

CRECIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD E INVERSIÓN EN I+D: UN ANÁLISIS EMPÍRICO DE LAS EMPRESAS MANUFACTURERAS ESPAÑOLAS

.....
JORGE JULIO MATÉ

JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ (*)

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
Universidad de Valladolid

MUCHOS ESTUDIOS SE HAN REALIZADO SOBRE LA RELACIÓN ENTRE PROGRESO TECNOLÓGICO Y CRECIMIENTO DESDE QUE SOLOW (1957) PUBLICÓ UN TRABAJO PIONERO EN ESTE CAMPO. LA DIFICULTAD DE MEDIR ADECUADAMENTE EL AVANCE

99

tecnológico ha llevado a los economistas a centrarse en el análisis de los gastos en I+D. Estos gastos contribuyen a las mejoras tecnológicas, por lo que la inversión en I+D se considera que tiene un impacto relevante sobre el crecimiento de la productividad.

El análisis empírico de la relación entre I+D y productividad se lleva a cabo habitualmente a partir de la estimación de una función de producción en la que se incluye como variable explicativa el capital tec-

nológico. En su *modelo del capital tecnológico*, Griliches (1979) sostiene que en la función de producción, además de los factores productivos habituales, existe otro factor productivo diferenciado que puede denominarse capital de investigación, capital tecnológico o «capital I+D».

Pues bien, en el presente artículo se estudia la relación entre el crecimiento de la productividad del trabajo y la inversión en este tipo de capital para el sector manufacture-

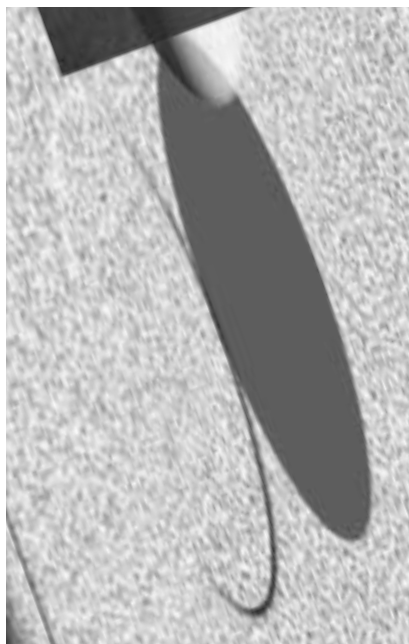
ro español, utilizando microdatos procedentes de la Encuesta sobre Estrategias Empresariales elaborada por la Fundación Empresa Pública desde el año 1990. La utilización de datos de panel permite disponer de un gran número de observaciones, lo que supone una ventaja sobre las publicaciones que utilizan datos sectoriales.

Hasta ahora, los trabajos realizados en España acerca de la relación entre productividad y gasto en I+D han estimado fundamentalmente

funciones de producción. Partiendo de estas funciones, determinan la elasticidad de la producción respecto al capital tecnológico. El problema subyacente es que los análisis de este tipo requieren datos sobre el *stock* de capital de inversión, los cuales no están disponibles. Por este motivo es preciso realizar una estimación del *stock* de capital tecnológico. Habitualmente se utiliza el método del inventario perpetuo. Es decir, el capital de cada período se halla a partir del capital del período anterior menos la depreciación y más la inversión de ese capital en el período. Este procedimiento requiere hacer hipótesis sobre el valor de la tasa de depreciación del capital y tomar un valor inicial de dicho capital (1).

Ahora bien, estos problemas pueden evitarse si lo que se estima es alguna transformación de la función de producción que únicamente requiera conocer los gastos en I+D en cada período. Esto es lo que se pretende hacer en este trabajo. Ello implica un cierto grado de novedad con respecto a investigaciones anteriores realizadas para la industria española, pues, en lugar de estimar funciones de producción en las que el capital de investigación es un factor más, se relaciona directamente el crecimiento de la productividad con la intensidad del gasto en I+D o esfuerzo tecnológico (es decir, con una variable flujo).

Hasta donde conocemos, no existen trabajos en esta línea llevados a cabo con datos españoles, si bien la relación entre productividad e I+D ha sido analizada en España por Lafuente y otros (1986), Fluvía (1990), Grandón y Rodríguez Romero (1991), García y otros (1998), López Pueyo y Sanaú Villarroja (1998) y Beneito (2001), entre otros. La característica común de estos trabajos es que parten de la especificación de una función de producción y se centran en la estimación de la elasticidad del capital I+D en la industria. Sin embargo,



en el presente artículo se va a utilizar una transformación de la función de producción para evitar la utilización del *stock* de capital tecnológico como variable explicativa. En su lugar, se hará uso de la inversión en capital I+D, y el objetivo de la estimación se centrará en determinar la tasa de rendimiento del mencionado capital, en lugar de su elasticidad.

Estudios que intentan estimar la tasa de rendimiento de los gastos en I+D a partir de datos de empresas individuales son frecuentes en otros países. A continuación se hace referencia a algunos de los más relevantes.

Griliches y Mairesse (1983) analizan la influencia de los gastos en I+D sobre la productividad a partir de datos individuales para Estados Unidos y Francia, entre 1973 y 1978. Por su parte, Clark y Griliches (1984) presentan los resultados de un estudio sobre el crecimiento de la productividad y los gastos en I+D durante el período 1970-1980. Los datos muestrales comprenden 924 empresas manufactureras norteamericanas. En el trabajo de Lichtenberg y Siegel (1991) se utilizan datos de panel

para examinar la relación entre I+D y crecimiento de la productividad en la industria estadounidense en el período 1972-1985. Recientemente, Bessen (2000) parte de una muestra de 471 empresas norteamericanas entre 1983 y 1989 para obtener resultados sobre la relación entre productividad y gastos en I+D, si bien el objetivo fundamental de su investigación es medir los costes que para las empresas supone adoptar la tecnología derivada de los gastos en I+D realizados.

En lo que respecta a Japón, Odagiri e Iwata (1986) estiman el impacto de los gastos en I+D sobre la tasa de crecimiento de la productividad, utilizando datos de empresas individuales en dos períodos distintos: desde 1966 hasta 1973 y desde 1974 hasta 1982. Fecher (1990) analiza la influencia de los gastos en I+D sobre la productividad, a partir de datos individuales de empresas belgas, entre 1981 y 1983. En cuanto a Francia, Hall y Mairesse (1995) actualizan resultados propios de trabajos anteriores referidos a la relación entre productividad e I+D en la economía francesa. El período muestral comprende desde 1980 hasta 1987 y cuentan con información de 351 empresas individuales. En el Reino Unido, Wakelin (2001) analiza la relación entre crecimiento de la productividad e intensidad en el gasto en I+D usando información proporcionada por 170 empresas británicas durante los años 1988-1996. Por último, para Italia, Parisi y otros (2002) presentan evidencia empírica del efecto sobre la productividad de las innovaciones en el proceso productivo, por un lado, y de las innovaciones en el producto, por otro. Asimismo, estudian el efecto de la inversión en I+D sobre la probabilidad de realizar innovaciones. La información procede de 941 empresas italianas y se refiere a 1992-1997.

Las estimaciones de la tasa de rendimiento que proporcionan estos

trabajos son dispares. Los resultados dependen del modo en que se miden las diferentes variables incluidas en las estimaciones y de las fuentes de datos utilizadas. Más adelante se compararán, en la medida de lo posible, los resultados obtenidos aquí para el caso español con estimaciones similares para otros países.

La estructura del artículo es la siguiente. En el primer apartado se describe el modelo teórico utilizado. En el segundo se realiza una descripción de los datos, variables y metodología empírica manejados en el análisis econométrico. En el tercer apartado se exponen y comentan los resultados de las estimaciones efectuadas para el sector manufacturero español. El último apartado resume el trabajo y subraya las conclusiones más importantes.

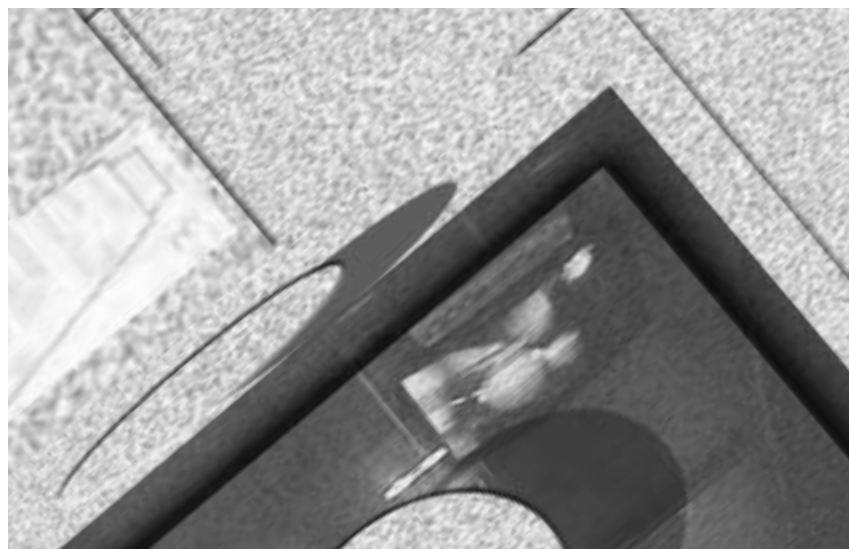
EL MODELO TEÓRICO

El análisis empírico de la relación entre productividad y gastos en I+D se basa, fundamentalmente, en el modelo de Griliches (1979). Este modelo incluye el capital de investigación o capital I+D como un factor de producción adicional, junto con los factores productivos habituales: capital físico, trabajo, materias primas y energía.

En este artículo, el punto de partida para la construcción del modelo es una función de producción Cobb-Douglas con tres factores productivos:

$$Q_{it} = A e^{\lambda t} C_{it}^{\alpha} L_{it}^{\beta} K_{it}^{\gamma} e^{\mu_i} e^{\varepsilon_{it}} \quad [I]$$

donde los subíndices i y t denotan, respectivamente, la empresa y el período (se refiere generalmente al año); Q es una medida del *output* (habitualmente, ventas o valor añadido); L representa el factor trabajo (generalmente, el número de empleados); C y K miden el *stock* de



capital físico y de investigación, respectivamente; A es una constante; α , β y γ son las correspondientes elasticidades de la producción con respecto al capital físico, el trabajo y el capital I+D, respectivamente; λ es la tasa de cambio técnico no incorporado (cambios exógenos en la tecnología productiva a lo largo del tiempo que provocan variaciones en la tasa de crecimiento de la productividad que son comunes a todas las empresas); μ representa un efecto inobservado específico de cada empresa y constante a lo largo del tiempo; ε es un término de error aleatorio.

El uso de una función Cobb-Douglas con separabilidad en el factor I+D permite estimarla como un modelo lineal, bien en niveles —si se realiza una transformación logarítmica— o bien en primeras diferencias, lo que da lugar, en cada caso, a las ecuaciones siguientes:

$$q_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} + \beta l_{it} + \gamma k_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad [Ia]$$

$$\Delta q_{it} = \lambda + \alpha \Delta c_{it} + \beta \Delta l_{it} + \gamma \Delta k_{it} + \Delta \varepsilon_{it} \quad [Ib]$$

donde las letras minúsculas denotan el logaritmo de la variable co-

respondiente y Δ representa la primera diferencia de la variable pertinente. Los efectos específicos de empresa, μ_i , se eliminan al tomar primeras diferencias.

El principal inconveniente de una especificación de este tipo es la necesidad de contar con una medida apropiada del *stock* de capital I+D. Para evitar este problema, se pueden realizar algunas transformaciones en la función Cobb-Douglas. Supóngase que la función de producción presenta rendimientos constantes a escala con respecto a los *inputs* estándar ($\alpha + \beta + \gamma = 1$). Si en la expresión [Ia] se resta el logaritmo del trabajo en ambos lados de la igualdad, se obtiene la siguiente ecuación:

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} + \beta l_{it} + \gamma k_{it} - l_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

donde $\beta = 1 - \alpha - \gamma$. Sustituyendo este valor de β , realizando operaciones y reordenando términos, se tienen los siguientes resultados:

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} + l_{it} - \alpha l_{it} - \gamma l_{it} + \gamma k_{it} - l_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha(c_{it} - l_{it}) + \gamma(k_{it} - l_{it}) + \mu_i + \varepsilon_{it}$$

Tomando primeras diferencias en esta expresión se obtiene:

$$\Delta (q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta (c - l)_{it} + \gamma \Delta (k - l)_{it} + \eta_{it} \quad [\text{IIa}]$$

donde $\eta_{it} = \Delta \varepsilon_{it}$; $\Delta(q - l)$ es la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo; $\Delta(k - l)$ es la tasa de crecimiento de la relación capital tecnológico-trabajo; y $\Delta(c - l)$ es la tasa de crecimiento de la relación capital-trabajo.

Ya se ha apuntado anteriormente que γ es la elasticidad de la producción con respecto al capital I+D, por lo que se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\gamma = (\partial Q / \partial K)_{it} (K / Q)_{it} \quad [\text{IIIa}]$$

Por otra parte, la tasa de crecimiento de ese tipo de capital se calcula mediante la expresión:

$$\Delta k_{it} = (\partial K / K)_{it} \quad [\text{IIIb}]$$

A partir de las expresiones [IIIa] y [IIIb], llamando ϑ a la productividad marginal del capital de investigación —es decir, $\vartheta = (\partial Q / \partial K)_{it}$ — y R_{it} al gasto o inversión en I+D de la empresa i en el año t (2), se tiene el siguiente resultado:

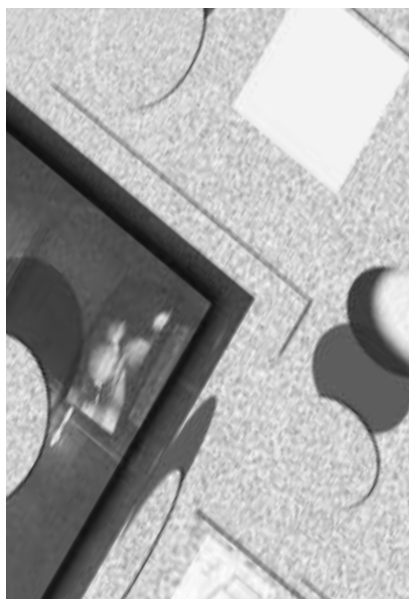
$$\gamma \Delta k_{it} = (\partial Q / \partial K)_{it} (K / Q)_{it} (\partial K / K)_{it} = \vartheta (R / Q)_{it} \quad [\text{IV}]$$

donde el cociente R/Q es la intensidad del gasto en I+D o esfuerzo tecnológico.

Teniendo en cuenta [IV] y que $\gamma = 1 - \alpha - \beta$, el término $\gamma \Delta (k - l)_{it}$ de la expresión [IIa] puede reescribirse del modo siguiente:

$$\begin{aligned} \gamma \Delta (k - l)_{it} &= \gamma \Delta k_{it} - \\ &= (1 - \alpha - \beta) \Delta l_{it} = \vartheta (R / Q)_{it} - \\ &= (1 - \alpha - \beta) \Delta l_{it} \end{aligned}$$

La ecuación [IIa] se convierte, entonces, en una nueva ecuación:



$$\Delta (q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta (c - l)_{it} + \vartheta (R / Q)_{it} - (1 - \alpha - \beta) \Delta l_{it} + \eta_{it}$$

Operando:

$$\Delta (q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta c_{it} - \alpha \Delta l_{it} + \vartheta (R / Q)_{it} - \Delta l_{it} + \alpha \Delta l_{it} + \beta \Delta l_{it} + \eta_{it}$$

$$\Delta (q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta c_{it} + (\beta - 1) \Delta l_{it} + \vartheta (R / Q)_{it} + \eta_{it}$$

Recordando que $\beta - 1 = -\alpha - \gamma$, esta expresión se convierte en:

$$\Delta (q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta (c - l)_{it} - \gamma \Delta l_{it} + \vartheta (R / Q)_{it} + \eta_{it} \quad [\text{IIb}]$$

en la cual se utilizan para la estimación datos del gasto en I+D, en lugar el *stock* de capital I+D. Si se supone que el mercado funciona bajo condiciones competitivas, ϑ puede interpretarse como la tasa de rendimiento de los gastos en I+D (3). Es preciso, no obstante, realizar algunas precisiones sobre esta tasa.

En primer lugar, dicha tasa es una tasa de rendimiento *bruta*. Para obtener la tasa *neta* se debería sustraer la (desconocida) tasa de depreciación del capital I+D (4). No obs-

tante, Mairesse y Sassenou (1991) demuestran que si la tasa de depreciación del capital I+D es pequeña en relación con la tasa de crecimiento de los gastos en I+D, las estimaciones de ϑ están muy cerca de su verdadero valor, aunque no se haga distinción entre tasa bruta y neta.

En segundo lugar, algunos autores (5) consideran que para conocer la verdadera tasa de rendimiento de las inversiones en I+D deben tenerse en cuenta los *costes* de adoptar la nueva tecnología. Si cada unidad monetaria gastada en I+D requiere, por ejemplo, de otra unidad monetaria adicional para implantar la tecnología, entonces el rendimiento de la inversión es sólo la mitad de la que se estimaría en un principio.

Por último, hay que distinguir entre una tasa de rendimiento *privada* y una de rendimiento *social*, porque la incompleta apropiabilidad de los efectos de la investigación hace que el rendimiento privado no coincida con el rendimiento social de la actividad. El conjunto de la economía se enriquece con las externalidades positivas que genera la inversión en I+D de las empresas particulares (efecto *spillover*) (6). Así, por ejemplo, el conocimiento puede transferirse mediante revistas científicas y sería aprovechado por otras muchas empresas; la cualificación adquirida por el personal de investigación de algunas empresas no puede evitarse que se transmita a otras cuando hay movilidad de la mano de obra, etc. Si en las estimaciones se tiene en cuenta este efecto *spillover*, sería posible, en principio, estimar por separado la tasa de rendimiento privada y la tasa de rendimiento social. Si no se considera por separado dicho efecto, las estimaciones basadas en datos individuales de empresas pueden estar reflejando —en un grado incierto— tanto la tasa de rendimiento social como la privada (7).

La estimación de la ecuación [IIb], que permite aproximar el valor de la tasa de rendimiento del capital

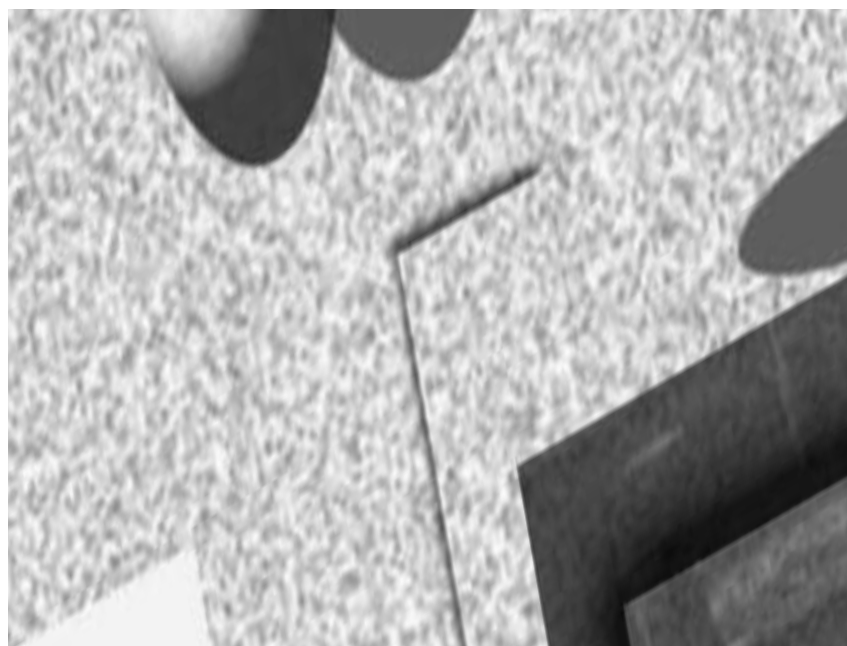
tecnológico, ϑ , constituye el principal objetivo de este artículo. Con esta especificación, que no tiene en cuenta el efecto *spillover*, se obtiene una tasa de rendimiento bruta y no se consideran los costes de adopción de la nueva tecnología.

FUENTES ESTADÍSTICAS, DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES Y METODOLOGÍA EMPÍRICA

La estimación de la ecuación propuesta se lleva a cabo, fundamentalmente, a partir de los datos que suministra la encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE), elaborada por la Fundación Empresa Pública. Esta encuesta comprende un panel de empresas representativo de la industria manufacturera española, clasificadas en 18 sectores (quedan excluidas las actividades industriales relacionadas con la energía y las extractivas) (8). La población de referencia de la ESEE son las empresas con 10 o más trabajadores. Los datos son anuales. La encuesta se efectúa ininterrumpidamente desde el año 1990, aunque con algunas modificaciones en las preguntas, sobre todo en sus primeros años de realización.

A continuación se describen las variables que se utilizan en la especificación econométrica del modelo [IIb].

La variable dependiente es la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo. En el numerador de esta productividad, como medida del *output* (Q), se utiliza el valor añadido real (deflactado por el Índice de Precios Industriales sectorial al nivel de dos dígitos publicado por el Instituto Nacional de Estadística). En el denominador, la variable de empleo (L) se define como el número de trabajadores que, en promedio, ha tenido la empresa durante el año correspondiente (9).



Esta variable de empleo incluye a todo tipo de trabajadores (los que trabajan en actividades de I+D y el resto), lo cual implica un problema de doble contabilización, que también afecta a otras variables, como apuntan Mairesse y Hall (1996). De acuerdo con estos autores, las cifras que se consideran para el valor añadido, el capital físico y el empleo deberían ser corregidas, respectivamente, con el coste de las materias primas para I+D, el capital físico utilizado en los laboratorios de I+D y el personal empleado en actividades de I+D, puesto que estos *inputs* ya están contabilizados en la partida de gastos en I+D.

No obstante, se carece de información para realizar estos ajustes, con la excepción de la variable empleo. La ESEE proporciona detalles sobre el número de empleados en I+D, por lo que, en principio, sería posible restar del número total de empleados la cifra de trabajadores dedicados a actividades de investigación y desarrollo. Sin embargo, la información sobre la variable de empleo en I+D sólo es proporcionada por las empresas cada cuatro años. En consecuencia, se ha optado por utilizar directamente la variable de personal medio total. A

pesar de no llevarse a cabo el ajuste de la doble contabilización, las estimaciones obtenidas para la tasa de rendimiento de los gastos en I+D pueden considerarse razonables (10).

La variable independiente $\Delta(c - I)$ de la ecuación [IIb] representa la tasa de crecimiento de la relación capital físico-trabajo. Para medir el *stock* de capital físico en términos reales (C), se ha utilizado el valor bruto del inmovilizado material ajustado por el deflactor de los bienes de equipo. Este deflactor lo proporciona el Instituto Nacional de Estadística, dentro de los Índices de Precios Industriales. En cuanto a la variable trabajo, se mide del modo indicado anteriormente (número medio total de trabajadores).

Por su parte, R/Q , esto es, el esfuerzo tecnológico o intensidad del gasto en I+D, constituye la variable explicativa más interesante para el objetivo de este trabajo. Se define como el porcentaje que los gastos totales en I+D durante el ejercicio en términos reales (variable R) (11), representan sobre el valor añadido real de la empresa (variable Q).

Por último, en las estimaciones econométricas se han incluido algunas variables que no figuran explícitamente en la ecuación [IIb]. Por un lado, la especificación representada por tal ecuación se basa, fundamentalmente, en una perspectiva de largo plazo, al considerar como condicionantes de la productividad, entre otros, a los gastos en I+D y al cambio técnico no incorporado. Ahora bien, es preciso controlar también fenómenos a corto plazo asociados con fluctuaciones en la demanda y los consiguientes cambios en la capacidad de producción utilizada.

Una forma de incorporar estos factores al modelo es suponer que el crecimiento de la productividad tiene un componente de largo plazo y otro de corto plazo. El componente de corto plazo estaría representado en el modelo por la tasa de variación de la capacidad utilizada ($\Delta \ln CU = \Delta cu$) (12), ya que, en parte, las empresas afrontan las fluctuaciones temporales en la demanda modificando la intensidad de uso de su *stock* de capital físico durante el período. La ESEE proporciona información sobre esta intensidad (variable CU) (13).

Por otro lado, al realizar estimaciones utilizando la ecuación [IIb], hay que tener en cuenta que las variaciones de productividad en las empresas podrían depender de características específicas del sector productivo al que pertenecen. Por este motivo, se incluyen en el modelo variables ficticias para reflejar el sector al que pertenece cada empresa (14). Los 18 sectores utilizados en la ESEE se resumen en el recuadro 1, como ya se apuntó anteriormente.

Para estimar el modelo teórico recogido en la ecuación [2b], se requiere especificarlo convenientemente en términos econométricos. Al haber deducido el citado modelo teórico tomando primeras diferencias, los posibles efectos individuales han sido ya eliminados. Por tanto, ahora

RECUADRO 1 LOS SECTORES UTILIZADOS EN LA ESEE

Sector 1.	Metales férreos y no férreos.
Sector 2.	Productos minerales no metálicos.
Sector 3.	Productos químicos.
Sector 4.	Productos metálicos.
Sector 5.	Máquinas agrícolas e industriales.
Sector 6.	Máquinas de oficina, proceso de datos, etc.
Sector 7.	Material y accesorios eléctricos.
Sector 8.	Vehículos automóviles y motores.
Sector 9.	Otro material de transporte.
Sector 10.	Carne, preparados y conservas de carne.
Sector 11.	Productos alimenticios y tabaco.
Sector 12.	Bebidas.
Sector 13.	Textiles y vestido.
Sector 14.	Cuero, piel y calzado.
Sector 15.	Madera y muebles de madera
Sector 16.	Papel, artículos de papel e impresión.
Sector 17.	Productos de caucho y plástico.
Sector 18.	Otros productos manufacturados.

lo principal es tener en cuenta que el impacto de la inversión en I+D sobre el aumento de la productividad del trabajo suele no ser inmediato. Al mismo tiempo, tal impacto, una vez desencadenado, puede que no se circunscriba a un único período. En consecuencia, esos efectos se distribuyen en el tiempo.

Las causas de todo ello pueden ser varias. Por un lado, un determinado proyecto de I+D cabe que tenga una duración superior al año, de modo que sus efectos finales no se apreciarán hasta que el proyecto se haya desarrollado en su totalidad. Por otro lado, aunque el proyecto esté totalmente finalizado, lleva algún tiempo ponerlo en marcha y aplicarlo en el proceso productivo; presumiblemente, la innovación se irá implantando de manera gradual, para que la estructura de costes de la empresa no se vea alterada de un modo traumático. Añádase que existen procesos de aprendizaje a la hora de aplicar en

la práctica la innovación introducida, la cual seguramente será perfeccionada poco a poco en detalles específicos (15).

De ahí que, atendiendo a este comportamiento de la variable R/Q y a lo dicho en los párrafos precedentes, se ha optado por especificar económicamente la ecuación [IIb] mediante un modelo de retardos distribuidos. Hay que resaltar, no obstante, la dificultad que entraña determinar la estructura exacta de retardos con que la variable de gastos en I+D opera sobre la tasa de crecimiento de la productividad. Para conocer esa estructura con exactitud se necesitarían muchos datos (no disponibles) de la variable R/Q a lo largo del tiempo. Además, los valores de dicha variable deberían ser independientes entre los diversos períodos, lo cual no suele ser el caso: habitualmente, los gastos en I+D en un cierto período están correlacionados con los de períodos anteriores (16). En el presente trabajo se adopta la siguiente especificación econométrica de la ecuación [IIb]:

$$\begin{aligned} \Delta(c - l)_{it} &= \lambda + \alpha \Delta(c - l)_{it} - \gamma \Delta l_{it} + \\ &\vartheta_1 (R/Q)_{it-1} + \vartheta_2 (R/Q)_{it-2} + \dots \\ &\dots + \vartheta_n (R/Q)_{it-n} + \delta \Delta cu_{it} + \\ &+ \text{efecto sectorial} + \eta_{it} \end{aligned} \quad [\text{IIc}]$$

donde la variable R/Q aparece retardada para los períodos $t - 1$, $t - 2$, ..., $t - n$. El efecto sectorial es: $\omega_2 IC_2 + \omega_3 IC_3 + \dots + \omega_{18} IC_{18}$, donde las ω son parámetros y las IC representan las correspondiente variables ficticias sectoriales.

Para estimar dicho modelo [IIc] se ha aplicado el método generalizado de momentos (MGM). Es un enfoque robusto frente a la heterocedasticidad entre empresas y correlación de las perturbaciones dentro de cada empresa a lo largo del tiempo, de modo que puede ser eficiente sin introducir hipótesis muy restrictivas (17).

La muestra utilizada en la estimación del modelo procede del panel de datos de la ESEE entre 1993 y 1999. Se ha elegido este período muestral porque es el que proporciona información homogénea en relación con las variables incluidas en el modelo. Las estimaciones han sido realizadas con todas las empresas que ofrecen información acerca de esas variables. Las empresas que cumplen este requisito son 1.265, en un panel incompleto o no equilibrado, con un total de 8.444 observaciones.

La mayor parte de los trabajos que hasta ahora se han efectuado en torno a la relación entre productividad e inversión en tecnología manejan sólo los datos de las empresas que llevan a cabo este tipo de gasto al menos en un cierto número de años. Sin embargo, desde una perspectiva econométrica, parece razonable no prescindir de los datos aportados por las demás empresas de la muestra (es decir, las empresas con inversión anual en I+D siempre igual a cero). Estas últimas actúan como *grupo de control* y permiten contar con una información más completa, pues reflejan la evolución de la productividad del trabajo si no se realiza un esfuerzo de innovación tecnológica.

El cuadro 1 recoge información por sectores sobre los estadísticos descriptivos más relevantes de la muestra. Las variables que se han incluido en este cuadro son las que, fundamentalmente, serán utilizadas más adelante en la estimación del modelo econométrico; observándose en este cuadro que el esfuerzo tecnológico R/Q de la industria manufacturera española se sitúa en un promedio del 2,5%, si bien existen diferencias sustanciales entre los distintos sectores. Respecto a la productividad media del trabajo, también se perciben grandes diferencias entre sectores.

Si bien se constata cierta relación entre la productividad y el esfuerzo

CUADRO 1
ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS (1993-1999)
MEDIA (DESVIACIÓN TÍPICA) (*)

Sector	R	Q	R/Q	L	Q/L	C
1	675,34 (1.606,86)	60.685,44 (112.955,2)	0,011 (0,019)	650,71 (1.177,47)	84,23 (43,67)	246.798,3 (539.456,6)
2	231,90 (920,64)	20.449,74 (49.166,95)	0,007 (0,017)	229,50 (369,03)	61,06 (42,51)	53.250,57 (158.756,1)
3	2.111,01 (4.416,61)	33.497,79 (54.664,97)	0,067 (0,190)	345,80 (392,62)	81,17 (48,64)	70.957,27 (123.124,0)
4	206,20 (735,48)	7.701,44 (16.422,95)	0,013 (0,043)	132,50 (218,75)	50,07 (29,39)	14.727,77 (30.896,23)
5	539,02 (1.657,63)	8.194,70 (14.186,76)	0,057 (0,423)	170,51 (317,04)	52,68 (31,38)	15.222,82 (28.771,5)
6	2.930,42 (9.757,58)	51.212,68 (118.497,3)	0,020 (0,032)	377,18 (489,24)	74,46 (61,73)	38.827,85 (69.518,0)
7	2.635,29 (17.000,85)	30.210,39 (63.832,63)	0,051 (0,119)	420,09 (748,57)	63,74 (32,92)	36.117,14 (68.617,9)
8	8.005,54 (37.536,46)	67.504,68 (162.171,1)	0,058 (0,240)	1.024,18 (2.268,14)	55,70 (27,33)	199.740,1 (582.178,2)
9	11.423,71 (33.661,19)	47.335,62 (108.688,4)	0,094 (0,578)	1.054,69 (2.025,31)	40,55 (25,34)	83.033,93 (139.245,3)
10	105,27 (351,18)	10.191,74 (18.697,79)	0,004 (0,017)	202,13 (304,98)	41,93 (22,97)	15.566,63 (25.803,1)
11	216,41 (757,72)	33.932,27 (278.788,5)	0,012 (0,162)	250,84 (662,82)	49,35 (52,15)	38.808,44 (136.515,5)
12	172,86 (426,37)	38.323,63 (52.842,48)	0,011 (0,039)	335,84 (380,83)	93,06 (49,51)	84.188,39 (142.462,8)
13	100,96 (317,07)	7.314,93 (18.745,23)	0,016 (0,056)	170,67 (380,32)	37,00 (28,76)	12.923,35 (33.598,3)
14	61,00 (165,27)	1.768,96 (2.620,57)	0,026 (0,072)	54,02 (66,31)	32,43 (18,15)	1.671,61 (2.727,2)
15	10,37 (49,56)	2.470,97 (7.215,81)	0,002 (0,008)	50,85 (111,34)	32,03 (21,42)	5.417,46 (20.768,3)
16	118,99 (416,48)	13.444,92 (28.428,88)	0,007 (0,035)	183,63 (331,97)	54,91 (29,23)	38.771,32 (102.835,5)
17	289,00 (791,81)	9.827,07 (13.964,10)	0,014 (0,030)	167,22 (216,24)	49,46 (23,66)	18.258,08 (32.275,5)
18	146,29 (433,82)	6.407,40 (16.472,23)	0,017 (0,051)	106,84 (211,54)	43,83 (18,35)	12.450,80 (50.503,2)
Todas las empresas	1.204,46 (11.343,71)	21.971,6 (109.321,2)	0,025 (0,167)	286,82 (787,20)	53,65 (38,54)	47.172,29 (194.014,0)

(*) Construidos a partir de una muestra de 1.265 empresas y 8.444 observaciones.

R: Gastos en I+D en términos reales (miles de pesetas). Q: Valor añadido en términos reales (miles de pesetas). R/Q: Ratio entre gastos en I+D (en términos reales) y valor añadido (en términos reales). L: Número promedio de trabajadores durante el año. Q/L: Valor añadido real por trabajador (miles de pesetas). C: Stock de capital físico en términos reales (en miles de pesetas).

FUENTE: Elaboración propia.

tecnológico de los sectores, esa relación no es concluyente: es decir, no todos los sectores con un esfuerzo innovador por encima de la media cuentan con una productividad superior a la media. El análisis descriptivo apoya, pues, el hecho de que en la especificación econométrica del crecimiento de la productividad se incluyan otros determinantes, además de las inversiones en I+D de las empresas.

RESULTADOS EMPÍRICOS

En este apartado se presentan los resultados alcanzados en la estimación de la tasa de rendimiento del gasto en I+D, aplicando el método generalizado de momentos (MGM). Se toma como punto de partida la ecuación [IIc] del apartado anterior.

Los resultados empíricos alcanzados se recogen en el cuadro 2. Sólo se presentan los resultados del modelo con un retardo en la variable R/Q , pues los demás retardos en dicha variable resultaron no ser significativos estadísticamente (18). Las pruebas habituales permiten aceptar la hipótesis de exogeneidad para las variables $\Delta(c-l)$, Δl y Δcu , pero no para la variable R/Q . En consecuencia, esta última ha sido instrumentada. Los instrumentos utilizados en la estimación econométrica se enumeran en dicho cuadro (19).

El contraste de las restricciones de sobreidentificación se realiza mediante el estadístico J de Hansen, el cual es consistente en presencia de heterocedasticidad. El resultado de ese contraste no rechaza la validez de los instrumentos, pues se acepta la hipótesis nula con un nivel crítico de probabilidad («valor de p») de 0,15. Por otra parte, el coeficiente de la variable que representa la intensidad del gasto en I+D es estadísticamente significativo y tiene signo positivo. El resto de las variables utilizadas en la estimación son

CUADRO 2
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL MODELO EMPÍRICO
VARIABLE DEPENDIENTE: $\Delta(q-l)_t$

Variable	Coefficiente	Error estándar	z	Significación
Constante (λ)	0,01561	0,00613	2,55	0,011
$D(c-l)_t$	0,05336	0,03138	1,70	0,089
Δl_t	-0,26383	0,05998	-4,40	0,000
$(R/Q)_{t-1}$	0,22526	0,10112	2,23	0,026
Δcu_t	0,16775	0,07004	2,39	0,017
Núm. empresas	1.265	Período	1993-1999	
Estadístico J de Hansen	19,310	$[\chi^2 (14)]$	Significación	0,15343

NOTA: Método generalizado de momentos (MGM). Instrumentos utilizados: $\Delta(c-l)_t$, Δl_t , Δcu_t , $(c-l)_{t-1}$, $(c-l)_{t-2}$, $(c-l)_{t-3}$, $(c-l)_{t-4}$, l_{t-1} , l_{t-2} , l_{t-3} , l_{t-4} , $(R/Q)_{t-2}$, $(R/Q)_{t-3}$, $(R/Q)_{t-4}$, cu_{t-1} , cu_{t-2} , cu_{t-3} , cu_{t-4} . Errores estándar robustos frente a la heterocedasticidad.

FUENTE: Elaboración propia.

significativas desde el punto de vista estadístico a alguno de los niveles usuales. Según los habituales contrastes de Wald, las variables ficticias sectoriales son conjuntamente no significativas (se acepta la hipótesis nula: $\chi^2 (17) = 14,28$, «valor de p» = 0,6469) (20); y los regresores son conjuntamente significativos (se acepta la hipótesis nula: sin el término constante, $\chi^2 (4) = 47,46$, «valor de p» = 0,0000; con el término constante, $\chi^2 (4) = 59,75$, «valor de p» = 0,0000).

De acuerdo con el modelo econométrico estimado y teniendo en cuenta lo apuntado en el apartado anterior, se observa que el efecto de la inversión en I+D sobre el aumento de la productividad del trabajo (ϑ) se sitúa en torno a 0,2253. Por tanto, *ceteris paribus*, por cada unidad monetaria adicional invertida en I+D es de esperar que el *output* se incremente en 1,2253 unidades monetarias.

Respecto a la relación capital físico-trabajo, su influencia sobre el crecimiento de la productividad es positiva. El coeficiente de la variable capacidad utilizada también tiene signo positivo, de modo que la tasa de crecimiento de la productividad se ve impactada por factores relacionados con las fluctuaciones de la demanda a las que se enfrentan

las empresas. El coeficiente de la variable número de trabajadores es significativamente distinto de cero y presenta signo negativo. Ello indica que la función de producción presenta rendimientos a escala decrecientes para el capital y el trabajo (21).

También se ha estimado el modelo imponiendo la condición de rendimientos constantes a escala para el capital y el trabajo. Esta restricción no modifica muy sustancialmente los resultados empíricos, pues se obtiene una tasa de rendimiento bastante similar (0,2584). No obstante, se ha optado por presentar los resultados empíricos con la variable Δl porque cuentan con mejores propiedades econométricas.

En definitiva, el crecimiento de la productividad en la industria manufacturera española puede explicarse a partir del esfuerzo innovador de las empresas, así como por la capacidad de producción utilizada y la relación capital-trabajo, aparte de que influirán otros factores aquí no modelizados.

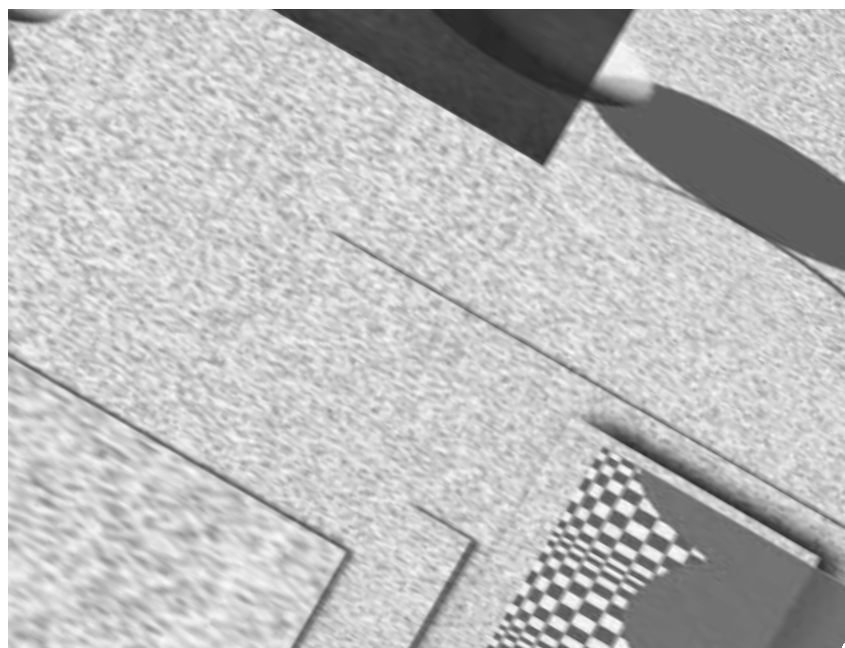
Estos resultados empíricos alcanzados para las empresas españolas pueden ser comparados con estimaciones similares realizadas en otros países. No obstante, hay que aclarar que los valores estimados

para la tasa de rendimiento del gasto en I+D (θ) se mueven en un amplio intervalo, dependiendo del modo en que se hayan definido las variables utilizadas en los análisis y de la especificación econométrica que se estime (22). Así, por ejemplo, lógicamente los resultados de las estimaciones son diferentes según que la variable de esfuerzo tecnológico se construya a partir del valor añadido o de las ventas.

Asimismo, existen diferencias según que la productividad se refiera a la productividad total de los factores o a la productividad del factor trabajo; se incluyan o no variables *dummies* representativas de cada sector; se proponga una u otra estructura de retardos, etc. Por tal motivo, los resultados obtenidos en este artículo sólo son directamente comparables, en cierta medida, con los resultados de investigaciones que han definido las variables relevantes de un modo similar.

La estimación de la tasa de rendimiento del capital tecnológico obtenida en el presente estudio se sitúa en torno al intervalo más habitual. En la mayor parte de los análisis empíricos hasta ahora efectuados las estimaciones de θ se mueven en el intervalo 0,2-0,4, siendo particularmente frecuentes los valores entre 0,2 y 0,3. Es el caso del trabajo de Griliches y Mairesse (1983) para Estados Unidos y Francia, al igual que los estudios de Griliches y Mairesse (1984), Griliches (1986), Jaffe (1986), Jones y Williams (1998) y Bessen (2000), los cinco referidos a Estados Unidos.

Lo mismo cabe decir de las estimaciones de Odagiri (1983) y Sassenou (1988) para Japón, Griliches y Mairesse (1990) para Estados Unidos y Japón, y Wakelin (2001) para el Reino Unido. No obstante, es obligado advertir que estos análisis utilizan diferentes modelos econométricos y técnicas de estimación, además de distintas formas de definir las variables relevantes.



Ciertamente, en algunos otros estudios las estimaciones de la tasa de rendimiento del capital I+D se sitúan en valores algo inferiores a los arriba mencionados. Por ejemplo, tasas de rendimiento por debajo de 0,2 aparecen en los estudios de Clark y Griliches (1984), Schankerman y Nadiri (1986), Bernstein y Nadiri (1989) y Lichtenberg y Siegel (1991), todos ellos para Estados Unidos. Lo mismo cabe decir de las investigaciones de Odagiri e Iwata (1986) para Japón y Hall y Mairesse (1995) para Francia.

Aun en el supuesto de que se comparen valores de θ obtenidos a partir de modelos cuyas variables han sido aproximadas de un modo similar, se siguen observando diferencias entre los valores estimados. Este hecho puede deberse a una serie de factores (dejando aparte, evidentemente, que en cada estudio se considera un ámbito territorial y temporal diferente). En primer lugar, existen diferencias en la calidad de los datos con que se cuenta. En segundo lugar, cada autor considera una estructura distinta de retardos para la variable R/Q; esto es importante, por cuanto los gastos en I+D de un período suelen estar correlacionados con los

de otros. En tercer lugar, algunos análisis utilizan datos del gasto en I+D financiado por empresas privadas, y otros incorporan también la inversión en I+D financiada por el sector público. Finalmente, algunos estudios incluyen el papel del efecto *spillover* en el crecimiento de la productividad.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un modelo teórico que relaciona el crecimiento de la productividad del trabajo con los gastos en I+D. Este modelo permite estimar la tasa de rendimiento del capital tecnológico a partir del flujo de gastos en I+D, sin necesidad de construir una variable del *stock* de capital de investigación.

El modelo teórico se ha especificado después mediante un modelo econométrico de retardos distribuidos en el tiempo. Las estimaciones empíricas se han basado en datos de panel procedentes de la Encuesta sobre Estrategias Empresariales para el período 1993-1999. Corresponden a empresas de 18 sectores

precia, crece en una u.m. en el período siguiente. Si la productividad marginal de este tipo de capital es θ , los ingresos aumentarán en θ u.m. en ese período futuro. Es decir, la tasa de rendimiento de la inversión en I+D es igual a θ , la productividad marginal del *stock* de capital de investigación.

(4) A modo de ejemplo, véase Hall y Mairesse (1995), donde se utiliza una tasa de depreciación del 15%.

(5) Véase Bessen (2000), a modo de ejemplo.

(6) Algunos *surveys* interesantes sobre este efecto son los realizados por Griliches (1992), Nadiri (1993) y Mairesse (1995). En España han investigado este efecto, entre otros, Fluvía (1990), López Pueyo y Sanaú Villarroya (1998) y Beneito (2001).

(7) Véase Mairesse y Sassenou (1991).

(8) Véase en el recuadro 1 la clasificación sectorial a nivel de dos dígitos utilizada por la ESEE.

(9) El personal medio total se calcula como la suma de los siguientes conceptos: personal asalariado fijo a tiempo completo, la mitad del personal asalariado fijo a tiempo parcial (ambos conceptos a 31 de diciembre) y el número medio de eventuales durante el año.

(10) Su valor, no obstante, es algo menor que el que se obtiene con los valores corregidos. Sin embargo, la diferencia entre las estimaciones con los datos sin ajustar y los ajustados se anula prácticamente si sólo se realizan correcciones en la variable de empleo y no en el resto de variables que presentan un problema similar. Véase a este respecto Hall y Mairesse (1995).

(11) Los gastos totales en I+D se refieren a los realizados con fondos privados y a los efectuados con financiación que las empresas reciben de las administraciones públicas. Se deflactan mediante el Índice de Precios Industriales agregado.

(12) Véase Clark y Griliches (1984).

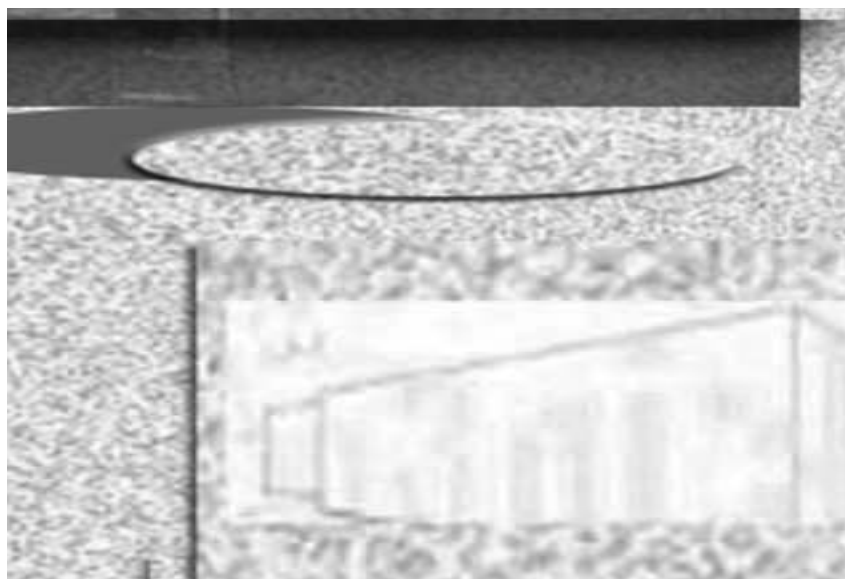
(13) Se define en la Encuesta como el porcentaje medio de utilización durante el año de la capacidad estándar de producción de la empresa.

(14) No obstante, Mairesse y Sassenou (1991) se muestran partidarios de recoger las características específicas de cada sector mediante la introducción de nuevas variables en lugar de variables ficticias.

(15) Razones econométricas aconsejan también la introducción de retardos en la variable esfuerzo tecnológico. Por un lado, debido a la correlación que puede existir entre la inversión actual en I+D y el valor añadido del período. Por otro, la presencia del valor añadido en ambos lados de la ecuación puede generar sesgos en el coeficiente de la variable de esfuerzo tecnológico. Véase a este respecto Mairesse y Hall (1996).

(16) Véanse, por ejemplo, Griliches y Lichtenberg (1984) y Rouvinen (2002).

(17) Véanse, por ejemplo, Mairesse y Hall (1996) y Wooldridge (2002, especialmente capítulos 8, 11 y 14).



(18) Esto es similar a los resultados de Clark y Griliches (1984), Hall y Mairesse (1995) y Bessen (2000), por ejemplo.

(19) Se analizaron diversos instrumentos, optando finalmente por aquellos que aportaron mejores resultados econométricos. Son semejantes a los utilizados en otros estudios, los cuales también manejan como instrumentos tres o cuatro retardos en las variables explicativas del modelo. A modo de ejemplo, véase Mairesse y Hall (1996).

(20) Odagiri e Iwata (1986) encuentran que tales variables sectoriales tienen un cierto poder explicativo en la industria japonesa. No obstante, el modelo estimado por estos autores no incluye la variable capacidad de producción utilizada, que también puede capturar el efecto de las diferentes características de cada sector y, en consecuencia, cabe que reduzca la significación de esas variables ficticias.

(21) Este resultado también ha sido obtenido por Wakelin (2001) para el Reino Unido. La autora lo atribuye a la exclusión de las materias primas y los productos intermedios en la función de producción de partida.

(22) Véase, a este respecto, Mairesse y Sassenou (1991).

(23) Véase Nadiri (1993).

(24) Véanse Mairesse y Sassenou (1991) y Hall y Mairesse (1995).

(25) Véase OCDE (2001).

BIBLIOGRAFÍA

BENEITO, P. (2001): «R&D productivity and spillovers at the firm level: Evidence from Spanish panel data», *Investigaciones Económicas*, vol. 25, pp. 289-313.

BERNSTEIN, J. I. y NADIRI, M. I. (1989): «Rates of return on physical and R&D capital and structure of the production process: Cross section and time series evidence», en Raj, B. (ed.): *Advances in econometrics and modelling*, Kluwer Academic Publishers, Londres, pp. 169-187.

BESSEN, J. (2000): *Adoption costs and the rate of return to research and development*, documento de trabajo 1/00, Research on Innovation, Wallingford (PA), disponible en <http://www.researchoninnovation.org>.

CLARK, B. y GRILICHES, Z. (1984): «Productivity growth and R&D at the business level: Results of the PIMS Data Base», en Griliches, Z. (ed.): *Patents and productivity*, University of Chicago Press, Chicago, pp. 393-416. [Reimpreso como cap. 6 en Griliches, Z. (ed.): *R&D and productivity: The econometric evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.]

FECHER, F. (1990): «Effects directs et indirects de la R&D sur la productivité: une analyse de l'industrie manufacturière belge», *Cahiers Économiques de Bruxelles*, vol. 128, pp. 459-483.

FLUVIA, M. (1990): «Capital tecnológico y externalidades: un análisis de panel», *Investigaciones Económicas*, vol. 15, suplemento, pp. 167-172.

GARCÍA, A.; JAUMANDREU, J. y RODRÍGUEZ, C. (1998): *Innovation and jobs at the firm level*, documento de trabajo núm. 9810, Fundación Empresa Pública, Madrid.

GRANDÓN, V. y RODRÍGUEZ ROMERO, L. (1991): «Capital tecnológico e incrementos de productividad en la industria española, 1975-1981», *Investigaciones Económicas*, vol. 15, suplemento, pp. 19-24.

GRILICHES, Z. (1979): «Issues in assessing the contribution of research and development

- to productivity growth», *Bell Journal of Economics*, vol. 10, pp. 92-116. [Reimpreso como cap. 2 en Griliches, Z. (ed.): *R&D and productivity: The econometric evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.]
- GRILICHES, Z. (1986): «Productivity, R&D and basic research at the firm level in the 1970s», *American Economic Review*, vol. 76, pp. 141-154. [Reimpreso como cap. 4 en Griliches, Z. (ed.): *R&D and productivity: The econometric evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.]
- GRILICHES, Z. (1992): «The search for R&D spillovers», *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 94, suplemento, pp. 29-47. [Reimpreso como cap. 11 en Griliches, Z. (ed.): *R&D and productivity: The econometric evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.]
- GRILICHES, Z. y LICHTENBERG, F. (1984): «R&D and productivity growth at the industry level: Is there still a relationship?», en Griliches, Z. (ed.): *R&D, patents and productivity*, University of Chicago Press, Chicago, pp. 465-96. [Reimpreso como cap. 9 en Griliches, Z. (ed.): *R&D and productivity: The econometric evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.]
- GRILICHES, Z. y MAIRESSE, J. (1983): «Comparing productivity growth: An exploration of French and U.S. industrial and firm data», *European Economic Review*, vol. 21, pp. 89-119. [Reimpreso como cap. 7 en Griliches, Z. (ed.): *R&D and productivity: The econometric evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.]
- GRILICHES, Z. y MAIRESSE, J. (1984): «Productivity and R&D at the firm level», en Griliches, Z. (ed.): *Patents and productivity*, University of Chicago Press, Chicago, pp. 339-374. [Reimpreso como cap. 5 en Griliches, Z. (ed.): *R&D and productivity: The econometric evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.]
- GRILICHES, Z. y MAIRESSE, J. (1990): «R&D and productivity growth: Comparing Japanese and U.S. manufacturing firms», en Hulten, C. R. (ed.): *Productivity growth in Japan and the United States*, University of Chicago Press, Chicago, pp. 317-40. [Reimpreso como cap. 8 en Griliches, Z. (ed.): *R&D and productivity: The econometric evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.]
- GRILICHES, Z. y MAIRESSE, J. (1995): *Production functions: The economic search for identification*, documento de trabajo nº 5067, NBER, Cambridge (MA).
- HALL, B. H. y MAIRESSE, J. (1995): «Exploring the relationship between R&D and productivity in French manufacturing firms», *Journal of Econometrics*, vol. 65, pp. 263-293.
- JAFFE, A. B. (1986): «Demand and supply influences in R&D intensity and productivity growth», *Review of Economics and Statistics*, vol. 70, pp. 431-437.
- JONES, C. y WILLIAMS, J. (1998): «Measuring the social return to R&D», *Quarterly Journal of Economics*, vol. 113, pp. 1119-35.
- LAFUENTE, A.; SALAS, V. y YAGÜE, M. J. (1986): *Productividad, capital tecnológico e investigación en la economía española*, Ministerio de Industria y Energía, Madrid.
- LICHTENBERG, F. R. y SIEGEL, D. (1991): «The impact of R&D investment on productivity: New evidence using linked R&D-LRD data», *Economic Inquiry*, vol. 29, pp. 203-228.
- LÓPEZ-PUEYO, C. y SANAÚ VILLARROYA, J. (1998): *Capital tecnológico y productividad en la industria española*, comunicación presentada en el I Encuentro de Economía Aplicada, Barcelona, enero.
- MAIRESSE, J. (1995): R&D productivity: A survey of the econometric literature, comunicación presentada en el CEPR Workshop on R&D Spillovers, Lausana, enero.
- MAIRESSE, J. y HALL, B. H. (1996): *Estimating the productivity of research and development: An exploration of GMM methods using data on French and United States manufacturing firms*, documento de trabajo nº 5501, NBER, Cambridge (MA).
- MAIRESSE, J. y SASSENOU, M. (1991): *R&D and productivity: A survey of econometric studies at the firm level*, documento de trabajo nº 3666, NBER, Cambridge (MA).
- NADIRI, M. I. (1993): *Innovation and technological spillovers*, documento de trabajo nº 4423, NBER, Cambridge (MA).
- OCDE (2001): *Science, technology and industrial outlook. Drivers of growth: information technology, innovation and entrepreneurship*, París.
- ODAGIRI, H. (1983): «R&D expenditures, royalty payments and sales growth in Japanese manufacturing corporations», *Journal of Industrial Economics*, vol. 32, pp. 61-71.
- ODAGIRI, H. e IWATA, H. (1986): «The impact of R&D on productivity increase in Japanese manufacturing companies», *Research Policy*, vol. 15, pp. 13-19.
- PARISI, M. L.; SCHIANTARELLI, F. y SEMBENE-LLI, A. (2002): *Productivity, innovation creation and absorption, and R&D: micro evidence for Italy*, documento de trabajo nº 526, Department of Economics, Boston College, Chestnut Hill (MA).
- ROUVINEN, P. (2002): «R&D-productivity dynamics: causality, lags, and "dry holes"», *Journal of Applied Economics*, vol. 5, pp. 123-156.
- SASSENOU, M. (1988): *Recherche-développement et productivité dans les entreprises japonaises: une étude économétrique sur données de panel*, tesis doctoral, École des Hautes Études en Sciences Sociales, París.
- SCHANKERMAN, M. y NADIRI, M. I. (1986): «A test of static equilibrium models and rates of return to quasi-fixed factors with an application to the Bell System», *Journal of Econometrics*, vol. 33, pp. 97-118.
- SOLOW, R. M. (1957): «Technical change and the aggregate production function», *Review of Economics and Statistics*, vol. 57, pp. 312-320.
- WAKELIN, K. (2001): «Productivity growth and R&D expenditure in UK manufacturing firms», *Research Policy*, vol. 30, pp. 1079-1090.
- WOOLDRIDGE, J. M. (2002): *Econometric analysis of cross section and panel data*, MIT Press, Cambridge (MA).