

Estudios de Economía Aplicada  
Nº 12, 1999. Págs. 69-89

# La productividad total de los factores en el sector agrario: relaciones de causalidad

FERNÁNDEZ DÍEZ\* · M<sup>a</sup>C.  
*Dpto. de Economía (ICADE)*  
*Universidad Pontificia Comillas de Madrid*

Esta versión incluye todas las correcciones sugeridas por el evaluador, las cuales me han parecido oportunas y por las que le quedo muy agradecida.

## RESUMEN

En este trabajo se estudian las relaciones dinámicas entre los gastos en investigación y los cambios en la productividad agraria en España. El análisis económico utilizado se basa en los conceptos de causalidad en el sentido de Granger. Se establece una relación dinámica a corto plazo de causalidad unidireccional entre la investigación de los sectores universidad y privado, y la productividad. Otros factores identificados que podrían estar incidiendo en la productividad son el potencial de tecnología extranjera, el capital humano y la relación real de intercambio.

*Palabras clave:* Causalidad, Productividad total de los factores, I+D, sector agrario.

Artículo recibido en febrero de 1999. Revisado en abril de 1999.

---

\* Deseo agradecer a J. David López Salido las sugerencias aportadas a este trabajo. No obstante, cualquier error u omisión a su contenido son de mi entera responsabilidad.

## 1. Introducción

La productividad total de los factores (PTF) en el sector agrario español ha venido creciendo durante las tres últimas décadas a tasas elevadas, en relación a otros países de nuestro entorno. No obstante, este crecimiento se vio ralentizado en los 80s, coincidiendo con la entrada de nuestro país en la Unión Europea (Fernández, Herruzo y Evenson, 1995). En general, se admite que los cambios en la PTF son el resultado de los avances tecnológicos, que permiten producir más a partir de la misma cantidad de factores productivos. Estos avances tecnológicos en el sector agrario tradicionalmente han tenido su origen en la adopción de tecnología extranjera importada, y en la inversión o gastos en I+D nacionales. De esta forma, surgen los siguientes interrogantes: a) si el modelo de cambio tecnológico basado en la importación de tecnología extranjera está agotado; b) cómo la reciente disminución de los gastos públicos de I+D agrario puede estar afectando a este sector productivo; c) si hay otras causas, bien tecnológicas como el fomento de la I+D privada o la mejora en la formación agraria, bien relacionadas con la eficiencia empresarial, con las economías de tamaño o con las políticas de precios que están surtiendo efecto a corto plazo en la productividad.

El objetivo de este trabajo es identificar posibles causas de los cambios en la productividad total de los factores del sector agrario en nuestro país, atendiendo, fundamentalmente, a factores tecnológicos. La existencia de relaciones de causalidad entre la PTF y la I+D tiene importantes implicaciones en materia de política científica y tecnológica, ya que en este caso, los avances en la PTF deberían estar ligados, de alguna manera, a la evolución del sistema de investigación agraria nacional.

Así, una línea de investigación reciente, en el estudio de las relaciones entre la I+D y la productividad con series temporales, la constituyen los intentos de establecer relaciones de causalidad entre las variables de I+D y la PTF del sector agrario. Si la I+D agraria se identifica como causa, en el sentido de Granger, de la PTF, se puede afirmar que la investigación contribuye a explicar y predecir los valores futuros de la productividad.

En EE.UU. la relación causal entre producción agraria e inversión en investigación pública, ha sido demostrada por Pardey y Craig (1989), y más recientemente, entre productividad agraria y gastos totales en investigación, por Makki, Tweeten y Trhaen (1993). Así mismo, Schimmelpfening y Thirtle (1994), para un conjunto de países europeos, admiten la existencia de relaciones causa-efecto. Por el contrario, el estudio de causalidad realizado por Hallan (1990) para Gran Bretaña, no encuentra relaciones de causalidad entre los gastos en investigación agraria y la PTF.

Existen al menos dos razones que pueden explicar la inexistencia de una relación clara de causalidad entre la I+D agraria y la PTF (Hallan 1990). En primer lugar, la utilización de medidas imperfectas e incompletas de los inputs de la investigación agraria. Esto ocurre, por ejemplo, cuando no se consideran los gastos en I+D del sector priva-

do como parte del gasto total en I+D. En segundo lugar, se hace necesario separar el proceso de generación de la tecnología (la I+D agraria y la transferencia de tecnología del exterior) del proceso de difusión de los avances tecnológicos (la extensión agraria). Esta diferenciación entre gastos de investigación y de extensión no siempre ha sido posible para aquellos países en los que ambas actividades se encuentran muy integradas en el sistema de ciencia y tecnología. Por consiguiente, en este estudio se han tenido en cuenta estas dos consideraciones.

De otro lado, autores como Griliches (1979) y Pardey y Craig (1989) sugieren la posibilidad de una retroalimentación entre la productividad y los gastos en investigación agraria. En este sentido, la evolución de la I+D agraria en un período de tiempo corto se podría explicar a partir de los niveles alcanzados en la PTF. Dado que la financiación de la investigación está, en cierto modo, relacionada con los éxitos o hallazgos que la investigación haya podido proporcionar al sector, esto es, con los avances en productividad agraria. Por tanto, es importante conocer si nuestro sistema de I+D agrario es sensible a las ganancias potenciales en productividad agraria, o por el contrario, si presenta rigideces que le impiden responder de forma adecuada.

Independientemente de que se pueda demostrar la existencia de una relación entre la investigación y la productividad agraria, resulta de interés identificar otros posibles factores determinantes de ésta en el corto plazo. Entre las variables que podrían estar incidiendo junto con la I+D agraria en las variaciones de la PTF se pueden considerar: la disponibilidad de avances tecnológicos generados en el extranjero; las actividades de difusión de las tecnologías al agricultor a través de la extensión; medidas del capital humano o formación como el potencial de técnicos e ingenieros agrónomos; el tamaño medio de las explotaciones; las ayudas y estímulos que reciben los agricultores por parte del Estado; y las políticas de precios, que acaban trasladándose a la relación real de intercambio.

En definitiva, el estudio de las fuentes de variación de la PTF del sector agrario en España se va a realizar mediante la búsqueda de relaciones de causalidad entre ésta variable dependiente y otros factores explicativos, que ayuden a explicar y predecir valores de la PTF a corto plazo, e indiquen la dirección y sentido de las relaciones. El análisis se aborda para la totalidad de los sectores agrícola y ganadero, y para el conjunto nacional<sup>1</sup>.

En el siguiente apartado (**2**) se revisa la metodología de la causalidad. En el apartado **3**, se describen las variables utilizadas en el análisis causalidad; en el apartado **4** se exponen y analizan los resultados empíricos, por último se presentan las conclusiones.

---

1. Un estudio pormenorizado por CC.AA. hubiera requerido la regionalización de las actividades de I+D, lo cual resulta extremadamente difícil, las estadísticas del INE proporcionan datos regionalizados sólo para la totalidad de la I+D pero no para la disciplina de las ciencias agrarias.

## 2. Causalidad en el sentido de Granger y no estacionariedad

La causalidad es un concepto muy utilizado en los trabajos empíricos en economía agraria para la explicación de las relaciones dinámicas entre variables<sup>2</sup>. La posible existencia de una relación de causalidad entre los gastos en investigación agraria y la productividad se puede investigar utilizando el concepto de causalidad en el sentido de Granger (Granger, 1969 p. 379). El enfoque de Granger a la cuestión de si una variable "x" causa otra variable "y" está muy extendido en la literatura, y consiste en ver qué proporción del valor actual de "y" puede explicarse por los valores anteriores de "y", y entonces analizar si el añadir valores pasados o retardados de "x" puede mejorar la predicción.

Así por ejemplo, se diría que la investigación, ID, es causa de tipo Granger de la PTF, si su pasado contribuye a la explicación del futuro de la PTF. Es importante hacer notar que el enunciado «ID es una causa de la PTF» no implica que la PTF sea el efecto o resultado de ID. La causalidad de Granger mide precedencia e información de contenido, pero no indica por sí misma, causalidad en el sentido más común del término (Granger, 1988).

El test de causalidad de Granger procede mediante la regresión de una variable dependiente, p.ej. la productividad, PTF, sobre los valores retardados de ella misma, y sobre los valores retardados de otra variable, p.ej. la investigación, ID. Si ID retardada resulta ser significativa, esta variable será capaz de explicar parte de la varianza de la PTF, que no es explicada por los valores pasados de la PTF. En este caso, se dice que la ID es causa dinámica o causa en el sentido de Granger de la PTF.

En el caso de que, como es de esperar, la PTF y la ID no fueran variables estacionarias, sino procesos integrados de orden uno  $I(1)$ , el contraste de la causalidad se ha realizado tradicionalmente con la representación estacionaria de las variables (esto es, en primeras diferencias).

En los estudios de causalidad, una herramienta muy útil para el contraste de igualdad a cero de los coeficientes es la realización de *Tests de Wald*. Estos tests son instrumentos standard para contrastar restricciones sobre los coeficientes de procesos de vectores autorregresivos (VAR), para cualquier tipo de hipótesis de interés (Hall, Johnston y Lilien, 1990). En el contexto de la causalidad de Granger, la hipótesis nula que se formula es que los coeficientes de un subconjunto de variables retardadas sea igual a cero. Desafortunadamente, estos tests pueden tener propiedades asintóticas no estandard si las variables consideradas en el VAR son integradas o co-integradas, en concreto, no seguirán la distribución asintótica usual chi-cuadrado,  $\chi^2$ . Por lo que se haría necesario simular para cada caso concreto la distribución, en función del núme-

---

2. Una revisión exhaustiva, teórica y empírica, sobre el análisis de causalidad en economía agraria se encuentra en Sarker (1995) y Zapata y Gil (1999).

ro de variables, rango de co-integración, número de retardos y parámetros (Toda y Phillips, 1993).

Ante estas dificultades surgidas cuando se pretende contrastar la causalidad para variables I(1) o co-integradas, Dolado y Lütkepohl (1996) proponen un test de *Wald modificado*. Estos autores muestran que añadiendo un retardo más a un proceso dado ( $n + 1$  ó  $m + 1$ ), y concentrando el test en el conjunto relevante de coeficientes ( $n$  ó  $m$ ), resulta una distribución  $\chi^2$  estandar. Este tipo de test se pueden aplicar directamente sobre estimadores mínimo cuadráticos de coeficientes de procesos autorregresivos, especificados con variables en niveles. Por otro lado, aunque se permite que las variables estén co-integradas, no se asume a priori la co-integración, ni son necesarios los tests de raíces unitarias previos. Así mismo, es posible expresar la hipótesis nula sobre los coeficientes de variables estacionarias.

En este trabajo se utilizan los test de Wald modificados propuestos por Dolado y Lütkepohl (1996) como procedimiento para contrastar la existencia y dirección de la causalidad. Formalmente, el modelo considera la productividad como variable dependiente y la investigación agraria como independiente:

$$PTF_t = C + \sum_{j=1}^{m-1} \beta_j PTF_{t-j} + \sum_{i=1}^{n-1} \delta_i ID_{t-i} + u_t \quad (1)$$

El test de Wald sobre los coeficientes  $\beta_j$  de la variable independiente retardada ( $ID_{it}$ ) permite contrastar la hipótesis nula de que éstos son iguales a cero para los  $n$  primeros términos. El valor de la  $\chi^2$  obtenido se compara con el de la  $\chi^2$  tabulada para  $n$  grados de libertad. Si se obtiene un valor superior al tabulado, se podrá rechazar la hipótesis nula de que los coeficientes que acompañan a las variables retardadas de la I+D son cero. En este caso, la I+D sería causa en el sentido de Granger de la PTF.

La existencia de retroalimentación entre la PTF y la I+D se puede contrastar también siguiendo el mismo razonamiento anterior. Tomando ahora como variable dependiente la I+D, tendríamos el siguiente modelo autorregresivo:

$$ID_t = C + \sum_{j=1}^{m-1} \alpha_j ID_{t-j} + \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i PTF_{t-i} + v_t \quad (2)$$

El test de Wald aplicado sobre los  $n$  primeros términos de los coeficientes  $\gamma_j$  permite contrastar la hipótesis nula de que éstos sean igual a cero. La hipótesis nula se rechaza si los valores calculados de la  $\chi^2$  son superiores a los tabulados. En cuyo caso, existe relación de causalidad, esto es, la PTF es causa en el sentido de Granger de la I+D, y la I+D no sería una variable puramente pasiva en relación a la PTF de la agricultura.

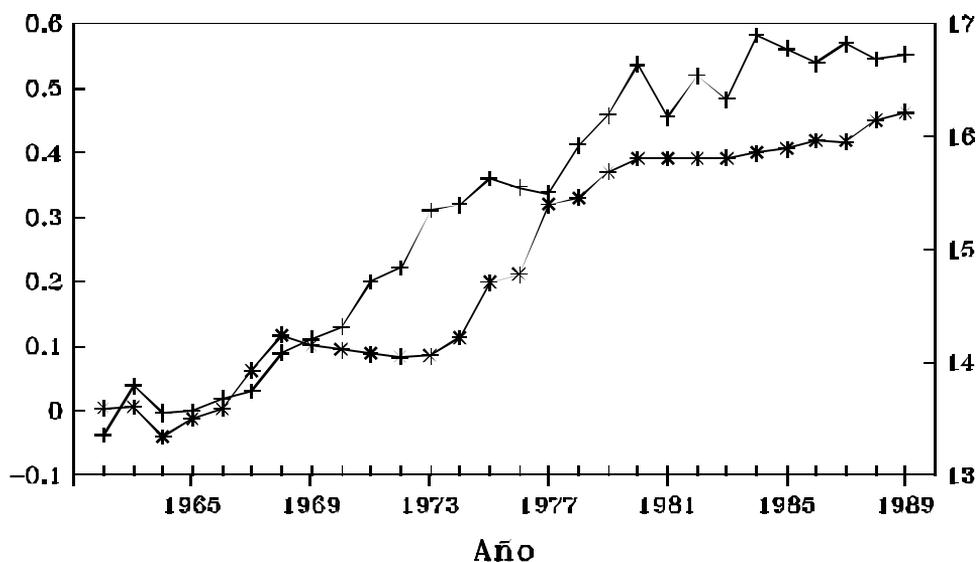
### 3. Variables explicativas de la PTF del sector agrario en España

En este apartado se describen las variables utilizadas en el análisis de los determinantes del crecimiento de la productividad agraria en España en el período 1962-1989. Se detalla la fuente de información, y se establecen las hipótesis iniciales en torno a ellas.

En el Cuadro 1 aparecen las variables utilizadas, su definición y las transformaciones realizadas. Estas variables se podrían agrupar en varias categorías:

- a) Variables que se considera representan el efecto del **cambio tecnológico**. Estas variables miden los inputs de la investigación en base a los gastos realizados en I+D agraria (LID). En el Gráfico 1 se han representado las evoluciones de los gastos en investigación (LID) en relación a la evolución de la PTF (LPTF), en logaritmos.

**Gráfico 1. Crecimiento de la productividad y de la I+D agraria**



Fuente: Elaboración propia

—+— LPTF    —\*— LID

La variable LPTF, elaborada por Fernández, Herruzo y Evenson (1995), resulta del ratio que refiere un conjunto de producciones agregadas a un conjunto de factores de producción convencionales. La fórmula de agregación utilizada es el índice Tornqvist-Theil. Para el índice de factores y en forma de tasas de crecimiento tendría la siguiente expresión:

$$\ln \left( \frac{IX_t^{TT}}{IX_{t\&1}^{TT}} \right) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (S_{it} \% S_{it\&1}) \ln \left( \frac{X_{it}}{X_{it\&1}} \right) \quad (3)$$

Así, el índice Tornqvist-Theil expresa el ratio sucesivo de las cantidades de factores (X) ponderadas por la media móvil de la proporción de cada factor en el coste total de la producción(S).

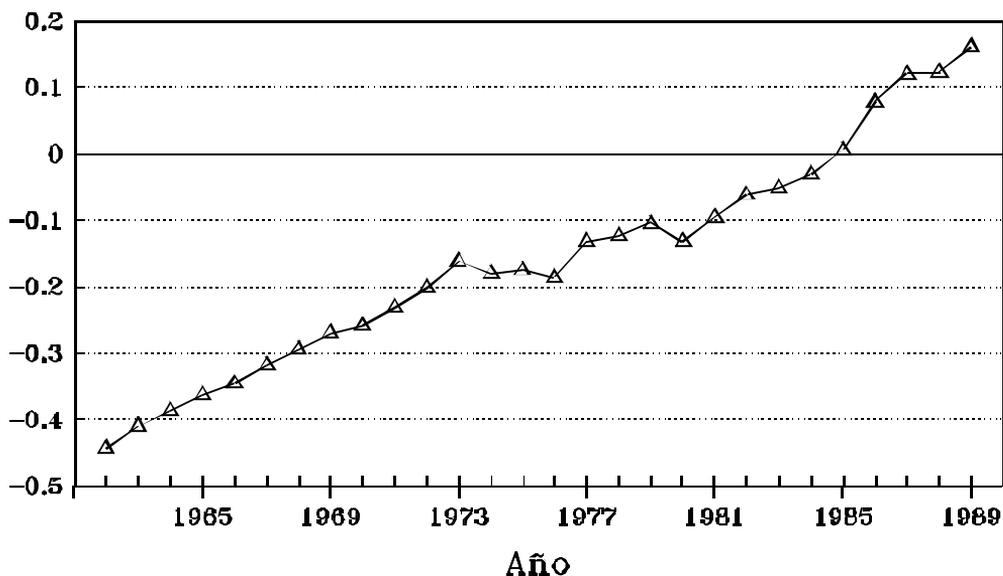
**Cuadro 1. Definición de las variables utilizadas**

<i>Símbolo</i>	<i>Definición</i>
LPTF	Índice Tornqvist-Theil de productividad total de los factores de la agricultura y la ganadería españolas, período 1962-1989, transformado en logaritmos.
LID	Gastos totales en I+D agrario de la economía española en pesetas constantes de 1982, período 1958-1989, transformados en logaritmos.
LPU	Gastos en I+D de los centros públicos de investigación agraria en España en pesetas constantes de 1982, período 1958-1989, transformados en logaritmos.
LU	Gastos en I+D agrario de las Universidades españolas, en pesetas constantes de 1982, período 1958-1989, transformados en logaritmos.
LEM	Gastos en I+D agrario de las empresas privadas en España, en pesetas constantes de 1982, período 1958-1989, transformados en logaritmos.
LUSA	Índice de PTF Tornqvist para la agricultura estadounidense (Ball et.al., 1994), media móvil de tres años, período 1962-1989, datos en logaritmos.
LHUM	Número de alumnos matriculados en Escuelas de Ingenieros Técnicos Agrícolas y Escuelas Superiores de Ingenieros Agrónomos en España, que finalizaron sus estudios, período 1962-1989, expresado en logaritmos.
LEXT	Número de agencias de extensión agraria en España entre el número de explotaciones censadas, período 1961-1988 en logaritmos.
LPA	Inversa de la tasa de intercambio, expresada como índice de precios pagados por el agricultor dividido entre el índice de los precios percibidos, período 1962-1989, en logaritmos.
LINV	Subvenciones del sector público al sector agrario que llegan de forma objetiva y personalizada al agricultor, en pesetas constantes de 1982, período 1962-1989, en logaritmos.
LTAM	Número de explotaciones censadas entre la superficie agrícola útil, en logaritmos, período 1962-1989.

Dentro de los gastos en I + D agrario se ha diferenciado entre los distintos sectores ejecutores de la investigación: el sector público (LPU), las universidades (LU) y las empresas (LEM). Para poder incorporar la incidencia de los gastos en investigación sobre las variaciones en productividad total es necesario considerar el efecto del retardo, por lo que se parte de datos desde 1958, un máximo de cuatro retardos<sup>3</sup>.

Por otra parte, se ha considerado también una aproximación al estado de la tecnología extranjera (LUSA), que refleje la posibilidad de difusión de tecnología agraria procedente del exterior hacia España. Siguiendo a Bouchet, Orden y Norton (1989), se ha utilizado el nivel alcanzado por la productividad agraria de EE.UU. como medida de la disponibilidad de tecnología extranjera. Al elegir la productividad de este país subyace la hipótesis de que la mayor fuente de dependencia tecnológica se encuentra localizada en la economía norteamericana, lo cual resulta cierto en gran número de sectores agropecuarios, aunque no en todos. La transformación de la media móvil de los niveles de productividad, permite admitir un cierto retardo entre la adopción de las nuevas tecnologías en el país de origen y la transferencia a España de estas innovaciones, además, se suavizan o minimizan las posibles fluctuaciones anuales independientes del cambio tecnológico. El Gráfico 2 recoge la evolución creciente de esta variable.

**Gráfico 2. El estado de la tecnología extranjera medida a través de la PTF agraria de EE.UU.**



Fuente: Bouchet et al.

—△— LUSA

3. La fuente de la serie de datos en investigación agraria procede en su mayor parte de los datos publicados por el INE, y la OCDE.

Con las variables de ciencia y tecnología, se intenta contrastar la hipótesis de que las inversiones en investigación agraria, tanto las del sector público, como las de las universidades y de las empresas, tienen un efecto significativo sobre la productividad. Además, resulta interesante estudiar el retardo entre la realización del gasto en investigación y el efecto en la productividad. Es de esperar que el retardo sea menor para la investigación empresarial, dada la ejecución del sector privado de la investigación de carácter aplicado y en especial de desarrollo tecnológico, frente a la tradicional vocación del sector público hacia la investigación más de orientación básica y aplicada. En relación a la tecnología extranjera, se parte de la hipótesis inicial de que su efecto sobre la productividad total es elevado y positivo.

- b) Variables asociadas con la **eficiencia empresarial** y con la **difusión de los resultados de la investigación**. La eficiencia empresarial y la capacidad de adopción de innovaciones está asociada al nivel de formación o educación de los agricultores. Ante la imposibilidad de obtener una información continuada del nivel de educación de los agricultores<sup>4</sup>, se ha considerado como aproximación el potencial de capital humano, representado por la variable (LHUM). Esta variable ha sido construida a partir del número de ingenieros técnicos agrícolas e ingenieros agrónomos graduados, siguiendo el trabajo de Thirtle y Bottomley (1988). En este sentido, es una variable que representa la capacidad del país para poder transmitir, difundir y utilizar correctamente los conocimientos relacionados con la producción. Por último, el sistema de difusión de tecnología agraria se representa mediante los responsables de la extensión agraria pública (LEXT), variable formada por el número de agencias de extensión por explotación.

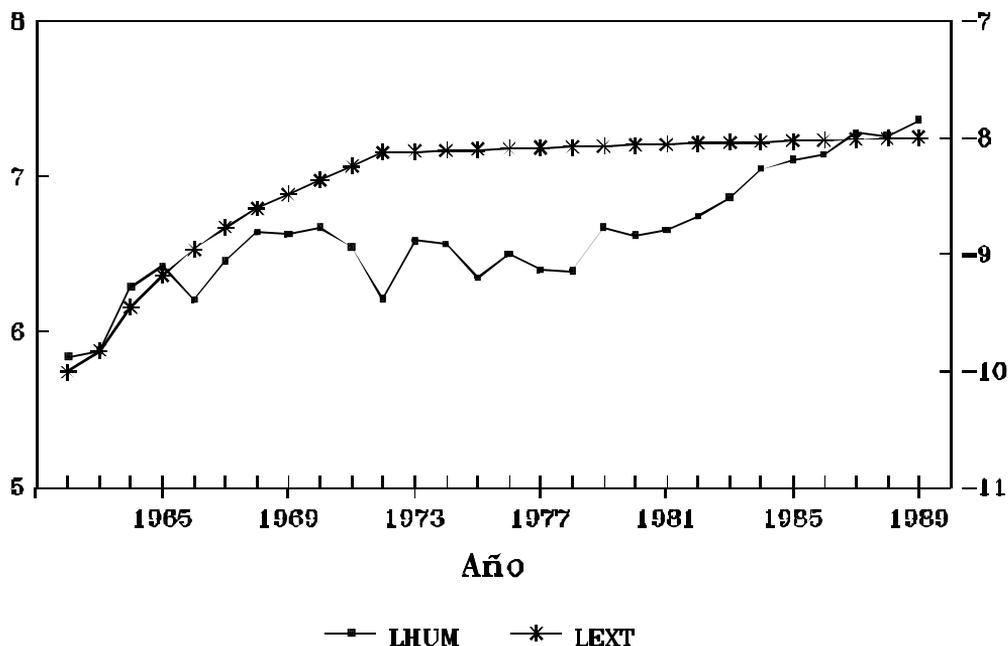
En el Gráfico 3 se han representado las evoluciones del capital humano y la variable extensión. Esta última, muestra una tendencia constante y sin variaciones en la última década.

Los datos sobre extensión agraria proceden de las memorias anuales del Servicio de Extensión Agraria del Ministerio de Agricultura, mientras que la variable sobre formación se ha elaborado a partir de los datos publicados en el Anuario del INE.

Se pretende contrastar la hipótesis de que el capital humano (LHUM) tiene una incidencia positiva en las variaciones de la productividad del sector. Una segunda hipótesis a contrastar es que la extensión pública (LEXT), como actividad de difusión de las nuevas tecnologías, ha tenido un significado relevante en el crecimiento de la productividad del sector agrario en España.

---

4. Los dos últimos censos agrarios proporcionan distinta información sobre la educación de los agricultores, lo que dificulta su comparación. Así en el año 1989, el cuestionario del censo se refería a diferentes niveles de educación agrícola del jefe de la explotación, mientras que en el año 1982, no se especifica que la educación sea exclusivamente agrícola.

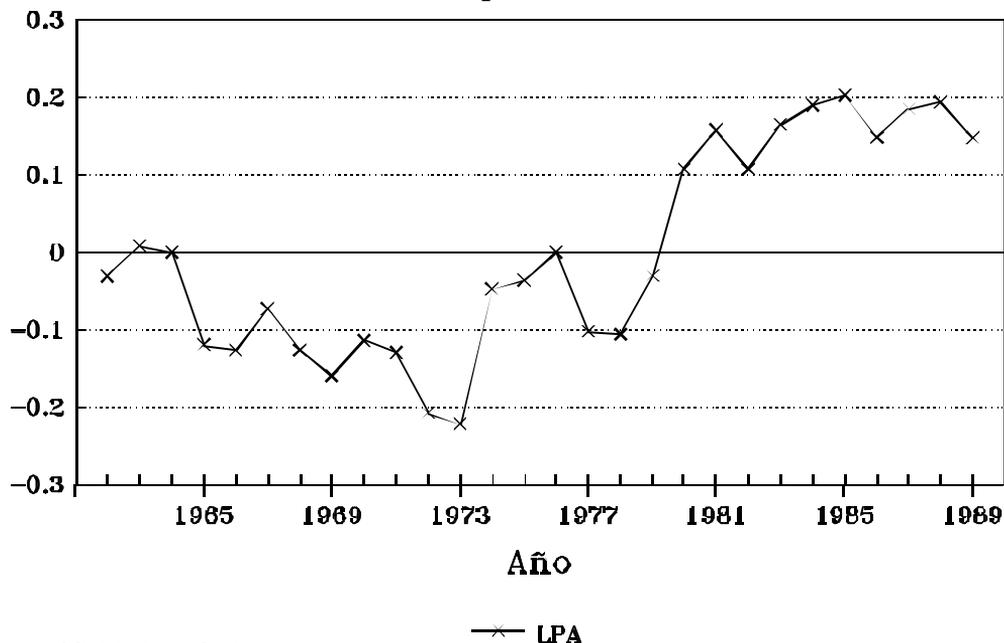
**Gráfico 3. Variaciones en el capital humano y las actividades de extensión**

Fuente: INE, Ministerio de Agricultura y elaboración propia.

- c) Variables relacionadas con la **política agraria** que incide directamente sobre nivel de vida de los agricultores. Aquí se considera en primer lugar, las relaciones de intercambio del sector agrario con el resto de la economía (LPA), medida por la razón entre los precios pagados y los precios percibidos por los agricultores. Tal y como se representa en el Gráfico 4., su evolución ha sido errática. Así la variable LPA muestra un tramo decreciente hasta el año 1973, y una tendencia ascendente a partir de esta fecha, indicativa de la pérdida de poder adquisitivo por parte del agricultor.

En segundo lugar, se consideran los programas del Estado, en forma de ayudas económicas a los agricultores, variable LINV. La influencia global de estos programas sobre la productividad es, a priori, incierta, dado que estas ayudas recogen finalidades muy distintas. Por un lado, los créditos y subvenciones a la inversión, a la mejora de las infraestructuras agrarias y los programas sobre producciones concretas, pueden contribuir a aumentar la productividad de las explotaciones, al facilitar su capitalización, elevar los precios agrícolas, y ofrecer un entorno que incentive la adopción de mejoras tecnológicas y prácticas empresariales. Por el contrario, la ayuda al sector puede ocasionar efectos no deseados sobre la productividad, al generar distorsiones en los mercados y una acumulación excesiva de stock. La evolución temporal de la cuantía de estas ayudas se ha representado en el Gráfico 6.

**Gráfico 5. Cambio en las relaciones de intercambio del sector agrario español**



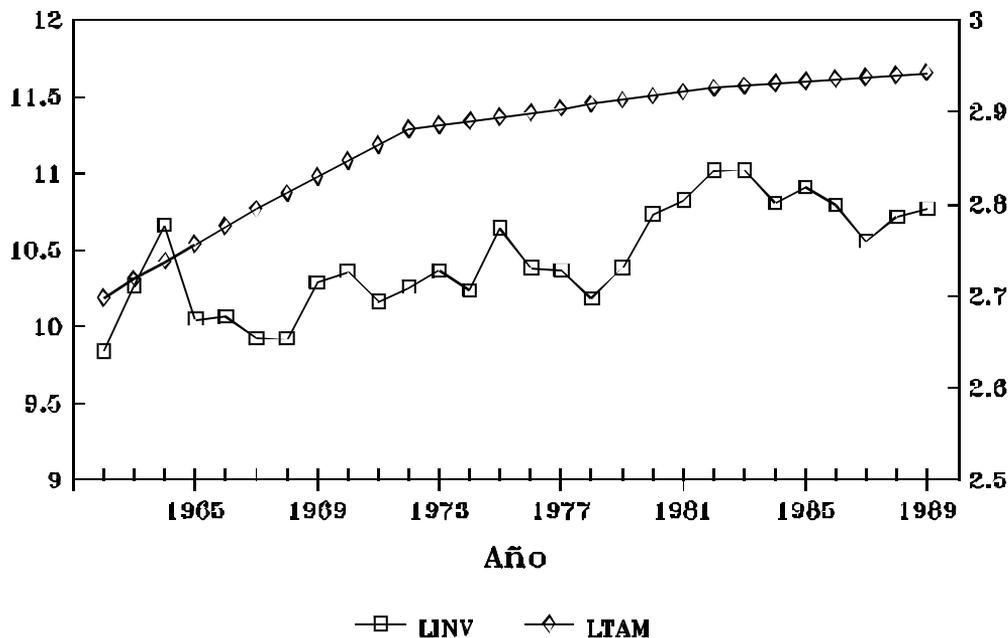
Fuente: Ministerio de Agricultura

La información sobre los índices de precios pagados y precios percibidos por los agricultores, así como la cuantía de los importes de subvenciones estatales a la Agricultura, proceden de las publicaciones anuales del Ministerio de Agricultura, a través de los Anuarios de Estadística Agraria.

Se pretende contrastar la hipótesis de que los incrementos de precios reales de los factores productivos (LPA), han tenido un efecto negativo sobre la productividad agraria. Mientras que la incidencia de las subvenciones del sector público al sector agrario se supone, a priori, que es mínima, dado la contraposición de posibles efectos.

- d) Variables que reflejan la existencia de **economías de tamaño** en el sector agrario, LTAM. Es de esperar que el tamaño de las explotaciones tenga una incidencia muy elevada sobre las variaciones en la productividad. La reducción en el número de explotaciones censadas, junto con un aumento leve de la superficie agrícola utilizada, refleja el hecho de que el tamaño medio de la explotación en España ha aumentado. Este incremento en el tamaño de las explotaciones puede tener una incidencia positiva sobre la productividad del sector. La tendencia creciente, aunque más moderada a partir del censo de 1972, se aprecia en el Gráfico 6.

**Gráfico 6. Evolución en el tamaño medio de las explotaciones y en la política de subvenciones**



Fuente: Ministerio de Agricultura y elaboración propia

La fuente de obtención de los datos sobre número de explotaciones han sido los cuatro censos existentes: 1962, 1972, 1982 y 1989, mientras que la superficie agrícola es un dato recogido de los Anuarios de Estadística Agraria.

La hipótesis inicial es que existe una relación causal entre las economías de tamaño y la productividad total agraria.

#### **4. Relaciones de causalidad entre la PTF, la I+D agraria y otras variables explicativas. Resultados empíricos para las series españolas, 1962-1989**

En este apartado se describen los resultados de la aplicación de los contrastes de Wald modificados para estudiar la existencia de relaciones causales entre la productividad total y las variables explicativas. En el caso de la I+D también se analiza la dirección de la causalidad. Debido a la limitación en el número de observaciones de la muestra ( $N=28$ ), primero se realizan los contrastes de causalidad únicamente entre pares de series, la productividad y otra variable, considerando hasta 5 retardos. Para

comprobar la robustez del análisis se contrasta la causalidad incluyendo una tercera variable, y para 3 retardos<sup>5</sup>.

En primer lugar (apartado a)), se ha aplicado el test de Wald modificado para contrastar la causalidad entre la I + D total agraria y la PTF, y entre la I + D por sectores (pública, universidades y empresas) y la PTF. En el apartado b) se realizan los mismos contrastes para el resto de las variables explicativas en relación con la PTF: tecnología extranjera, tamaño medio de las explotaciones, recursos humanos o educación, subvenciones públicas a los agricultores, actividades de extensión y relaciones de intercambio entre el sector agrario y otros sectores.

### a) Causalidad entre la I + D agraria y la PTF

En la Tabla 1. aparecen reflejados los resultados de la aplicación de los test de Wald modificados para el contraste de la causalidad entre la I + D total agraria y la PTF.

Se han especificado los modelos autorregresivos con tres, cuatro y cinco retardos, de la variable dependiente (LPTF) y de la explicativa (LID). Se contrasta la hipótesis nula ( $H_0$ ) de no existencia de causalidad entre la I + D y la PTF, en el sentido I + D → PTF, frente a la hipótesis alternativa de que la I + D es causa de Granger de la PTF. El test de Wald es un contraste de igualdad a cero de los  $n$  coeficientes de los modelos autorregresivos especificados con  $(n + 1)$  retardos. Así, para un modelo con tres retardos como el siguiente<sup>6</sup>:

$$PTF_t = \alpha_0 + \alpha_1 PTF_{t-1} + \alpha_2 PTF_{t-2} + \alpha_3 PTF_{t-3} + \beta_1 ID_{t-1} + \beta_2 ID_{t-2} + \beta_3 ID_{t-3} \quad (4),$$

la hipótesis nula a contrastar es que los coeficientes  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son iguales a cero. El contraste  $\chi^2$  sobre este subconjunto de parámetros del modelo autorregresivo se utiliza para aceptar o rechazar la relación de causalidad entre la I + D y la PTF agrarias. En la Tabla 1. se especifican los valores del estadístico  $\chi^2$  para cada uno de los modelos autorregresivos. Además, se incluye entre paréntesis la probabilidad  $p$  de que  $H_0$  sea cierta.

El valor del estadístico calculado para el conjunto de coeficientes contrastados resulta ser, en todos los casos, inferior al valor en tablas de la  $\chi^2$ , con una probabilidad

5. Zellner (1988) desaconseja los VAR «sofisticados» que recaigan un número de variables elevado (diez o más), ya que son demasiado extensos en relación al número de datos, y puede producir inferencias imprecisas o muy poca comprensión de los fenómenos. Por otra parte advierte de los modelos de causalidad que tratan de resolver problemas considerando sólo dos variables, ya que desde el punto de vista conceptual son muy generales.

6. Al disponer de series anuales, la inclusión de tres retardos es el mínimo que garantiza la ausencia de autocorrelación de los residuos del VAR. Esta circunstancia se ha contrastado con los test habituales.

del 90%. La lectura de los resultados de la Tabla 1 sería la siguiente. En relación a la primera fila se tendría que, con una probabilidad del 90%, el estadístico  $\chi^2$  es menor que el valor tabulado 4,60517, lo cual llevaría a no poder rechazar la hipótesis nula de igualdad a cero de los coeficientes. Sólo con una probabilidad del 67% ( $1-p = 1-0,33 = 0,67$ ) es posible aceptar la existencia de causalidad entre la PTF y la I+D en sentido de Granger.

**Tabla 1. Tests de Wald modificados para el contraste de la causalidad entre la I+D y la PTF agrarias**

*H<sub>0</sub> = I+D por sectores no es causa de Granger de la PTF agraria*

No. de retardos	$\chi^2$ (valor de p)			
	Total	Público	Universidad	Empresas
3	2,20* (0,33)	1,45 (0,48)	4,41 (0,11)	4,24 (0,12)
4	2,47** (0,19)	4,43 (0,22)	6,87 (0,08)	9,62 (0,02)
5	4,24*** (0,37)	4,21 (0,38)	8,92 (0,06)	18,46 (0,00)

\* El valor tabulado para dos grados de libertad es de 4,60517 al 10%.

\*\* El valor en tablas para tres grados de libertad es de 6,25139 al 10%.

\*\*\* El valor tabulado para cuatro grados de libertad es de 7,77944 al 10%.

En definitiva, no se puede rechazar la hipótesis de que los coeficientes que acompañan a las variables retardadas de la I+D agraria no sean causa en el sentido de Granger de la PTF, esto es, que tomen valores distintos de cero. Por tanto, no existe una clara relación de causalidad dinámica a corto plazo entre ellas, de forma que los gastos en investigación nacional llevados a cabo en el pasado, en principio, no contribuyen a explicar las variaciones en la productividad del sector.

También se han realizado los contrastes de causalidad en el sentido inverso de la relación, bajo el supuesto de que la PTF fuera causa, en el sentido de Granger de la I+D agraria<sup>7</sup>. Sin embargo, tampoco se ha encontrado evidencia muy clara de causalidad entre las variables, ya que el valor mínimo obtenido para la probabilidad p fue de 0,11 para 3 retardos en el modelo. Por tanto, a través de estos resultados no se

7. Para ello la serie de gastos en I+D se ha tomado para el periodo 1962-89, y no desde 1958 como en los análisis previos.

pueden sacar conclusiones convincentes que permitan afirmar que nuestro sistema de I+D agrario es sensible, a corto plazo, a las ganancias alcanzadas en productividad.

Puede resultar interesante profundizar en las relaciones de causalidad entre la investigación y la productividad diferenciando entre los tres sectores ejecutores de la I+D agraria. De forma similar al tratamiento de la productividad total en relación a los gastos totales en I+D, se han contrastado las hipótesis de igualdad a cero de los coeficientes de los modelos autorregresivos de la productividad con cada una de las variables de gastos de investigación por sectores (Tabla 1). Se han resumido los resultados de los test de causalidad entre la investigación del sector público (LPU), del sector universidad (LU) y de las empresas (LEM), y la productividad (LPTF). También se presentan tres tipos de modelos autorregresivos, con 3, 4 y 5 retardos, y como estadísticos de contraste la  $\chi^2$  y la probabilidad  $p$  entre paréntesis.

Al igual que en el análisis de la I+D total, no existe evidencia clara de causalidad en el sentido de Granger entre la I+D del sector público y la productividad, cuando se consideran modelos de variables de entre 3 y 5 retardos. Los valores que toma el estadístico calculado resultan inferiores que los valores tabulados ( $1,45 < 4,61$  para 3 retardos en el modelo;  $4,43 < 6,25$  para 4 retardos y  $4,21 < 7,78$  para 5 retardos). Se puede decir que para el nivel de significación elegido del 10%, la investigación realizada en el pasado, a corto plazo, por el sector público no está contribuyendo a explicar los avances o retrocesos periódicos de la productividad del sector agrario.

Los resultados de causalidad de la investigación de la universidad y del sector privado en relación a la productividad agraria, ofrecen resultados bastante más clarificadores en términos de causalidad. Por una parte, para unos modelos autorregresivos de cuatro y cinco retardos, los valores del estadístico calculado son lo suficientemente elevados como para rechazar la hipótesis de coeficientes de los retardos igual a cero. Así, los valores de la  $\chi^2$  calculada, en el caso de 4 retardos, para las universidades y las empresas son de 6,87 y 9,62, respectivamente, superiores al valor tabulado de 6,25; y para 5 retardos los valores calculados son de 8,92 y 18,46, superiores al valor de tablas, 7,78, con una probabilidad de rechazo de  $H_0$  del 90%.

También se puede apreciar la causalidad entre la I+D de las universidades y del sector privado, y la PTF a partir del valor de  $p$ . Un valor bajo de  $p$  (entre el 11 y el 0% para las universidades y el sector privado, respectivamente), indica una probabilidad bastante elevada de que se acepte la relación de causalidad ( $1-p = 89$  y 100%, respectivamente). Por tanto, esta evidencia confirma la hipótesis de que los valores pasados de los gastos en la investigación llevada a cabo por el sector privado y por la Universidad, contribuyen a explicar las variaciones a corto plazo de la productividad del sector agrario español.

Aún siendo cautelosos con los resultados econométricos, dado el pequeño tamaño de la muestra, es interesante resaltar que, existe una relación de causalidad a corto plazo, en el sentido de Granger, entre los gastos destinados a investigación por parte

de las empresas y la Universidad, y la productividad agraria en España. Pero no se puede llegar a una conclusión semejante en relación a la I+D pública y la PTF.

*b) Causalidad entre otras variables explicativas y la PTF agraria*

El contraste de Wald modificado aplicado a la PTF y a otras variables de ciencia y tecnología, como la tecnología extranjera (LUSA), los recursos humanos (LHUM), el tamaño de las explotaciones (LTAM), las actividades de extensión (LEXT) y la relación real de intercambio (LPA) permite ampliar las posibles relaciones de causalidad de la PTF del sector.

La Tabla 2. resume los resultados del contraste sobre la igualdad a cero de los coeficientes de los modelos autorregresivos, cuando la variable dependiente es la productividad total. Al igual que para las variables de I+D se recogen tres tipos de modelos autorregresivos, según el número de retardos de las variables explicativas. Entre paréntesis se especifica la probabilidad p de aceptar la hipótesis nula de igualdad a cero de los coeficientes.

**Tabla 2. Tests de Wald modificados para el contraste de la causalidad entre la PTF y otros factores**

*H<sub>0</sub> = El factor no es causa de Granger de la PTF agraria*

Número de retardos	$\chi^2$ (Valor de p)					
	Tecnol. Extranj.	Tamaño Explotac.	Capital Humano	Subvenc. Pública	Actividad Extensión	Relación Intercamb.
3	1,92* (0,38)	0,54 (0,76)	1,51 (0,47)	2,59 (0,27)	0,86 (0,64)	8,56 (0,01)
4	2,39** (0,50)	1,21 (0,75)	3,49 (0,32)	0,56 (0,97)	0,90 (0,83)	13,42 (0,01)
5	19,48*** (0,00)	3,46 (0,48)	6,33 (0,18)	3,58 (0,47)	1,78 (0,78)	7,69 (0,10)

\* El valor tabulado para dos grados de libertad es de 4,60517 al 10% de significación.

\*\* El valor en tablas para tres grados de libertad es de 6,25139 al 10% de significación.

\*\*\* El valor tabulado para cuatro grados de libertad es de 7,77944 al 10% de significación.

A raíz de los resultados de la tabla, se deduce que la tecnología extranjera se comporta como un factor que contribuye a predecir o explicar los niveles futuros de la PTF, dado que la probabilidad de rechazar la hipótesis nula, para un modelo de 5

retardos, es del 100 % ( $p=0$ ), y el valor calculado del estadístico de contraste es superior al tabulado ( $19,48 > 7,78$ ), a un nivel de significación del 10 %.

Sin embargo, en el caso de la variable tamaño de la explotación, no resulta posible rechazar la hipótesis de igualdad a cero de los coeficientes, para cualquiera de los modelos de retardos considerados, al no ser suficientemente elevados los valores de la  $\chi^2$  calculada en relación a los valores de tablas al 10% de significación. También se aprecia una probabilidad muy baja de rechazar la no causalidad ( $1-p$  toma valores entre el 24 para un modelo con 3 retardos y el 52% para un modelo con 5 retardos).

Tampoco parecen explicar a corto plazo a las variaciones de la PTF las variables retardadas de capital humano, subvenciones públicas y actividades de extensión. Para ésta última variable, la causalidad en el sentido de Granger no se puede aceptar en ningún caso, ya que los valores del estadístico (en torno al 1) se alejan mucho de los tabulados, dando una probabilidad de rechazo de la hipótesis de no causalidad ( $1-p$ ) muy baja, entre el 17% y el 36%. Sin embargo, para el capital humano y las subvenciones públicas, aunque tampoco se puede aceptar la existencia de una relación de causalidad al 90% de probabilidad, es posible a una probabilidad algo inferior. Así, para un modelo con 5 retardos, se puede rechazar la no existencia de causalidad entre la PTF y el capital humano a un 82% de probabilidad ( $1-p = 1 - 0,18 = 0,82$ ). Mientras que para que se acepte que los retardos de las subvenciones públicas inciden en las variaciones de la productividad a corto plazo, sería necesario disminuir la probabilidad a un 73% ( $1-p = 1 - 0,27 = 0,73$  para un modelo con 3 retardos).

Por último, parece existir una relación de causalidad entre la relación real de intercambio y la PTF. Ya que el estadístico calculado supera al tabulado, para la especificación del modelo con tres y cuatro retardos ( $8,56 > 4,61$ , y  $13,42 > 6,25$ , respectivamente), por tanto, se rechaza  $H_0$  con una probabilidad  $1-p$ , muy elevada, del 99%.

Es posible que añadiendo más de una variable independiente en el análisis de la causalidad, se pueda reforzar la hipótesis de causalidad en el sentido de Granger. A continuación se presentan algunas estimaciones de pares de variables que refuerzan los resultados reseñados anteriormente. Así, utilizando las variables con tres retardos, la I + D de las universidades y la de las empresas contribuyen conjuntamente a explicar la PTF, obteniéndose unos valores del estadístico calculado de 10,59 para la universidad y de 9,025 para las empresas, y unas probabilidades respectivamente del 0,005 y 0,03.

También queda confirmada la importancia causal de la tecnología extranjera, cuando se incluye en el análisis la I + D total, de nuevo utilizando tres retardos se obtiene un valor del estadística calculado de 6,553 y una probabilidad de rechazo de la hipótesis nula de 0,038. El mismo efecto tiene incluir la I + D como variable independiente en el análisis de la causalidad del tamaño de las explotaciones, permite obtener un estadístico más alto, 7,857 (siendo  $P=0,019$ ), y en el contraste de causalidad de la relación real de intercambio (LPA), esto es, se refuerza como causa de la PTF, al obtenerse un estadístico con valor 8,78 y una probabilidad de rechazo de 0,012.

Se pueden extraer algunas conclusiones importantes a partir de estos resultados. En concreto, resulta de gran interés resaltar la relación de causalidad a corto plazo entre la «difusión» de tecnología extranjera y la productividad agraria en España. Esta relación de causalidad, a nuestro juicio, lejos de eliminar la influencia que haya podido ejercer la investigación nacional, complementa a este factor de crecimiento, y en cierta medida, permite explicar los resultados más débiles obtenidos en relación al efecto de la I + D nacional sobre las variaciones de la productividad agraria.

El nivel de vida de los agricultores en relación a otro tipo de actividades económicas, ha sido medido a través de la relación real de intercambio, esto es, la razón entre los precios pagados y los precios percibidos por el agricultor. Al igual que con la variable de tecnología extranjera, existe evidencia de relaciones de causalidad en el sentido de Granger entre la relación real de intercambio y la PTF. En este sentido, se puede decir que la disminución en los precios percibidos por el agricultor de años anteriores contribuyen a explicar el menor crecimiento de la PTF observada en los últimos años del período considerado.

Aparentemente, la relación de causalidad, en el sentido de Granger, entre el tamaño de las explotaciones agrarias y la productividad no se puede establecer, aunque se refuerza la relación cuando se incluye la I + D en el análisis.

La importancia de la educación general en materias agrarias, medida a través de los técnicos e ingenieros graduados en Escuelas de ingeniería, completa el análisis de relaciones de causalidad de otras variables con la productividad agraria. El capital humano parece tener una relación de causalidad, aunque tenue, con respecto a la PTF.

Entre los factores relacionados con los ingresos de los agricultores, las subvenciones directas a los agricultores y ganaderos, por parte del gobierno, no parecen mantener una relación clara de causalidad con la productividad agraria. Los programas de inversiones en los subsectores agrícola y ganadero llevados a cabo en años recientes no contribuyen a explicar las variaciones en la productividad del sector a corto plazo.

La extensión pública, como actividad de difusión de los nuevos conocimientos y tecnologías al agricultor, no ha seguido una evolución en el pasado que permita explicar las variaciones que se han producido o que se puedan producir en la PTF. Es posible que la función de difusión al agricultor la estén asumiendo en la actualidad las empresas privadas de inputs de producción, y por tanto, que no sea la variable elegida la más adecuada para caracterizar la extensión.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se analizan las relaciones de causalidad en el sentido de Granger entre la PTF y los gastos en I + D del sector agrario en nuestro país. Para ello se aplican

los test de Wald modificados por Dolado y Lutkepohl (1994), que permiten contrastar la causalidad sin necesidad de asumir previamente co-integración entre las mismas. Teniendo en cuenta los distintos sectores ejecutores de la investigación es posible observar diferencias en cuanto a los resultados. Así la aplicación de los test de causalidad entre pares de variables, permite observar causalidad entre la I + D de los sectores universidades y privado y la PTF, pero no se puede aceptar que la I + D del sector público sea causa en el sentido de Granger de las variaciones de la PTF. Tampoco se aprecia relación de causalidad en sentido inverso.

Por consiguiente, los recientes esfuerzos de la política científica española por incentivar al sector privado a incorporarse cada vez más a las actuaciones en materia de investigación agraria, tradicionalmente una actividad de centros públicos, podría tener resultados favorables para el sector agrario en el futuro. Por el contrario, la no existencia de relaciones de causalidad entre los gastos en I + D pública y la PTF sugiere la falta de conexión a corto plazo entre el sector productivo y las actividades de I + D, cuestiona el trasvase de fondos públicos de I + D a las ciencias agrarias en favor de otro tipo de actividades, y facilita la posibilidad de suplir con importación de tecnología extranjera la falta de iniciativa interior, aún a costa de la pérdida de especificidad geográfica de la investigación de nuestra agricultura y ganadería.

El estudio de otros factores que pueden estar incidiendo en la PTF del sector agrario permite identificar como causa de Granger de la PTF agraria a corto plazo al potencial de tecnología extranjera, el capital humano y la relación real de intercambio. El primero de ellos nos advierte de los peligros de la dependencia de la tecnología extranjera, especialmente, en aquellas etapas en donde los países de nuestro entorno no estén destinando suficientes recursos. Ello podría explicar la ralentización del crecimiento en la PTF de los últimos años acorde con un modelo de cambio tecnológico agotado, basado en la importación de tecnología extranjera. Por otra parte, el capital humano como causa de la PTF revela la mejora en la formación de los agricultores como requisito para la adopción de nuevos conocimientos e invenciones. Por último, a corto plazo parece existir una relación de las políticas de precios, medida a través de la relación real de intercambio, con los avances o retrocesos en la PTF.

## Bibliografía

- BANERJEE, A., DOLADO, J., GALBRAITH, J.W. y HENDRY D.F. (1993): *Co-integration, Error-correction, and the Econometric Analysis of Non-Stationary Data*, NewYork, Oxford University Press.
- DOLADO, J. y LÜTKEPOHL, H.: (1996). Making Wald Tests Work for Cointegrated VAR Systems. *Econometric Review*, 15 (4) pp. 369-386.

- FERNÁNDEZ, M.C., HERRUZO, A.C. y EVENSON, R.E. (1995): Measurement of Total Factor Productivity in Spanish Agriculture: 1962-1989, *Oxford Agrarian Studies*, 23 (1) pp. 65-71.
- GRANGER, C.W.J. (1969): Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectra Methods, *Econometrica*, 37 pp. 371-386.
- GRANGER, C.W.J. y NEWBOLD, P. (1974): Spurious Regressions in Econometrics, *Journal of Econometrics*, 2 pp. 111-120.
- GRANGER, C.W.J. (1988): Some Recent Development in a Concept of Causality, *Journal of Econometrics*, 39 pp. 199-211.
- GRILICHES, Z. (1979): Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth, *Bell Journal of Economics*, 10 (1) pp. 92-116.
- HALL, ROBERT E., JACK JOHNSTON y DAVID M.LILIEN (1990): Micro TSP User's Manual. Version 7.0. Irvine, California.
- HALLAN D. (1990): Agricultural Research Expenditures and Agricultural Productivity Change, *Journal of Agricultural Economics*, 41 pp. 434-439.
- HUFFMAN, W. E. y EVENSON, R.E. (1993): *Science for Agriculture*. (Ames, Iowa, State University Press).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). (1978-1989): *Estadística sobre las actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico*. (Madrid).
- MAKKI, S.S., TWEETEN, L.G. y THRAEN, C.S. (1993): Measuring Returns to Agricultural Research: Is Co-integration a Better Approach? Mimeo. Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, The Ohio State University, Columbus.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA y OCDE. (1966): *La investigación científica y técnica y sus necesidades en relación al desarrollo económico de España*. (Madrid).
- PARDEY, G.P. y CRAIG, B.(1989): Causal Relationships between Public Sector Agricultural Research Expenditures and Output. *American Journal of Agricultural Economics*. 71 pp. 9-19.
- PHILLIPS, P.C.B. (1986): Understanding Spurious Regressions in Econometrics, *Journal of Econometrics*, 33 pp. 311-340.
- SARKER, RAKHAL, (1995): Causality Analysis in Agricultural Economics: a Review of Theoretical and Empirical Analysis. *Cashiers d'économie et sociologie rurales*. 34-35 pp.6-46.
- SCHIMMELPFENNIG D. y THRITLE, C. (1994): Cointegration, and Causality: Exploring the Relationship between Agricultural R&D and Productivity, *Journal of Agricultural Economics*, 45 pp. 220-231.

- THRIRTLE, C. y P. BOTTOMLEY. (1988): "Is Publicly Funded Agricultural Research Excessive?". *Journal of Agricultural Economics*. Vol 39(1), pp.99-111.
- THIRTLE, C., V. ELTON BALL, J. BUREAU y R. TOWNSEND. (1995): Accounting for Productivity in European Agriculture: Co-integration, Multilateral TFPs and R&D Spillovers. IN: *Agricultural Competitiveness, Market Forces and Policy Choice*. Proceedings of the twenty-second international conference of agricultural economics. Harare, Zimbabwe, 22-29 August 1994, (Ed. G. Peters. IAAE. University of Oxford. Dartmouth).
- TODA, H.Y. y PHILLIPS, C.B. (1993): Vector Autoregressions and Causality, *Econometrica*, 61 pp. 1367-1393.
- ZAPATA, HECTOR O. y JOSÉ M. GIL. (1999): "Cointegration and Causality in International Agricultural Economics Research". *Agricultural Economics*, 20, pp. 1-9.
- ZELLNER, A.. (1988): "Causality and Causal Laws in Economics". *Journal of Econometrics*, 39 1, pp. 7-21.