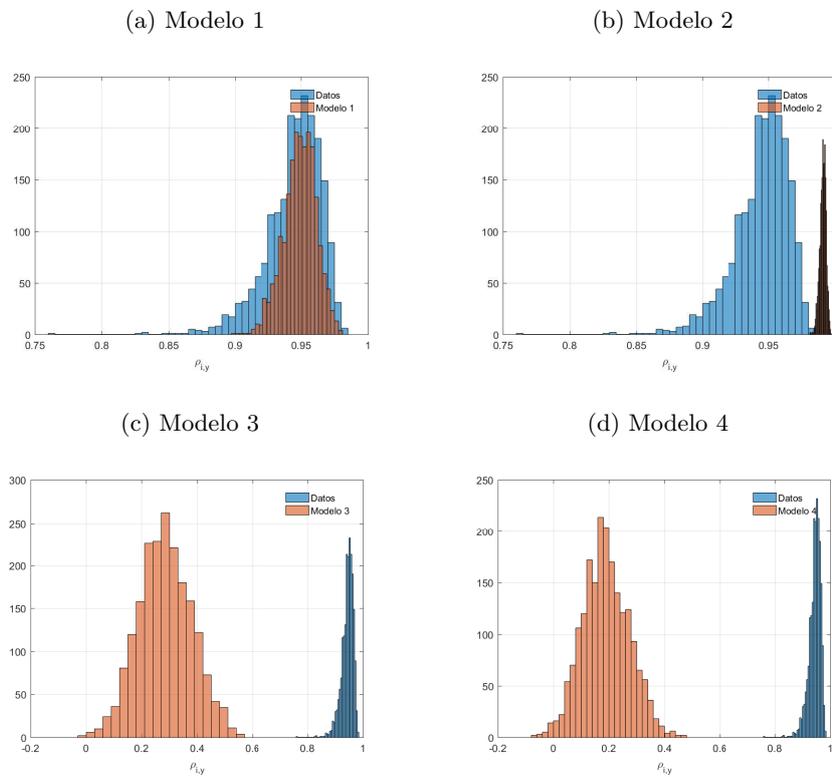


Figura 16: Distribución de simulaciones y datos sintéticos - Correlación i_t e Y_{t+1}

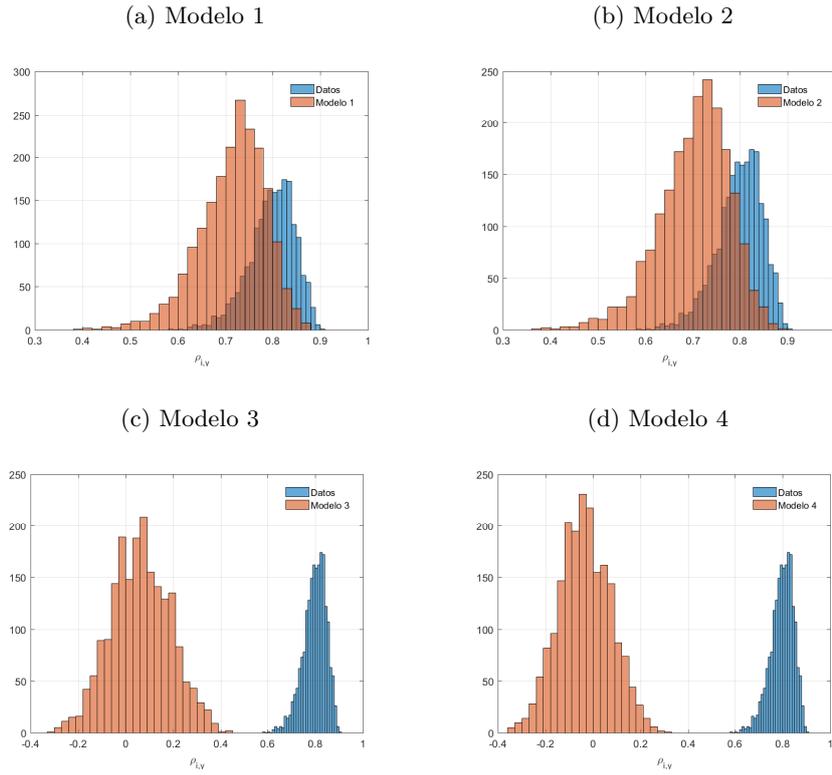
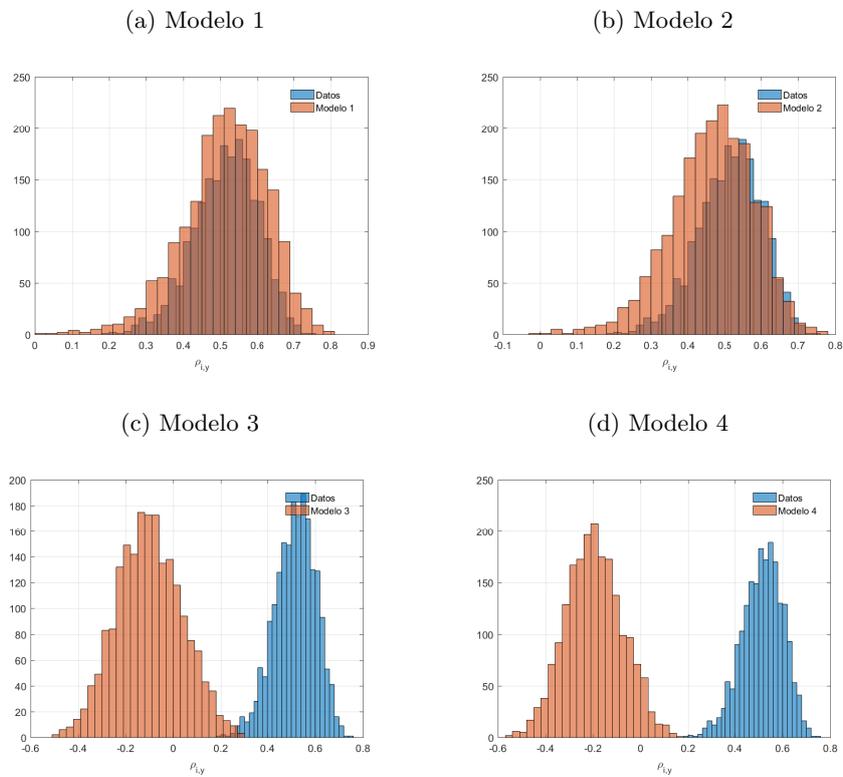


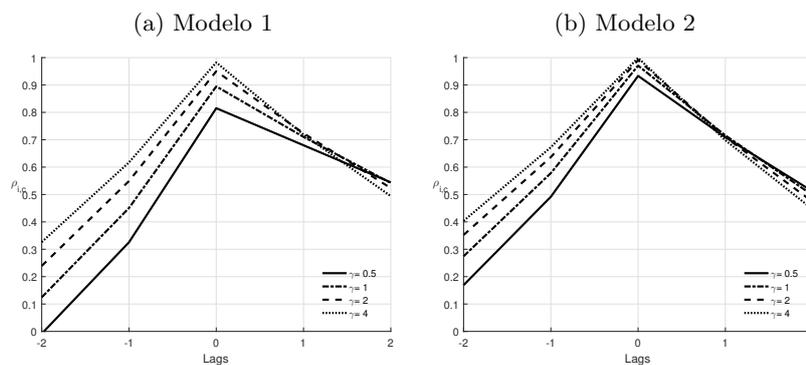
Figura 17: Distribución de simulaciones y datos sintéticos - Correlación i_t e Y_{t+2}



4.3. Análisis de sensibilidad

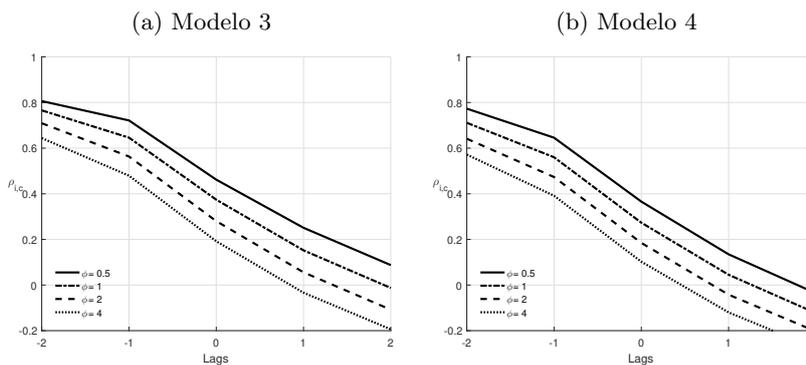
La elección de los parámetros γ y ϕ son de vital importancia en el trabajo ya que regulan la intensidad de los costos de ajuste considerados en la ley de movimiento del capital. Mientras más grande estos parámetros, más costoso se vuelve el cambio en el stock de capital en el corto plazo. En la sección 3, se asignó $\gamma = 2$ y $\phi = 2$, valores usuales en los trabajos que utilizan este tipo de especificaciones. Esta sección busca analizar que tanto dependen los resultados obtenidos de esta calibración un tanto arbitraria. La figura 18 muestra como cambian las correlaciones entre producto e inversión en diferentes lags cuando se afecta el parámetro correspondiente a los Modelos 1 y 2. Se observa que las correlaciones entre la inversión y el producto pasado son algo sensibles al valor que toma γ , mientras que las correlaciones con el producto futuro son prácticamente idénticas. El Modelo 2, que cuenta con utilización variable de capital, muestra una sensibilidad menor que el Modelo 1 en todos los lags considerados.

Figura 18: Correlación Producto e Inversión para distintos valores de γ



En el caso de los Modelos 3 y 4, las diferencias son algo más pronunciadas y homogéneas, ya que todas las correlaciones reportadas caen de manera monótonas a medida que aumenta el parámetro ϕ . De todas formas, estas diferencias no son lo suficientemente significativas como para afectar los resultados obtenidos en las secciones previas.

Figura 19: Correlación Producto e Inversión para distintos valores de ϕ



5. Conclusión

Con el objetivo de estudiar las implicancias de distintas especificaciones en relación a la tecnología de acumulación del capital, se construyó un modelo de ciclos reales con cuatro variantes que incluyen distintos tipos de costos de ajuste así como también la inclusión de utilización variable del capital. Una vez resuelto el modelo y calibrado con datos de Argentina, se procedió a computar las funciones de impulso respuesta ante shocks a la productividad, eficiencia de la inversión y tasa de interés internacional. Además, se pusieron en práctica técnicas de simulación para evaluar el desempeño de los modelos propuestos con respecto a los datos recolectados.

Las funciones de impulso respuesta estudiadas en la sección 4.1 dejan en evidencia las principales diferencias entre los distintos modelos considerados. La inclusión de costos de ajuste sobre el cambio en la inversión genera cierta inercia en las variables de la economía, haciendo que su reacción a las perturbaciones sea, en general, más progresiva y en una magnitud menor en comparación a la especificación más tradicional. Por otro lado, la inclusión de la utilización variable de capital funciona como un vía alternativa para aumentar la oferta de capital en el corto plazo, evitando incurrir en grandes costos de ajuste. Esta característica afecta la respuesta de las variables en la economía, particularmente en los shocks a la productividad y a la tasas de interés internacional.

Las técnicas de evaluación de desempeño presentadas en la sección 4.2, basadas en la variabilidad de simulación y muestreo, sugieren que los modelos con costos de ajuste sobre el nivel de capital logran reproducir de manera aceptable las correlaciones entre la inversión y el resto de las variables consideradas. Por el contrario, los modelos que cuentan con costos de ajuste sobre el cambio en la inversión generan una dinámica completamente distinta a la observada en los datos. Debido a la inercia con la que reacciona la inversión bajo en este tipo de modelos, se obtienen correlaciones muy elevadas entre la inversión presente y el producto pasado a la vez que correlaciones bajas o incluso negativas al considerar el producto futuro. En el marco de una economía cerrada, esta inercia estructural confronta con el hecho de que el capital se convierte en el único instrumento para trasladar consumo entre períodos, obligando a los agentes a readecuar más rápido el stock de capital ante shocks exógenos para suavizar el consumo, registrándose correlaciones más elevadas entre inversión y producto en las simulaciones. Como muestra la sección 4.3, estos lineamientos generales no son sensibles a la calibración elegida para los parámetros que guían los costos de ajuste en ambos grupos de modelos. Además, los resultados se mantienen al considerar variables alternativas al producto, como consumo o trabajo.

A pesar de la simplicidad de los modelos considerados, estos nos permiten apreciar las distintas dinámicas que generan especificaciones alternativas en la tecnología de acumulación de capital. Si bien esta faceta ha sido estudiada de forma marginal a lo largo de la literatura en este tipo de modelos, es un aspecto fundamental que condiciona notablemente la capacidad de los mismos para replicar hechos estilizados de los datos.

6. Apéndice

Las ecuaciones log-linealizadas para el Modelo 2 son las siguientes:

$$0 \approx \hat{Y}_t - \hat{u}_t - \hat{k}_t - \hat{R}_t \quad (49)$$

$$0 \approx \hat{Y}_t - \hat{n}_t - \hat{w}_t \quad (50)$$

$$0 \approx \varphi \hat{n}_t - \hat{w}_t \quad (51)$$

$$0 \approx -\hat{q}_t - (1 - \gamma\delta) \hat{z}_t + \gamma\delta (\hat{i}_t - \hat{k}_t) \quad (52)$$

$$\beta(1 - \delta\bar{u}^\omega) \mathbb{E}_t [\hat{q}_{t+1}] + \beta\gamma\delta^2 (\hat{z}_{t+1} + \hat{i}_{t+1} - \hat{k}_{t+1}) - \pi_1 \mathbb{E}_t [\hat{c}_{t+1}] + \pi_2 \mathbb{E}_t [\hat{n}_{t+1}] + \beta \bar{R} \bar{u} \mathbb{E}_t [\hat{R}_{t+1}] \approx \hat{q}_t - \pi_1 \hat{c}_t + \pi_2 \hat{n}_t \quad (53)$$

$$(1 - \beta) \mathbb{E}_t [\hat{r}_{t+1}] - \pi_1 \mathbb{E}_t [\hat{c}_{t+1}] + \pi_2 \mathbb{E}_t [\hat{n}_{t+1}] \approx -\pi_1 \hat{c}_t + \pi_2 \hat{n}_t \quad (54)$$

$$0 \approx \hat{R}_t - \hat{q}_t + (1 - \omega) \hat{u}_t \quad (55)$$

$$0 \approx \bar{r} \hat{r}_t - \bar{r}^* \hat{r}_t^* + \theta \bar{b} \hat{b}_t \quad (56)$$

$$\bar{b} \mathbb{E}_t [\hat{b}_{t+1}] \approx \bar{Y} \hat{Y}_t - \bar{c} \hat{c}_t - \bar{i} \hat{i}_t + (1 + \bar{r}) \bar{b} \hat{b}_t + \bar{r} \bar{b} \hat{r}_t \quad (57)$$

$$0 \approx \hat{Y}_t - \hat{A}_t - \alpha (\hat{u}_t + \hat{k}_t) - (1 - \alpha) \hat{n}_t \quad (58)$$

$$\mathbb{E}_t [\hat{k}_{t+1}] \approx (1 - \delta) \hat{k}_t + \delta (\hat{z}_t + \hat{i}_t) - \delta \omega \hat{u}_t \quad (59)$$

$$\mathbb{E}_t [\hat{A}_{t+1}] \approx \rho_A \hat{A}_t \quad (60)$$

$$\mathbb{E}_t [\hat{z}_{t+1}] \approx \rho_z \hat{z}_t \quad (61)$$

$$\mathbb{E}_t [\hat{r}_{t+1}^*] \approx \rho_z \hat{r}_t^* \quad (62)$$

Para el caso de los modelos sin utilización variable del capital, las ecuaciones log-linealizadas son análogas a sus contrapartidas con esta característica ignorando los términos con \hat{u}_t , además de las ecuaciones (55) para el Modelo 1 y (41) para el Modelo 3.

Referencias

- [1] Canova, F (2007). "Methods for Applied Macroeconomic Research". Capítulo 7. *Princeton University*.
- [2] Christiano, L. Eichenbaum, M. Evans, C. (2005). "Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy". *Journal of Political Economy* Vol. 113 (1), pp 1-45.
- [3] Greenwood, J. Hercowitz, Z. Huffman, G. (1988). "Investment, Capacity Utilization and the Real Business Cycle". *American Economic Review* Vol. 78 (3), pp 402-17.
- [4] Greenwood, J. Hercowitz, Z. Krusell, P. (2000) "The Role of Investment-Specific Technological Change in the Business Cycle". *European Economic Review* Vol. 44(1), pp 91-115.
- [5] Gregory, A.W. Smith, G.W. (1991) "Calibration as Testing: Inference in Simulated Macroeconomic Models". *Journal of Business and Economic Statistics* Vol. 9 (3), pp 297-303
- [6] Hevia, C (2019). Notas de Clase, Macroeconometría Estructural: Calibración . Universidad Torcuato Di Tella.
- [7] Sims, E (2017). Notas de Clase, Macro Theory II: Extensions of Basic RBC Framework. University of Notre Dame.
- [8] Kydland, F. Prescott, E. (1982). "Time to Build and Aggregate fluctuations ". *Econometrica* 50 pp 1345-70.
- [9] Mendoza, E. (1991). "Real Business Cycle in a Small Open Economy". *American Economic Review* Vol. 81 (4), pp 797-818.
- [10] Neumeyer, A.P. Perri, F. (2004). "Business Cycle in Emerging Economies: The Role of Interest Rate". *Journal of Monetary Economics* Vol. 52 (2), pp 345-80.
- [11] Uribe, M. Schmitt-Grohe, S (2003). "Closing Small Open Economy Models". *Journal of International Economics* 61, pp 163-185.