

LA MAQUINARIA AGRICOLA EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1948-1983: UN MODELO DINAMICO DE DETERMINACION DEL PRECIO DE UN ACTIVO PRODUCTIVO

Eugenio Figueroa B.*

EXTRACTO

Este trabajo presenta la estimación empírica de un modelo dinámico de inversión, que permite determinar endógenamente la senda óptima de expansión de un activo productivo cuasifijo, así como su precio. Una ventaja es que el precio determinado para este factor de producción corresponde a su precio de activo, y no al *rental price* originalmente derivado por Jorgenson (1963), con sus conocidas complicaciones empíricas. El modelo construye a partir de los últimos desarrollos en teoría moderna de la inversión, e incorpora expectativas racionales en el sentido de Muth (1961). Se aplica a la inversión en maquinaria y equipo por el sector agrícola de los Estados Unidos, en el período 1948-1983. Se obtienen estimaciones, que parecen ser las primeras reportadas, de los determinantes de la curva de oferta de la industria norteamericana productora de maquinaria y equipo agrícola. Se demuestra la importancia de estos determinantes en las decisiones de inversión del sector agroproductivo. Se discuten algunas implicancias de política, así como posibles investigaciones futuras a partir del modelo y las estimaciones presentadas.

ABSTRACT

This paper presents the empirical estimation of a dynamic model of investment, which allows for the endogenous determination of the optimal expansion path of a quasifixed productive factor, and its price. The advantage of this method is that the determined price corresponds to the "asset" price of the productive factor, in opposition to the "rental" price originally derived by Jorgenson (1963) with all its empirical problems. The model builds from the most recent developments in the theory of investment, assumes rational expectations in the sense of Muth (1961), and its is applied to the investment in machinery and equipment by the U.S. agricultural sector, during the 1948-1983 period. Here, and apparently for the first time ever, empirical estimates are reported for the determinants of the supply curve of the American industry producing agricultural machinery and equipment. The importance of these determinants for the investment decisions of the agricultural sector are shown. Policy implications as well as possible future research are discussed.

* Profesor del Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Chile. El autor agradece a H.L. Kelejian y R.E. López de la Universidad de Maryland por las ideas con que contribuyeron, a Marc Nerlove de la Universidad de Pennsylvania por sus comentarios a una versión previa presentada al IX Congreso Latinoamericano de la Sociedad de Econometría (Santiago, agosto de 1989), y a dos árbitros anónimos de esta revista por sus útiles comentarios. Los errores son de la exclusiva responsabilidad del autor.

LA MAQUINARIA AGRICOLA EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1948-1983: UN MODELO DINAMICO DE DETERMINACION DEL PRECIO DE UN ACTIVO PRODUCTIVO*

Eugenio Figueroa B.

1. INTRODUCCIÓN

La teoría de la inversión es parte de la teoría dinámica de decisión, ya que intenta explicar las decisiones que hacen que los agentes económicos cambien sus *stocks* de factores cuasifijos a lo largo del tiempo. La teoría convencional de la firma, en su contexto de estática comparativa, no provee una teoría de la inversión. El enfoque marshalliano estándar no tiene una teoría que explique los movimientos de los *stocks* de factores cuasifijos desde un equilibrio a otro y no tiene medios para describir la velocidad con la que ocurren los ajustes hacia el equilibrio. Asume que la inversión de una firma está gobernada por su motivación maximizadora de beneficios, pero una teoría maximizadora de beneficios no implica por necesidad lógica una teoría ni de beneficios ni dinámica de la inversión.

Lo que la teoría estándar explica es la demanda de la firma por un *stock* de capital, pero, tanto la velocidad de transición desde un *stock* de capital a otro, como el proceso dinámico de aumentar o reducir la cantidad de capital, es una cuestión de naturaleza completamente distinta.

La moderna teoría de control permite formalizar el problema de la firma e ilustrar la incapacidad del enfoque estático convencional para generar una

**Estudios de Economía*, publicación del Departamento de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Chile, vol. 17, n° 2, diciembre de 1990.

teoría de la inversión. Takayama (1985) demuestra la naturaleza "todo o nada" (*bang-bang nature*) de la solución para una firma individual maximizadora de beneficios, la optimalidad de su ajuste instantáneo, así como la inexistencia de su curva de demanda de inversión en el contexto de la teoría marhsalliana convencional de la firma.

Esta incapacidad de la teoría convencional llevó a Arrow (1968) a postular su hipótesis de "irreversibilidad de la inversión" para obtener una senda óptima de ella, la que, sin embargo, tiene poca validez por la arbitrariedad de las restricciones que impone a la inversión. Jorgenson (1967) también obtiene una senda temporal de inversión introduciendo cambios en los precios, pero Tobin (1967) demuestra que si los precios no cambian o si la firma espera que no cambien, tal senda no existe.

Por otra parte, y dado que la teoría convencional de la firma no era capaz de ofrecer una teoría de la inversión consistente, fue necesario adoptar mecanismos *ad hoc* para utilizarlos en los contextos econométricos en que el ajuste parcial de los *stocks* de factores cuasifijos era obviamente operativo. Estos mecanismos auxiliares corresponden a los procesos de ajuste diseñados por Goodwin (1951), Chenery (1952) y Koyck (1954) para borrar gradualmente el desequilibrio entre los *stocks* existente y deseado de capital, de acuerdo a un rezago distribuido, en vez de instantáneamente como era el rígido resultado de la teoría convencional del capital. Solow (1960), Jorgenson (1966), de Leeuw (1962) y Almon (1965) generalizaron las aplicaciones de este enfoque econométrico de la inversión. Tal enfoque fue insatisfactorio no solo por su naturaleza *ad hoc*, sino también por la inconsistencia de aislar la determinación del *stock* deseado de capital de la senda temporal de la inversión, cuando esta senda es en sí misma una decisión que afecta la maximización de beneficios y debe, por tanto, estar en la función a maximizar, o ser incorporada como una restricción en la maximización.

El nexo fundamental, entre la elección del *stock* de capital deseado por la firma y su elección de una senda óptima de inversión, es el hecho de que el costo unitario de una adición al *stock* de capital es mayor mientras más rápida ocurre la adición. Usando este principio básico, Eisner y Strotz (1963) generaron una teoría dinámica de la inversión consistente con el paradigma de la teoría neoclásica de la firma. Dado que los costos de ajuste son determinados por la velocidad de ajuste elegida, una firma que intenta maximizar su valor presente naturalmente refrenará su ajuste hacia un nuevo *stock* deseado de capital.

Lucas (1967a, 1967b), Gould (1968), Treadway (1969, 1970, 1971, 1974) y Mortersen (1973), generalizaron, especializaron y utilizaron distintas especificaciones para formalizar la moderna teoría de la inversión, basada en los costos de ajuste de Eisner y Strotz.

Mussa (1977) integra la teoría de inversión de costos de ajuste, con la teoría de inversión de la "función de oferta" desarrollada por Clower (1954), Witte (1963), Foley y Sidrauski (1970, 1971) y Purvis (1973). En esta teoría de inversión de la "función de oferta", el precio de una unidad de capital es determinado por la demanda por *stock* de capital junto con el *stock* existente de capital. Este precio, reflejado en la función de oferta de los productores de bienes de capital, determina la tasa de inversión.¹

Figuroa (1989a, 1989b) desarrolla un modelo dinámico de inversión relacionado con el enfoque de Mussa, para la determinación de la senda óptima de inversión y el precio de un factor cuasifijo de producción. El precio del factor que se determina en el modelo corresponde a su precio de activo, a diferencia de su precio de servicio (*rental price*) originalmente derivado por Jorgenson (1967, 1963) que suscita tanta controversia cada vez que se estima empíricamente. Las propiedades dinámicas del modelo teórico son cuidadosamente desarrolladas en Figuroa (1989.a). El modelo se aplica al caso de la inversión en maquinaria y equipos por el sector agrícola y supone que las expectativas son formadas racionalmente, y permite la determinación endógena del precio del (activo) capital.²

Los modelos previos de inversión agrícola siempre consideraron los precios de los factores cuasifijos determinados exógenamente, y/o asumieron un mecanismo estático o ingenuo de formación de expectativas. Son los casos de Chambers y Vasavada (1983), Cromarty (1960, 1959), Griliches (1960), Rayner y Cowling (1968) y Vasavada (1984), entre otros.

Aquí se presenta una aplicación del modelo teórico de Figuroa (1989a) a la agricultura de los Estados Unidos. El estudio abarca el período 1948-1983, y muestra la determinación empírica del precio (del activo) y del *stock* de la maquinaria y equipo en el sector agrícola norteamericano. Otra novedad del trabajo es el estudio de los determinantes de la oferta de la industria productora de maquinaria y equipo agrícola en los Estados Unidos.

En la próxima sección se presenta el modelo teórico básico. En la sección siguiente, se muestra el modelo empírico. Después se discuten la estimación econométrica y los resultados obtenidos. En la última sección se entregan las conclusiones.

¹ Véase, Figuroa (1989.a), p.66.

² En lo que sigue se usan indistintamente los términos maquinaria agrícola, maquinaria y equipo agrícola y capital

2. EL MODELO TEÓRICO

El modelo asume que el sector agrícola produce un único producto por medio de una tecnología que utiliza insumos variables, capital (maquinaria y equipo), y los *stocks* existentes de tierra agrícola, construcciones y ganado. Se asume también que la firma agrícola maximiza el valor del conjunto de sus factores productivos. A nivel agregado se asume que el sector agrícola maximiza el valor presente del flujo esperado de utilidades generado por el conjunto de sus recursos productivos. Dados los *stocks* existentes de tierra, construcciones y ganado, el sector elige el *stock* óptimo de capital y la senda óptima de inversión para maximizar el valor del conjunto de estos factores productivos (como los elegiría un planificador central). Esto determina un modelo dinámico de optimización del sector agrícola.

La condición de equilibrio de demanda de maquinaria y equipo del sector agrícola es una condición de arbitraje que determina el precio sombra de la unidad marginal de capital (maquinaria y equipo) en presencia de expectativas racionales. Este precio sombra es el valor asignado por el sector agrícola a la unidad marginal de su *stock* de capital, considerando no sólo el valor presente del flujo de productos generado por esta unidad marginal dentro del horizonte de tiempo relevante, sino que considerando también las ganancias de capital resultantes del cambio esperado en su precio de mercado.

La industria productora de maquinaria y equipo agrícola provee al sector agrícola de bienes de capital de inversión de acuerdo al precio de mercado, el que a su vez depende del precio sombra (de demanda). Esta industria exhibe una curva de oferta de corto plazo con pendiente positiva. Dado el precio sombra del capital, la curva de oferta de la industria productora de maquinaria y equipo agrícola determina la tasa de inversión bruta del sector. Esta tasa de inversión bruta determinará por su parte la tasa de inversión neta del sector agrícola, dada la tasa de depreciación de su *stock* existente de maquinaria y equipo. Por simplicidad, se asume que los costos de transferencia de maquinaria y equipo existentes en la agricultura son infinitos.³

La formación racional de las expectativas por los agentes económicos implica que los valores de las variables en el futuro, según se espera en el

³ Este es un supuesto simplificador necesario para aislar la maquinaria y equipo agrícolas en el sector agrícola, permitiendo no considerar movimientos intersectoriales de maquinaria y equipo. Aun cuando este supuesto no es "realista", no introduce ninguna distorsión seria dado que el movimiento intersectorial de maquinaria y equipo parece ser poco significativo. Relajar este supuesto implicaría la necesidad de contar con información sobre movimientos intersectoriales de maquinaria y equipo, que no existe.

momento presente, corresponden a sus expectativas matemáticas condicionadas, resultantes de la estructura del modelo y la información existente en el momento presente sobre el valor actual y pasado de las variables endógenas y exógenas del sistema.

En este modelo dinámico y simultáneo, los *stocks* existentes de capital (maquinaria y equipo), de tierra agrícola, de ganado y de construcciones, junto con los factores variables, la tecnología y las expectativas, determinan en cada momento el tiempo la producción de bienes de inversión de capital (inversión bruta), el cambio en el *stock* de capital (inversión neta), así como el precio de mercado del capital (maquinaria y equipo).

Cambios en el *stock* de capital alteran el precio sombra del capital para el sector agrícola, lo que implica cambios en la inversión bruta y las expectativas. Las propiedades analíticas y dinámicas del modelo implican que existe una senda dinámica estable, que conduce al sistema a su estado de equilibrio estable (*steady state*).⁴ En el equilibrio estable, las expectativas existentes en el sector agrícola y sus *stocks* existentes de maquinaria y equipo (capital), tierra y ganado, y construcciones son consistentes con el precio sombra del capital prevaleciente para el sector. Este precio sombra determina una tasa de inversión bruta igual a la tasa de depreciación del *stock* existente de capital, con lo que no se inducen cambios en el *stock* existente de capital.

El modelo permite la determinación endógena del precio del capital (maquinaria y equipo agrícola). También permite estudiar la importancia relativa de *shocks* de oferta y demanda en la determinación de la tasa de inversión en maquinaria y equipo del sector agrícola.⁵

Por simplicidad, el modelo es primero presentado dentro de un contexto de tiempo continuo. Como se señaló, el proceso productivo del sector agrícola se caracteriza por un único producto $-Q-$, producido mediante la utilización de n insumos variables $-W_t^1, W_t^2, \dots, W_t^n-$. Estos insumos variables son utilizados en combinación con *stocks* determinados exógenamente de tierra agrícola y ganado $-L_t-$ y construcciones $-S_t-$, y un *stock* de maquinaria y equipo agrícola $-K_t-$ que es determinado en el modelo. Otro factor del proceso de producción agrícola es el progreso tecnológico, t^α . La representación dual de esta tecnología corresponde a la siguiente función normalizada restringida de beneficios (Lau, 1976):

⁴ Las propiedades dinámicas del sistema se discuten en Figueroa (1989a).

⁵ Véase, Figueroa (1989a).

$$\Pi(\omega_t, K_t, L_t, S_t, t^\alpha; \Phi) = \{ \max_{Q_t, V_t} (\omega_t W_t) : W_t \in T \} \quad (1)$$

donde las variables de cantidad son representadas por letras mayúsculas y las variables de precios por letras minúsculas

$W_t = (Q_t, V_t)$ es el vector *netput* de dimensión $n+1$ cuyo primer elemento corresponde a la cantidad no negativa de producto agrícola en el tiempo t , Q_t ; y sus siguientes n elementos corresponden a n cantidades no positivas de insumos variables en el tiempo t , $v_t = \omega_t^1, \omega_t^2, \dots, \omega_t^n$.

$\omega_t = (q_t, v_t)$ es el vector de precios correspondiente a W_t . Su primer elemento $-q_t$ corresponde al precio del producto agrícola en el tiempo t ; y sus siguientes n elementos corresponden a los precios de los n insumos variables en el tiempo t , $V_t = W_t^1, \dots, W_t^n$.

Q_t es el producto agregado agrícola en el tiempo t .

α_t es el precio del producto agrícola en el tiempo t .

V_t es el vector no positivo n -dimensional de insumos variables en el tiempo t .

v_t es el vector n -dimensional de los precios de los insumos variables correspondientes a V_t .

K_t es el *stock* de maquinaria y equipo agrícola en el tiempo t .

L_t es el *stock* de tierra agrícola y ganado en el tiempo t .

S_t es el *stock* de construcciones en el tiempo t .

t^α es el progreso tecnológico en la agricultura.

Φ es un vector de parámetros.

T es el set de posibilidades de producción con las propiedades usuales (cerrado, limitado, continuo y estrictamente convexo).

Se asumen las siguientes formas funcionales:

a) para la función normalizada restringida de beneficios en (1), que representa la tecnología del sector agrícola:

$$\begin{aligned}
\Pi(\omega_t, K_t, L_t, S_t, t^\alpha; \Phi) = & A_0 + A_K K_t + A_L L_t + A_S S_t + \sum_i \alpha_i \omega_t^i + \\
& + \beta_\alpha t^\alpha + \frac{1}{2} A_{KK} K_t^2 + \frac{1}{2} A_{LL} L_t^2 + \frac{1}{2} A_{SS} S_t^2 + \\
& + \frac{1}{2} \sum_i \alpha_{ii} (\omega_t^i)^2 + \frac{1}{2} \beta_{\alpha\alpha} (t^\alpha)^2 + A_{KL} K_t L_t + \\
& + A_{KS} K_t S_t + \sum_i D_{Ki} K_t \omega_t^i + \beta_{K\alpha} K_t t^\alpha + A_{LS} L_t S_t + \\
& + \sum_i D_{Li} L_t \omega_t^i + \beta_{L\alpha} L_t t^\alpha + \sum_i D_{Si} S_t \omega_t^i + \beta_{S\alpha} S_t t^\alpha + \\
& + \frac{1}{2} \sum_{i,j > i} \alpha_{ij} \omega_t^i \omega_t^j + \sum_i \beta_{i\alpha} \omega_t^i t^\alpha
\end{aligned} \tag{2}$$

donde $i = 0, j; j = 1, 2, \dots, n$; 0 es el subcripto para el precio del producto agrícola, y $1, 2, \dots, n$ son los subcriptos para los precios de los insumos variables.

$$\begin{aligned}
A_{KK}, A_{LL}, A_{SS} < 0 & \quad ; \quad \alpha_{ii}, A_{KL}, A_{KS}, A_{LS} > 0 \\
D_{K0}, D_{L0}, D_{S0} \geq 0 & \quad ; \quad D_{Ki}, D_{Li}, D_{Si} \leq 0 \quad \forall i \neq 0
\end{aligned}$$

Las funciones *precio sombra* para la maquinaria y equipo agrícola, tierra y ganado, y construcciones son (Lau, 1976, 1978; Diewert, 1974, 1982):

$$\text{VMPK} = \Pi_K(\cdot) = A_K + A_{KK} K_t + A_{KL} L_t + A_{KS} S_t + \sum_{i=0,1,\dots,n} D_{Ki} \omega_t^i + \beta_{K\alpha} t^\alpha \tag{3}$$

$$\text{VMPL} = \Pi_L(\cdot) = A_L + A_{LL} L_t + A_{KL} K_t + A_{LS} S_t + \sum_{i=0,1,\dots,n} D_{Li} \omega_t^i + \beta_{L\alpha} t^\alpha \tag{4}$$

$$\text{VMPS} = \Pi_S(\cdot) = A_S + A_{SS} S_t + A_{KS} K_t + A_{LS} L_t + \sum_{i=0,1,\dots,n} D_{Si} \omega_t^i + \beta_{S\alpha} t^\alpha \tag{5}$$

Los criterios para seleccionar la forma funcional cuadrática de (2) fueron básicamente tres: 1) permite suficiente flexibilidad para la tecnología subyacente, 2) provee funciones derivadas lineales, lo que facilita la tratabilidad y estimación del modelo y 3) es una forma funcional parsimoniosa que puese ser estimada con la información disponible.

b) para la función de oferta de la industria productora de bienes de inversión agrícola (maquinaria y equipo):

$$F(\cdot) = B_0 + B_1 k_t + B_2 \omega_t^m + B_3 i_t + B_4 g_t + \beta_m t^m \quad (6)$$

$$B_0, \beta_m \geq 0 ; B_1 > 0 ; B_2, B_3, B_4 < 0$$

donde w_t^m es la tasa de salario en la industria productora de maquinaria y equipo agrícola en el tiempo t .

i_t es el precio del hierro y acero en el tiempo t .

g_t es el precio para los insumos energéticos de uso industrial en el tiempo t .

t^m es el progreso tecnológico en la industria de maquinaria agrícola en el momento t .

La especificación de (6) está basada en los siguientes criterios: 1) incorpora aquellos determinantes considerados los más relevantes para la industria y, 2) su linealidad facilita la tratabilidad y estimación.

La cantidad de maquinaria y equipo agrícola ofertada al mercado doméstico es igual a la cantidad ofrecida por la industria productora de maquinaria agrícola, $F(\cdot)$ en (6), menos las exportaciones netas de maquinaria agrícola, que corresponden a las exportaciones de maquinaria de EE.UU. al resto del mundo (RDM) menos las importaciones de maquinaria a EE.UU. desde el RDM. Por simplicidad, se asume que las exportaciones netas son una función del precio internacional de la maquinaria agrícola y del nivel de la producción agrícola total en el RDM. El precio que el RDM debe pagar por la maquinaria agrícola es igual al precio doméstico en EE.UU., k_t , por un tipo de cambio ponderado por el comercio en maquinaria agrícola, e_t .

Por lo tanto, la oferta de bienes de inversión de maquinaria agrícola al mercado doméstico en el tiempo t es,

$$I_t^S = F(\cdot) - E_1 (e_t k_t) - E_2 \bar{A}_t \quad (7)$$

donde e_t es un tipo de cambio ponderado por el comercio de maquinaria agrícola (moneda extranjera por US\$) en el tiempo t .

k_t es precio doméstico en EE.UU. de la maquinaria agrícola en el tiempo t .

\bar{A}_t es la producción agrícola total del RDM en el tiempo t .

Dada la naturaleza dinámica del modelo teórico, se postulan las siguientes condiciones de equilibrio de corto plazo:

$$(i) \quad \dot{k}_t^e = (r + \delta + \tau)k_t - \Pi_k(\cdot) \quad (8)$$

$$ii) \quad \dot{K}_t^e = F(\cdot) - \delta K_t - E_1(e_t k_t) - E_2 \tilde{A}_t$$

donde r es la tasa de interés.

δ es la tasa técnica de depreciación del *stock* de maquinaria y equipo agrícola.

τ es la tasa de impuesto efectivo sobre la maquinaria y equipo agrícola.

k_t es el precio (del activo) maquinaria y equipo agrícola en el tiempo t .

$F(\cdot)$ es la función de oferta de la industria productora de maquinaria y equipo en el tiempo t .

$(e_t k_t)$ es el precio internacional de la maquinaria agrícola en el tiempo t .

$$\dot{x} = \partial x / \partial t \quad \forall x, t = \text{tiempo}$$

x_t^e es el valor esperado de la variable x en el tiempo t , $\forall x$.

$$\Pi_x = \partial \Pi / \partial x \quad \forall x; \text{ ver (3) a (5).}$$

La expresión en (8) (i) es la condición de arbitraje que regula la demanda de capital agrícola (maquinaria y equipo). Ella implica que existe equilibrio en la demanda por bienes de capital del sector agrícola, cuando el valor del producto agrícola generado por la unidad marginal de maquinaria en el tiempo t es igual al costo de uso de esa unidad en el tiempo t —el que es igual a su costo financiero, rk , más su costo de depreciación, δk , más su costo impositivo, τk —, menos las ganancias de capital esperadas en el tiempo t , k_t^e . Esta regla indica que es óptimo usar capital (maquinaria y equipo agrícola) hasta el punto donde el valor del producto generado por la unidad marginal en el tiempo t — Π_k —, es igual al costo de uso de esa unidad marginal en el tiempo t — UC_t —. El costo de

uso en 8 (i) corresponde al análogo para tiempo continuo del precio de servicio (*rental price*) del capital para tiempo discreto originalmente derivado por Jorgenson (1967, 1963).

La condición 8 (ii) es una condición de equilibrio de oferta y demanda. Indica que la inversión bruta esperada del sector agrícola en maquinaria y equipo en el tiempo $t - \dot{K}_t^e + \delta K_t -$ tiene que ser igual a la oferta doméstica de bienes de inversión (maquinaria y equipo agrícola) en el momento $t - [F(\cdot) - E_1(e_t k_t) - E_2 \bar{A}_t]$. Esto es, en todo momento el lado de la demanda del mercado de maquinaria agrícola, representado por la inversión bruta esperada en maquinaria agrícola, la que, a su vez, está conformada por la inversión neta esperada $-\dot{K}_t^e -$, más la depreciación del *stock* de maquinaria agrícola $-\delta K_t -$, tiene que ser igual al lado de la oferta de mercado, representado por la producción doméstica de maquinaria agrícola $-F(\cdot) -$ menos las exportaciones netas de éstas $-[E_1(e_t k_t) + E_2 \bar{A}_t]$.⁶

Para cerrar el modelo se requiere de una regla para la formación de las expectativas. Se asume que éstas se forman racionalmente en el sentido de Muth (1961). Es atractivo asumir que los agentes económicos no cometen errores sistemáticos cuando forman sus expectativas. De otra manera, debería esperarse que tales errores sean descubiertos por éstos en algún momento, provocando el abandono de la regla con que forman sus expectativas. Por el momento, y con fines expositivos, se asume que existe perfecta predicción (*perfect foresight*).

Usando las ecuaciones (3) y (6), el equilibrio de corto plazo del modelo en (8) puede expresarse como el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden:

$$i) \quad \dot{k}_t = (r + \delta + \tau) k_t - A_K - A_{KK} K_t - A_{KL} L_t - A_{KS} S_t - \sum_i D_{Ki} \omega_t^i - \beta_{K\alpha} l^\alpha \quad (9)$$

$$ii) \quad \dot{K}_t = -\delta K_t + B_0 + B_1 k_t + B_2 \omega_t^m + B_3 i_t + B_4 g_t - E_1(e_t k_t) - E_2 \bar{A}_t + \beta_m l^m$$

Las soluciones generales de (9) son de la siguiente forma:

$$k_t = \frac{1}{(z - r - \delta - \tau)} (z k^* - \Pi_k(\cdot)) \quad (10)$$

⁶ El lado de la demanda de inversión en maquinaria y equipos agrícola se puede expresar análogamente al lado de la oferta en (7) como,

$$I_t^D = \dot{K}_t^e + \delta K_t$$

$$K_t = \frac{1}{(z + \delta)} (zK^* + F(\cdot) - E_1(e_t k_t) - E_2 \tilde{A}_t) \quad (11)$$

donde z es la raíz real negativa de la ecuación característica de (9)

k^* , K^* son las integrales particulares (Chiang, 1984, p. 613) o valores de equilibrio estable (*steady state*) de k_t y K_t .

Las ecuaciones (10) y (11) representan los valores de k_t y K_t que —dados los valores exógenamente determinados de L_t y S_t — permiten el equilibrio de corto plazo en el mercado de maquinaria y equipo agrícola. Ellas entregan respectivamente la única senda óptima "racionalmente esperada" para el precio de la maquinaria y equipo agrícola, y para el *stock* de maquinaria y equipo agrícola. Es decir (10) y (11) constituyen las siluetas que a lo largo del tiempo forman los valores de corto plazo de estas variables — k_t y K_t — y que llevan al sistema a su estado de equilibrio estable.

3. EL MODELO EMPÍRICO

Con el propósito de presentar el modelo a estimar, es necesario transformar el sistema (8) a una forma de tiempo discreto, lo que permite el empleo del tipo de datos disponibles. Se adopta la convención usual para modelos de tiempo discreto, que los *stocks* de cada período t corresponden a los *stocks* existentes al comienzo del período t . Así, el equilibrio de corto plazo en tiempo discreto del sistema (8) está dado por:

$$i) \quad k_{t+1}^e = (1 + r + \delta + \tau) k_t - \Pi_K(\cdot) \quad (8')$$

$$ii) \quad K_{t+1}^e = (1 - \delta) K_t + F(\cdot) - E_1(e_t k_t) - E_2 \tilde{A}_t$$

donde k_{t+1}^e es el precio (del activo) maquinaria y equipo agrícola en el período $t+1$ según se espera en el período t .

K_{t+1}^e es el *stock* de maquinaria y equipo agrícola en el período $t+1$ según se espera en el período t .

Las propiedades dinámicas del sistema (8') son básicamente las mismas del modelo de tiempo continuo, pero ahora la convergencia y estabilidad no sólo requieren *eigen values* negativos, sino también que sean menores que uno en valor absoluto (Chiang, 1984).

Para la implementación empírica de este modelo, se consideraron dos factores agrícolas fijos: 1) tierra agrícola y ganado y 2) construcciones (construcciones y edificaciones). Los factores variables considerados en la estimación econométrica, que hasta aquí se habían incluido dentro del vector W_t^1 de dimensión n , son los siguientes: 1) trabajo agrícola $-W_t^1-$, 2) insumos químicos agrícolas $-W_t^2-$, 3) insumos agrícolas energéticos $-W_t^3-$, y 4) insumos misceláneos (semillas, alimentos para el ganado y otros) $-W_t^4-$. Es decir, en el modelo empírico $n = 4$. Los precios de los factores variables son representados por las letras minúsculas correspondientes.

Si se incorporan los factores fijos y variables realmente considerados en la estimación empírica, y se usan las ecuaciones (3) a (5) adecuadamente interpretadas en un contexto de tiempo discreto, las condiciones de equilibrio en (8') pueden expresarse como el siguiente sistema de ecuaciones en diferencia de primer orden, que constituyen, además, el modelo a estimar:

$$(i) \quad k_{t+1}^e = b_k k_t - A_{KK} K_t - A_K - A_{KL} L_t - A_{KS} S_t - D_{K0} q_t - D_{K1} \omega_t^1 - D_{K2} \omega_t^2 - D_{K3} \omega_t^3 - D_{K4} \omega_t^4 - \beta_{Kt}^{tu}$$

$$(ii) \quad K_{t+1}^e = b_K K_t + B_0 + B_1 k_t + B_2 \omega_t^m + B_3 i_t + B_4 g_t - E_1 \tilde{e}_t - E_2 \tilde{A}_t + \beta_m t^m \quad (12)$$

donde todos los símbolos tienen el mismo significado que en (1), (2), (6) y (12) y, como antes, las mayúsculas se refieren a variables de cantidad y las minúsculas a variables de precios.

k_{t+1}^e es el precio de la maquinaria agrícola en el período $t+1$ según se espera en el período t .

$$b_k = (1 + r + \delta + \tau)$$

K_{t+1}^e es el *stock* de maquinaria agrícola en el período $t+1$ según se espera en el período t .

$$b_K = (1 - \delta)$$

q_t es el precio del producto agrícola en el período t .

ω_t^1 es la tasa de salario agrícola en el período t .

ω_t^2 es el precio de los insumos agrícola químicos en el período t .

ω_t^3 es el precio de los insumos agrícolas energéticos en el período t.

ω_t^4 es el precio de los insumos agrícolas misceláneos en el período t.

$$\tilde{e}_t = e_{t k_t}$$

4. ESTIMACIÓN

El modelo de tiempo discreto para la determinación de la inversión agrícola y del precio (de activo) de la maquinaria y equipo agrícola presentado anteriormente se estimó empíricamente usando datos de EE.UU. para el período 1948-1983.

En la manera usual, el procedimiento econométrico trata el modelo en (12) como un sistema estocástico de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad k_t &= \alpha_1 k_{t+1}^c + \tilde{A}_K + \tilde{A}_{KK} K_t + \tilde{A}_{KL} L_t + \tilde{A}_{KS} S_t + \tilde{D}_{K0} q_t + \tilde{D}_{K1} \omega_t^1 \\
 &+ \tilde{D}_{K2} \omega_t^2 + \tilde{D}_{K3} \omega_t^3 + \tilde{D}_{K4} \omega_t^4 + \tilde{\beta}_{K\alpha} t^\alpha + u_t^1 \\
 (2) \quad K_t &= \alpha_2 K_{t+1}^c - \tilde{B}_0 - \tilde{B}_1 k_t - \tilde{B}_2 \omega_t^m - \tilde{B}_3 i_t - \tilde{B}_4 g_t + \\
 &+ \tilde{E}_1 \tilde{e}_t + \tilde{E}_2 \tilde{A}_t - \tilde{\beta}_m t^m + u_t^2
 \end{aligned} \tag{13}$$

donde:

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= (b_k)^{-1} & ; & \quad \alpha_2 = (b_k)^{-1} \\
 \tilde{A}_k &= A_K / b_k & ; & \quad \tilde{B}_j = B_j / b_k \\
 & & & \quad j = 0, 1, \dots, 4 \\
 \tilde{A}_{KK} &= A_{KK} / b_k & ; & \quad \tilde{\beta}_m = \beta_m / b_k \\
 \tilde{A}_{KS} &= A_{KS} / b_k & ; & \quad \tilde{E}_1 = E_1 / b_k \\
 \tilde{D}_{Ki} &= D_{Ki} / b_k \quad i = 0, 1, \dots, 4 & ; & \quad \tilde{E}_2 = E_2 / b_k \\
 \tilde{\beta}_{K\alpha} &= \beta_{K\alpha} / b_k \\
 \tilde{e}_t &= (e_{t k_t})
 \end{aligned}$$

\tilde{A}_t = producción agrícola en el RDM.

u_t^1 y u_t^2 son errores aleatorios, iid con medias cero y matrices VC Σ_1 y Σ_2 , respectivamente.

Las dos ecuaciones estocásticas en (13) conforman el sistema econométrico estructural. Estas dos ecuaciones pueden reescribirse de la siguiente manera:

$$(1) \quad -b_k k_t + A_{KK} K_t + k_{t+1}^e = -A_K - A_{KL} L_t - A_{KS} S_t - D_{K0} q_t - D_{K1} \omega_t^1 - D_{K2} \omega_t^2 - D_{K4} \omega_t^4 - \beta_{Kt} t^\alpha + \nu_t^1 \quad (14)$$

$$(2) \quad -B_1 k_t - b_K K_t + K_{t+1}^e = B_0 + B_2 \omega_t^m + B_3 i_t + B_4 g_t - E_1 \tilde{c}_t - E_2 \tilde{A}_t + \beta_t t^m + \nu_t^2$$

donde $\nu_t^1 = -(b_k u_t^1)$; $\nu_t^2 = -(b_K u_t^2)$

$E \nu_t^1, E \nu_t^2 = 0$ dado que $E u_t^1, E u_t^2 = 0$; las matrices VC de ν_t^1 y ν_t^2 son $(b_k)^2 \Sigma_1, (b_K)^2 \Sigma_2$, respectivamente.

En notación matricial (14) es,

$$B Y_t + I_2 Y_{t+1}^e - \Gamma X_t = \nu_t \quad (15)$$

El sistema (15) no puede ser estimado sin explicitar econométricamente la regla de formación de expectativas que determina Y_{t+1}^e . Como se explicó con anterioridad, se asume que las expectativas se forman de acuerdo a la hipótesis de Muth (1961). Según lo hacen McCallum (1976.a, b) y Wallis (1980), la hipótesis de expectativas racionales puede especificarse como:⁷

$$Y_{t+1}^e = Y_{t+1} - \eta_{t+1} \quad (16)$$

donde η_{t+1} es un vector aleatorio de errores de predicción con las propiedades clásicas y no está correlacionado con la información disponible en el período $t - \Psi_t$.

$$E[\eta_{t+1} | \Psi_t] = 0 ; \quad E[\eta_t \eta_t'] = \Sigma_\eta, \quad E[\eta_t \eta_s'] = 0 \quad \forall t \neq s$$

⁷ Para una discusión del llamado enfoque de error -en-las-variables de MacCallum, véase Figueroa (1990, 1989.b), Kelejian (1986) y MacCallum (1976 a y b).

esto se debe a que una esperanza condicionada no puede estar correlacionada con el error realizado, esto es, $E[E(Y | X) \cdot \{Y - E(Y | X)\}] = 0$ (Nelson, 1975). Es decir, la hipótesis de expectativas racionales implica que cualquier información disponible en el período t es incorporada por los agentes económicos en este período para formar sus expectativas del valor que tendrán las variables en el período $t+1$. Por lo tanto, no puede haber una relación sistemática entre los términos de error estructurales del modelo, u_t , y el término futuro de error de predicción, η_{t+1} ; es decir, μ_t y η_{t+1} son independientes.⁸

Para tratar las variables expectativas del modelo en (15), que son por su esencia no-observables, se emplea entonces el llamado enfoque de error-en-las-variables de McCallum, para lo cual se reemplaza (16) en (15), obteniendo el siguiente sistema que contiene solamente variables observables:

$$Y_{t+1} = -B Y_t + \Gamma X_t + \mu_{t+1} \quad (17)$$

donde $\mu_{t+1} = (\nu_t + \eta_{t+1})$; $E \mu_{t+1} = 0$

$$E \mu_{t+1} \mu'_{t+1} = \Sigma_u + \Sigma_\eta \quad (\text{dado que } u_t \text{ y } \eta_{t+1} \text{ no están correlacionados})$$

$$E \mu_{t+1} \mu_s \begin{cases} = 0 \text{ para } t+1, s \text{ un período aparte} \\ = 0 \text{ para } t+1, s \text{ más de un período aparte} \end{cases}$$

El sistema en (17) corresponde al sistema estimado. Puede parecer a simple vista que sus dos ecuaciones podrían ser estimadas por mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Sin embargo, MCO son inapropiados debido a que los regresores k_t y K_t en la matriz Y_t son de la forma mostrada en las ecuaciones estructurales de (13), contienen los términos de error u_t^1 y u_t^2 respectivamente, y los términos de error de (17) son de la forma siguiente:

$$\mu_{t+1} = \begin{bmatrix} \mu_{t+1}^1 \\ \mu_{t+1}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -b_k & 0 \\ 0 & -b_K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_t^1 \\ u_t^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_{t+1}^1 \\ \eta_{t+1}^2 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Por lo tanto, la correlación contemporánea entre los regresores k_t y K_t y los errores μ_{t+1}^1 y μ_{t+1}^2 por medio de sus componentes u_t^1 y u_t^2 , hace inapropiados los MCO para estimar (17). Esto se debe al hecho bien establecido de que la presencia de correlación contemporánea entre un regresor y un término de error en una ecuación de estimación, hacen los

⁸ Obviamente, aquí se ha abandonado el supuesto de perfecta predicción hecho anteriormente con fines expositivos.

estimadores de MCO no sólo sesgados sino también inconsistentes (Judge et al., 1985, p. 570). Generalmente, los procedimientos usuales de variables instrumentales, como mínimos cuadrados en dos etapas, por ejemplo, son apropiados para tratar este problema. Sin embargo, el uso del enfoque de McCallum introduce además autocorrelación de los errores en el sistema estimado (17), que provoca que las técnicas estándar de variables instrumentales sean inapropiadas en este caso.⁹ Esto es importante para la estimación del modelo empírico (17), dado que el término de error μ_{t+1} (ver (18)) es autocorrelacionado un período aparte. Para exponerlo claramente, es conveniente analizar el término de error de la primera ecuación de (17), μ_{t+1}^1 , para una serie de tres períodos de tiempo consecutivos:

$$\begin{aligned}\mu_1^1 &= -b_k u_0^1 + \eta_1^1 \\ \mu_2^1 &= -b_k u_1^1 + \eta_2^1 \\ \mu_3^1 &= -b_k u_2^1 + \eta_3^1\end{aligned}\tag{19}$$

Para los dos primeros períodos de tiempo considerados en (19) -0 y $1-$ los errores de la primera ecuación del sistema (17) en estos dos períodos, μ_1^1 y μ_2^1 , están serialmente correlacionados a través de su componente de error de predicción en la formación de expectativas $-\eta_1^1$ y su componente de error estructural $-\mu_1^1$. Como Cumby, Huizinga y Obstfeld (CHO) (1983) lo explican, aun cuando $E(u_t | y_t) = 0$, no hay manera de descartar la correlación entre el error de predicción en la formación de expectativas η_t que se revela en el período t y el error estructural propio de ese mismo período t . Sin embargo, es importante notar que el término de error del sistema a estimar, μ_{t+1} , no está serialmente correlacionado más de un período aparte, como en el caso de μ_1^1 y μ_3^1 en (19).¹⁰

Las dificultades para estimar el sistema en (17) pueden resumirse entonces en dos principales y diferentes problemas: a) el sistema no puede estimarse por MCO porque los regresores k_t y K_t están contemporáneamente correlacionados con los términos de error u_{t+1}^1 y u_{t+1}^2 ; b) el sistema tampoco puede estimarse utilizando los procedimientos estándares de variables instrumentales, dado que sus errores están serialmente correlacionados un período aparte.

⁹ Para una discusión de los problemas de estimación de modelos que utilizan el enfoque de McCallum, véase, Figueroa (1990).

¹⁰ Para una prueba rigurosa de la autocorrelación serial que en general aparece en modelos con expectativas racionales que utilizan el enfoque de error-en-las-variables de McCallum, véase Kelejian (Adendum: Note on Autocorrelation in Rational Expectations Models Via McCallum, p. 1-6). Cumby, Huizinga y Obstfeld (1983) discuten distintos modelos con expectativas racionales que presentan autocorrelación serial de los errores (p. 335-336).

La técnica de mínimos cuadrados en dos estados y en dos etapas (MC2E2E) –*two-step two-stage least squares (2S2SLS)*– propuesta por CHO (1983) permite obtener estimadores consistentes en modelos de ecuaciones múltiples con expectativas racionales que utilizan el enfoque de McCallum. Por lo tanto, MC2E2E fueron la técnica econométrica de elección para estimar el sistema en (17). Cumby y Huizinga (1984) han desarrollado además el paquete computacional para implementar MC2E2E, que ellos proporcionaron generosamente y que permitió correr las necesarias regresiones.¹¹

Dado que para cualquier *set* de variables es siempre difícil encontrar instrumentos exógenos apropiados, es muy útil que MC2E2E permite el empleo de instrumentos predeterminados pero no estrictamente exógenos. Por las características del término de error del sistema a estimar (17) y del *set* de información ψ_t , los instrumentos seleccionados para las variables endógenas –precio y *stock* de maquinaria agrícola– corresponden a las mismas variables rezagadas dos períodos (μ_{t+1} está correlacionado sólo un período aparte). Para las variables exógenas los instrumentos escogidos fueron las mismas variables (las variables exógenas en (17) son elementos del *set* (ψ_t)). Únicamente para las variables exógenas que determinan las exportaciones netas de maquinaria agrícola, es decir, el precio internacional de maquinaria – e_t – y la producción agrícola total del RDM – A_t –, se utilizó un instrumento estrictamente exógeno: las exportaciones netas de maquinaria agrícola de Estados Unidos.

Las propiedades de homogeneidad de las funciones de beneficios en (1) y de oferta de la industria productora de maquinaria y equipo en (6) permitieron normalizar todos los precios del sistema a estimar (17) por la tasa de salario agrícola (ω_t^1), elegida arbitrariamente como normalizador. Por lo tanto, la estimación por MC2E2E de (17) se realizó con todos los precios normalizados por ω_t^1 , y sin ω_t^1 en el lado derecho de la primera ecuación del sistema.

La información empleada en la estimación empírica consistió en datos anuales para el período 1948-1983. Las fuentes para las series utilizadas fueron: *U.S. Department of Commerce, Bureau of Labor and Statistics of the U.S. Department of Labor, Resources for the Future, U.S., Department of Agriculture, The 1986 Economic Report of The President* y el IFS del Fondo Monetario Internacional.

¹¹ Para una discusión de los MC2E2E, véase, Figueroa (1990, 1989, 1989.b).

5. RESULTADOS

En la tabla se presenta los coeficientes estimados y sus correspondientes test t para las dos ecuaciones del sistema (17). En la ecuación de precio, el signo del coeficiente del *stock* de maquinaria es negativo como se esperaba (corresponde a $\partial^2 II(\cdot)/\partial K^2$), pero no es significativo al nivel de confianza del 90 por ciento. Por su parte, el coeficiente para el precio de la maquinaria en el año t corresponde a $b_k = (1+r+\delta+\gamma)$, y su valor estimado fue 1,21. En la segunda ecuación, se obtiene una estimación de 0,9 para la tasa de depreciación de la maquinaria agrícola. Si se considera que el Departamento de Agricultura de

TABLA
RESULTADOS DE LA ESTIMACION POR MC2E2E

Variable	Coeficiente	Valor	Test-T ^a
Ecuación de precio			
Constante	A_K	0.80	0.57
Stock maquinaria agrícola	A_{KK}	-0.40	1.18
Precio maquinaria agrícola	$(1+r+\delta+\gamma)$	1.21	0.78*
Stock de tierra y ganado	A_{KL}	-0.92	0.94
Stock de construcciones	A_{KS}	0.73	1.14
Precio producto agrícola	D_{KO}	0.001	0.02
Precio insumos químicos agrícolas	D_{K2}	0.08	1.02
Precio insumos energéticos agrícolas	D_{K3}	-0.004	0.55
Precio insumos misceláneos agrícola	D_{K4}	0.45	3.44
Variable de tendencia	β_{Ka}	-0.02	1.31
Ecuación de stock			
Constante	B_0	0.58	4.22
Precio maquinaria agrícola	B_1	0.38	3.62
Stock maquinaria agrícola	$(1-\delta)$	0.91	0.90*
Salario industria manufacturera	B_2	-0.39	3.67
Precio hierro y acero	B_3	-0.02	0.35
Precio insumos energéticos	B_4	-0.08	2.40
Precio externo maquinaria agrícola	E_1	0.19	3.54
Producción agrícola en el RDM	E_2	0.72	2.35
Variable de tendencia	β_m	0.02	3.23

^a H_0 : Valor parámetro = 0.

^b H_0 : Valor parámetro = 1.

los Estados Unidos reporta una tasa promedio de interés para los créditos de producción agrícola de 0,1 para el período 1970-1984 (USDA, 1986), entonces la tasa de impuestos sobre la maquinaria agrícola $-\bar{\gamma}$ sería alrededor de 2 por ciento. Esta es una información valiosa dado que prácticamente no existen datos sobre tasas impositivas a los activos agrícolas, y solamente se reportan datos generales sobre tasas de impuestos a los bienes raíces agrícolas. Sin embargo, esta estimación no es significativa al 90 por ciento.

El coeficiente para el *stock* de construcciones agrícolas tiene el signo positivo correcto (corresponde a $\partial^2 \Pi(\cdot) / \partial K \partial S$), no siendo significativo al 90 por ciento.

Se espera en general que el precio del producto agrícola sea una variable clave en cualquier modelo de comportamiento del sector, y generalmente se manifiesta así en los trabajos empíricos. Por esto, es sorprendente que el valor estimado aquí para el coeficiente del precio del producto agrícola, aun cuando tiene el signo positivo correcto, está lejos de ser significativo.

El coeficiente para el precio de los insumos químicos agrícolas es positivo y no significativo al 90 por ciento. Esto indica que la utilización de insumos químicos tiende a aumentar con el *stock* de maquinaria y equipo agrícola en el sector. El coeficiente del precio de los insumos energéticos agrícolas es negativo y no significativo.

El coeficiente de la variable de tiempo es negativo y significativo al 90 por ciento. Esto indicaría que el cambio tecnológico ha sido ahorrador de maquinaria en la agricultura norteamericana, un resultado que difiere de otros anteriores (véase Binswanger et. al., 1978, p. 220-225 y Capalbo, 1986, p. 45).¹²

El coeficiente del precio de los insumos agrícolas misceláneos es positivo y también significativo al 90 por ciento. Sin embargo, su valor de 0,45 parece muy alto, resultando en una elasticidad del precio de la maquinaria agrícola con respecto del precio de los insumos misceláneos cinco veces mayor que con respecto al precio de otras dos categorías de insumos variables, químicos y energéticos, que son más importantes para el sector agrícola que los insumos

¹² Una posible explicación de estas diferencias podría ser que este estudio incorpora datos de años más recientes, y se puede pensar que al final de los años setenta y durante los ochenta el cambio tecnológico en la agricultura ha estado mucho más relacionado a factores biológicos y químicos (biotecnología, ingeniería genética, agroquímicos, etc.) que a factores mecánicos (maquinaria), como fue el caso durante el período de 1940-1970.

misceláneos. Esto podría estar explicado por un componente menor de maquinaria arrendada que está incluido en los insumos misceláneos.¹³

Sólo un estimador tiene signo distinto del esperado en la ecuación de precio, pero es claramente insignificante. Corresponde al coeficiente estimado del *stock* de tierra y ganado, cuyo signo se espera que sea positivo (corresponde a $\partial^2 \Pi(\cdot) / \partial K \partial L$).

En la segunda ecuación estimada, que corresponde a la ecuación de *stock*, B_0 , tiene el signo esperado para el intercepto de la función de oferta de la industria productora de maquinaria agrícola, y es significativo al 90 por ciento. Asimismo, el coeficiente para el precio de la maquinaria agrícola tiene el signo positivo esperado (corresponde a la pendiente de la función de oferta de la industria productora de maquinaria y equipo agrícolas), y también es significativo al 90 por ciento.

El coeficiente estimado para el *stock* de maquinaria agrícola es 0,91 que implica una tasa estimada de depreciación de maquinaria y equipo agrícola del 9 por ciento. Una característica interesante de esta estimación es que proviene de un modelo económico y es consistente con el comportamiento maximizador de los agricultores. Sin embargo, el estimador no es significativo al 90 por ciento.

El coeficiente estimado de la tasa de salario en la industria productora de maquinaria tiene el signo negativo esperado (corresponde a $\partial F(\cdot) / \partial \omega_t^m$) y es significativo al nivel de 90 por ciento.

Como se esperaba, el signo estimado es negativo para el coeficiente del precio del hierro y acero (corresponde a $\partial F(\cdot) / \partial \bar{i}_t$), y es significativo al 90 por ciento. Es interesante notar la buena estimación lograda para la función de oferta de la industria productora de maquinaria y equipo agrícola, $F(\cdot)$. Esto es importante pues los coeficientes estimados constituyen, al parecer, las primeras estimaciones disponibles para la industria de maquinaria agrícola de los Estados Unidos.

El único signo cambiado en la ecuación de inversión corresponde al obtenido para el coeficiente del precio externo de la maquinaria, que es además significativo.

¹³ Desafortunadamente no fue posible obtener los datos originales de modo de eliminar el componente señalado.

El coeficiente para la producción agrícola en el RDM tiene el signo positivo esperado y es significativo al 90 por ciento. La variable que captura el cambio tecnológico en la industria de maquinaria muestra un coeficiente estimado de signo correcto y también significativo al nivel de 90 por ciento de confianza.

En resumen, la estimación empírica del modelo muestra una ecuación de *stock* fuerte y una ecuación de precio poco satisfactoria. Dado que la ecuación de *stock* provee estimaciones originales para el lado de la oferta del mercado de inversión en maquinaria agrícola, es importante su buen comportamiento en la estimación. La ecuación de *stock* se mostró además robusta a cambios en la especificación de las variables, una característica bastante más débil en la ecuación de precio.

6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Desde un punto de vista analítico, este trabajo contribuye con un modelo teórico unificado de la determinación endógena del precio de un activo productivo, y el mecanismo muthiano de formación de expectativas. Los trabajos previos en la determinación del *stock* y la inversión agrícola en factores cuasifijos, trataron siempre el precio del factor cuasifijo como exógenamente determinado y/o las expectativas como estáticas. Además, éste representa posiblemente el primer intento analítico formal del lado de la oferta de maquinaria y equipo agrícola y de sus efectos sobre las decisiones de inversión del sector agroproductivo.

Desde un punto de vista empírico, las estimaciones presentadas deben tomarse, al menos, con cierta precaución. Especialmente cuando algunos estimadores no son significativos, o muestran signos que no pueden justificarse teóricamente. Sin embargo, los resultados obtenidos entregan algunas indicaciones claras. Primero, el modelo teórico de determinación endógena del precio de activo y del *stock* de maquinaria agrícola, dentro de un marco de maximización de beneficios y con agentes económicos que forman sus expectativas racionalmente, es validado por el test empírico realizado. Segundo, la ecuación de precio es claramente más débil que la ecuación de inversión. Sería interesante en el futuro, considerar la velocidad con que se transmite e interpreta la información por los agentes económicos, así como la forma en que se comportan los agentes con expectativas racionales cuando se dan cuenta que existen diferentes grupos de personas con diferentes velocidades de reacción participando en el mercado. Además, una más detallada especificación de los insumos agrícolas podría mejorar la estimación de la ecuación de precio. Especial atención debería ponerse en intentos futuros en los insumos incluidos dentro de la categoría misceláneos.

Tercero, los resultados arrojan luz sobre los determinantes de la curva de oferta de la industria productora de maquinaria y equipo agrícola. Muestran con claridad que las categorías de insumos incluidas como determinantes de la producción doméstica de maquinaria y equipo en los Estados Unidos, realmente pertenecen al modelo. De mayor importancia aún, es que se demuestra que la inversión en maquinaria y equipo del sector agrícola norteamericano responde a los factores de oferta, y, por lo tanto, éstos no deben olvidarse en un análisis del sector.

Una implicancia de esto es que, si se quieren implementar políticas para aumentar el nivel de mecanización de la agricultura, debe ponerse atención no sólo a los factores de demanda, sino también a los de oferta que afectan las decisiones de inversión del sector agrícola. Esto puede ser relevante para países en desarrollo, donde muchas veces se olvidan los posibles efectos laterales de las tarifas e impuestos a la importación de maquinaria agrícola, o a los insumos intermedios para su producción doméstica.

Este que al parecer es el primer trabajo empírico del lado de la oferta del mercado de la maquinaria y equipo agrícola, aporta indicaciones cuantitativas respecto de sus determinantes más importantes. Se evidencia por ejemplo, lo relevante que pueden ser para la industria productora de maquinaria agrícola de los Estados Unidos, protecciones artificiales a los precios de la industria del acero y hierro, que pueden así afectar indirectamente la inversión del sector agrícola y su tasa de mecanización.

Los resultados obtenidos representan, al menos, un primer paso para futuros trabajos. Se podría, por ejemplo, mejorar la especificación de los determinantes de las exportaciones netas de maquinaria agrícola en la ecuación de inversión. Esto parece ser particularmente importante dado el signo inesperado obtenido en la estimación del coeficiente para el precio externo de la maquinaria. Una más cuidadosa especificación de la variable tipo de cambio, o el uso de una más apropiada para el propósito entre manos, podría también ser de ayuda. Asimismo, una medición más refinada del nivel de actividad agrícola en el RDM podría mejorar la estimación. Obviamente, emplear instrumentos estrictamente exógenos también podría ser de ayuda; sin embargo, éstos son siempre difíciles de encontrar para cualquier set de variables.¹⁴

¹⁴ Véase Figueroa (1990) para un análisis de las bondades que al respecto ofrecen los MC2E2E.

La estimación del modelo empírico presentada sirve como una ilustración de las numerosas posibilidades que el procedimiento de estimación propuesto y desarrollado por CHO, MC2E2E, ofrece a aquellos investigadores que trabajan con modelos de expectativas racionales y desean utilizar el enfoque de McCallum para tratar las variables no observadas de sus modelos.¹⁵ Se necesita trabajo adicional que compare las estimaciones por MC2E2E con otras obtenidas por medios alternativos.

¹⁵ Véase Figueroa (1990).

REFERENCIAS

- ALMON, SHIRLEY. "The distributed lag between capital appropriations and expenditures"; *Econometrica*, 33, 1, 178-196, enero, 1965.
- ARROW, K.J. "Optimal capital policy with irreversible investment"; en *Value Capital and Growth*, Papers in Honour of Sir John Hicks, editado por J.N. Wolfe, Edinburg, Edinburg University Press, 1968.
- BINSWANGER, HANS P. et al. *Induced Innovation*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1978.
- CAPALBO, SUSAN M. "A comparison of econometric models of U.S. agriculture productivity and aggregate technology", en *Resources for the Future*, Washington, D.C., Discussion Paper Series n°RR85-05, julio, 1986.
- CHAMBERS, R.G. y U. VASAVADA. "Testing asset fixity for U.S. Agriculture"; *American Journal Ag. Economics*, 761-769, noviembre, 1983.
- CHENERY, HOLLIS B. "Overcapacity and the accelerator principle", *Econometrica*, 20, 1, 1-28, enero, 1952.
- CHIANG, ALPHA C. *Fundamental methods of mathematical economics*, 3rd edition, McGraw-Hill Book Co., 1984.
- CLOWER, R. "Productivity, thrift and the rate of investment"; *Economic Journal*, 64, 107-115, 1954.
- CROMARTY, WILLIAMA. "The demand for farm machinery and tractors", Michigan State University Tecnical Bulletin, 1960.
- . "The demand for farm tractors, machinery and trucks"; *Journal Farm Economics*, 41: 323-331, 1959.
- CUMBY, ROBERT E. y JOHN HUIZINGA. Two-step twostage least squares: User's guide. Mimeo-grafo, septiembre, 1984.
- CUMBY, ROBERT y MAURICE OBSTFELD. "Two-setp two-stage least squares estimation in models with rational expectations", *Journal of Econometrics*, 21, 333-335, 1983.
- DE LEEUW, F. "The demand for capital goods by manufacturers: A study in quarterly time series", *Econometrica*, 30, 407-423, 1962.
- DIEWERT, W.E. "Duality approaches to microeconomic theory", en *Handboock of mathematical economics*, vol. 2, editado por Arrow K.J. y M.D. Intrilligator, North-Holland Publishing Co., 1982.
- . "Applications of duality theory", en *Frontiers of quantitative economics*, vol. 2, editado por Intrilligator M.D. y D. A. Kendrick; North-Holland Publishing Co., 1974.
- EISNER, R. y R. STROZ. "The determinants of business investment", en *Impacts of monetary policy*, Commission on Money and Credit. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., 1963.

- FIGUEROA, EUGENIO. "Un estimador para modelos con expectativas racionales que emplean el enfoque de McCallum", *Estudios de Economía*, vol. 17, 1, 71-81, 1990, Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Chile.
- . "A dynamic rational expectations model of investment and asset price determination of a quasi-fixed factor: the case of agricultural machinery and equipment in the U.S., 1948-1983". Ph.D Dissertation, Universidad of Maryland, College Park, 1989a.
- . "Two-step two-stage squares a useful and recently available procedure for rational expectation models with autocorrelated disturbances", *Trabajos del IX Encuentro Latinoamericano de la Sociedad Econométrica*; Santiago, agosto, 1989b.
- FOLEY, D. y M. SIDRAUSKI. *Monetary and fiscal policy in a growing economy*. MacMillan, New York, 1971.
- . "Portfolio choice, investment and growth"; *American Economic Review*, 60: 44-63, 1970.
- GOODWIN, RICHARD M. "Econometrics in business cycle analysis", en Avin Hansen, *Business cycles and national income*, 1951.
- GOULD, J.P. "Adjustment costs in the theory of investment of the firm", *Review Economic Studies*, 35, 1, 47-55, enero, 1968.
- GRILICHES, ZVI. "The demand for a durable input: Farm tractors in the United States, 1921-57", en *The demand for durable goods*, editado por Arnold C. Harberger, The Universidad of Chicago Press, 1960.
- JORGENSON, DALE W. "The theory of investment behavior", en *Determinants of Investment Behavior*, editado por R. Ferber, Nueva York, NBER., 1967.
- . "Rational distributed lag functions", en *Econometrica*, 34, 135-149, 1966.
- . "Capital theory and investment behavior"; *American Economic Review*, 53, 247-59, mayo, 1966.
- JUDGE, GEORGE G. et al. *The theory and practice of Econometrics*. John Wiley and Sons, Nueva York, 1985.
- KELEJIAN, HARRY L. *Class notes for econometrics IV Graduate course*. Department of Economics, University of Maryland, College Park, Md. No publicado, 1986.
- KOYCK, L.M. *Distributed lags and investment analysis*. NorthHolland Publishing Co., Amsterdam, 1954.
- LAU, L.J. "Testing and imposing monotonicity, convexity, and quasi-convexity constraints", en *Production Economics, A dual approach to theory and aplicaciones*, vol. 1, editado por Fuss, M. y D. McFadden, Amsterdam: North Holland, 409-53, 1978.
- . "A characterization of the normalized restricted profit function"; *Journal Economic Theory*, 12, 131-63, 1976.
- LUCAS, ROBERT, Jr. "Optimal investment policy and the flexible accelerator", *International Economic Review*, 8, 1: 78-85, febrero, 1967a.

- . "Adjustment costs and the theory of supply", *Journal Political Economy*, 75, 4: 321-334, agosto, 1967b.
- McCALLUM, B.T. "Rational expectations and the natural rate hypothesis: Some consistent estimates", *Econometrica*, 44, 1: 43-52, enero, 1976.
- . "Rational expectations and the estimation of econometric models: An alternative procedure", *International Economy Review*, 17, 2: 484-90, junio, 1976b.
- MORTERSEN, DALE T. "Generalized costs of adjustment and dynamic factor demand theory", *Econometrica*, 41, 4: 657-665, julio, 1973.
- MUSSA, MICHAEL. "External and internal adjustment costs and the theory of aggregate and firm investment", en *Econometrica*, 44, mayo, 1977.
- MUTH, JOHN F. "Rational expectations and the theory of the price movements", en *Econometrica*, 29, 6, 1961.
- NELSON, CHARLES R. "Rational expectations and the estimation of econometric models", *International Economic Review*, 16, 3: 555-61, 1975.
- PURVIS, D. "A note on the demand for capital and the supply of investment", Discussion Paper, Department of Economics, Queen's University, Ontario, 1973.
- RAYNER, A.J. y KEITH COWLING. "Demand for farm tractors in the United States and the United Kingdom", *American Journal Agricultural Economics*, 50, 4: 896-912, noviembre, 1968.
- SOLOW, R.M. "On a family of lag distributions", en *Econometrica*, 28: 393-406, 1960.
- TAKAYAMA, AKIRA. *Mathematical Economics*. Cambridge University Press, 1985.
- TOBIN, JAMES. "Comment", en *Determinants of Investment Behavior*, editado por R. Ferber, Nueva York, 1967.
- TREADWAY, ARTHUR B. "The globally optimal flexible accelerator", *Journal Economic Theory*, 7: 17-39, 1974.
- . "The rational multivariate flexible accelerator", en *Econometrica*, 39, 5: 845-855, septiembre, 1971.
- . "Adjustment costs and variable inputs in the theory of the competitive firm", *Journal Economic Theory*, 2: 329-347, 1970.
- . "On rational entrepreneurial behavior and the demand for investment", *Review Economic Studies*, 36, 2: 227-239, 1969.
- U.S. Department of Agriculture. "Selected farm machinery statistics", *Economic Research Service, Statistical Bulletin* n°743, Washington, D.C., julio, 1968.
- VASAVADA, UTPAL. "Investment in the United States Agriculture: 1947-1979", Ph. Dissertation, University of Maryland, College Park, 1984.

