

J. M. RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ *

J. J. MATÉ GARCÍA *

Productividad del trabajo
y continuidad en la inversión
tecnológica: un análisis empírico
en las empresas manufactureras
españolas **

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Hipótesis y estudios empíricos previos. 3. El modelo teórico. 4. Fuentes estadísticas, definición de las variables y metodología empírica. 5. Resultados empíricos. 6. Conclusiones. Referencias bibliográficas

RESUMEN: Este artículo analiza la relación entre el crecimiento de la productividad del trabajo y la inversión en I+D en las empresas manufactureras españolas durante los pasados años noventa. El objetivo es estimar la tasa de rendimiento de los gastos en I+D. La muestra utilizada consta de microdatos de panel procedentes de la Encuesta sobre Estrategias Empresariales. Se distingue, dentro de la muestra general, una submuestra donde se incluyen solamente las empresas con una mayor continuidad en la inversión tecnológica (firmas más innovadoras). Se estudia, tanto en la muestra general como en la submuestra, el rendimiento obtenido por las empresas en su esfuerzo tecnológico, para contrastar si el hecho de realizar gastos en I+D de forma continuada genera efectos positivos crecientes sobre la productividad. La estimación econométrica aplica el método generalizado de momentos (MGM). Se confirma empíricamente que la tasa de rendimiento de la inversión tecnológica es superior en las empresas que invierten en I+D de un modo continuado.

Palabras clave: Productividad; inversión en I+D; microdatos de panel

* Universidad de Valladolid. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Avda Valle de Esgueva, 6. E-47011 Valladolid, España. E-mails: jmrodrig@eco.uva.es y jjmate@eco.uva.es. Teléfonos: 983423950 y 983184423.

** Los autores agradecen las facilidades dadas por la Fundación SEPI para acceder a los datos empíricos utilizados, así como los comentarios y sugerencias de los participantes en las V Jornadas de Economía Laboral (Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, julio 2003), VIIIth ISINI International Congress (ESC, Lille, Francia, agosto 2003) y XIX Jornadas de Economía Industrial (Universitat Jaume I, Castellón, septiembre 2003). Los resultados y conclusiones de esta investigación son exclusiva responsabilidad de sus autores.

ABSTRACT: This paper analyses the relationship between labour productivity growth and R&D investments of Spanish manufacturing firms during the 1990s. The purpose is to estimate the rate of return to R&D expenditures. The sample is constituted by microdata from an unbalanced panel of firms. We differentiate, within the general sample, a sub-sample where only the firms with a bigger continuity in their technological investment are included (most- innovative firms). The rate of return to R&D is estimated in the full sample and in the sub-sample. We verify whether the fact that a firm carries out R&D expenses with continuity generates growing positive effects upon the productivity. The econometric estimation applies the GMM method. According to the empirical results, it is confirmed that the rate of return to R&D is higher in firms that invest in R&D in a continuous way.

Key words: Productivity; R&D expenditures; firm panel data.

1. Introducción

La relación entre progreso tecnológico y crecimiento de la productividad es un tema que ha interesado a los economistas desde que Solow (1957) publicó un trabajo pionero en este campo. La dificultad de medir adecuadamente el avance tecnológico ha llevado a centrarse en el análisis de los gastos en I+D. Tales gastos contribuyen a las mejoras tecnológicas; a su vez, éstas facilitan el crecimiento de la productividad. En consecuencia la inversión en I+D se considera que tiene un impacto relevante sobre dicho crecimiento.

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 tecnológico¹. Este *input* facilita la generación de nuevas ideas en las empresas, las cuales pueden revertir en una mayor productividad.

En España, la mayor parte de los trabajos realizados acerca de la relación entre productividad y gasto en I+D han seguido esa línea de investigación. Partiendo de funciones de producción, determinan la elasticidad de la producción respecto al capital tecnológico. El problema subyacente es que los análisis de este tipo precisan datos sobre el *stock* de capital de investigación, los cuales no están disponibles. Se hace necesario, entonces, estimar ese *stock* de capital tecnológico, generalmente mediante el método del inventario perpetuo. Este procedimiento requiere hacer hipótesis sobre la tasa de depreciación del capital y partir de un valor inicial del capital tecnológico. Ahora bien, tal proceder puede soslayarse en parte 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. Para España, este último método es el seguido por Maté y Rodríguez (2002), quienes relacionan el crecimiento de la productividad con alguna medida del esfuerzo tecnológico construida a partir de la inversión en I+D (es decir, con una variable flujo). Así se estima la tasa de rendimiento del capital tecnológico, en lugar de su elasticidad.

¹ En este sentido, véase el *modelo del capital tecnológico* de Griliches (1979) que, además de los factores productivos habituales, incluye en la función de producción otro factor productivo diferenciado denominado *capital de investigación*, *capital tecnológico* o *capital I+D*.

El presente artículo utiliza el mismo punto de partida que Maté y Rodríguez (2002), pero avanza algo más en la relación entre productividad e inversión tecnológica. Se analiza específicamente si el hecho de que una empresa lleve a cabo gastos en I+D de un modo continuado genera efectos positivos crecientes sobre el rendimiento de la inversión en capital tecnológico. Por tanto, el objetivo del trabajo es doble. Por un lado, comprobar si las inversiones en I+D por parte de las empresas incrementan su productividad; y, por otro lado, verificar si al realizar esa inversión de un modo continuado se consiguen unos mejores resultados en cuanto al aumento de la productividad. Si ambas cosas resultan ciertas, se estarían sentando las bases para recomendar medidas de política económica dirigidas a incentivar la inversión privada en I+D.

A estos efectos, en las páginas que siguen se analiza el sector manufacturero español, utilizando microdatos correspondientes al período 1993-1999 y procedentes de la Encuesta sobre Estrategias Empresariales (ESEE) elaborada por la Fundación SEPI.

La estructura de la investigación es la siguiente. En el apartado segundo se resumen la hipótesis de trabajo y los estudios empíricos previos relacionados. En el tercero se describe el modelo teórico. En el cuarto se realiza una descripción de los datos, variables y metodología empírica manejados en el análisis econométrico. En el quinto apartado se exponen y comentan los resultados de las estimaciones efectuadas para el sector manufacturero español, distinguiendo como una submuestra separada la de las empresas más innovadoras. El último apartado resume el estudio y subraya las conclusiones más importantes.

2. Hipótesis y estudios empíricos previos

La utilización de datos de panel como los procedentes de la ESEE permite disponer de un gran número de observaciones, lo que supone una ventaja sobre los trabajos que se sirven de datos sectoriales. Así, por ejemplo, es posible realizar un seguimiento del comportamiento de las empresas individuales durante varios períodos. La empresa individual es la unidad de decisión relevante en relación con la inversión en I+D y, por tanto, los aspectos dinámicos se analizan mejor a este nivel. Además, el hecho de contar con muchas observaciones hace posible distinguir dentro de la muestra una submuestra donde se consideren únicamente las firmas con una mayor continuidad en la inversión tecnológica. De este modo, cabe analizar, por un lado, la muestra general, formada por las empresas que realizan gastos en I+D durante una cierta parte del período muestral; y, por otro lado, se puede estudiar una submuestra formada por las firmas que realizan ese tipo de inversión durante más tiempo que en la muestra general (sería la submuestra de las empresas más innovadoras). Así, en esta submuestra se encuadrarían las firmas con una mayor continuidad en la inversión tecnológica.

Pues bien, como hipótesis de trabajo, la tasa de rendimiento de los gastos en I+D debería ser presumiblemente superior en las empresas más persistentes en la inversión tecnológica. Varios factores podrían explicar este mayor rendimiento.

Ante todo, la inversión tecnológica genera beneficios que las empresas pueden reinvertir en I+D. La reinversión aumenta las posibilidades de desarrollar innovaciones, lo que se traduce en una mayor probabilidad de mejorar la productividad. Las empresas más perseverantes en la inversión tecnológica alcanzarán, entonces, mayores crecimientos de la productividad.

En segundo término, si la inversión tecnológica tiene éxito y se traduce en algún tipo de innovación, ésta genera un flujo de sucesivas innovaciones que se van acumulando sobre la innovación original. En este sentido, Malerba y otros (1997) apuntan que el conocimiento se va generando en un proceso de aprendizaje de naturaleza acumulativa. Cuando este proceso se interrumpe o tiene lugar de forma discontinua, el resultado final podría resentirse. En consecuencia, un proceso de aprendizaje continuado se caracterizaría por rendimientos crecientes, lo que debería implicar mayores tasas de rendimiento de la investigación en las empresas más innovadoras.

En tercer lugar, Dosi y otros (1995) demuestran a escala sectorial que un mayor grado de perseverancia en la innovación genera, *ceteris paribus*, mayores niveles de concentración en la industria, tasas de innovación superiores, mayor tamaño de las empresas que sobreviven en la industria y una menor frecuencia de entrada y salida de empresas. Todos estos efectos, presumiblemente, conducen a una mayor productividad en los sectores en que se producen dichos fenómenos, lo cual puede tener su repercusión en las empresas individuales².

En cuarto término, las empresas más innovadoras pueden contar con una cierta ventaja sobre las menos innovadoras en la captación de fondos. Las firmas que llevan a cabo inversión en I+D de un modo continuado cuentan posiblemente con una base más sólida para la consecución de fondos ajenos, lo que facilita las posibilidades de innovación aun cuando en diversos países no sea muy fácil el acceso a dichos fondos para tal finalidad.

En quinto lugar, la inversión tecnológica requiere de cierta cualificación en la mano de obra. En las empresas más innovadoras sus trabajadores y directivos muestran una mayor adaptación a las innovaciones, pues los conocimientos necesarios se adquieren mediante la experiencia³. Esta situación repercute favorablemente en el rendimiento obtenido.

Por último, las empresas más innovadoras alcanzan una estructura organizativa más adaptada a los cambios que se van produciendo como resultado de la inversión en I+D. Las empresas menos innovadoras, no tan habituadas a este tipo de inversión, tienen mayores dificultades de organización y, en consecuencia, menor rendimiento de sus gastos tecnológicos.

² Una mayor concentración de empresas puede conducir, aunque no de un modo cierto, a un mayor crecimiento de la productividad, tal y como explica Schumpeter (1943). Las empresas con mayor poder de mercado podrían tener más incentivos para invertir en I+D, dado que se enfrentan a una menor incertidumbre en el mercado y tienen unos flujos de ingresos más elevados y estables.

³ Véase Gospel (1991).

En España existen trabajos interesantes relativos a la relación entre productividad e I+D en la industria manufacturera, pero no hacen referencia expresa a la continuidad en la inversión tecnológica. Como se apuntó anteriormente, estos trabajos siguen en su mayoría la línea de investigación consistente en estimar la elasticidad del *output* con respecto al capital I+D, lo que requiere la elaboración de una serie del *stock* de este tipo de capital. Entre otros, destacan los artículos de Lafuente y otros (1986), Fluvía (1990), Grandón y Rodríguez Romero (1991)⁴, García y otros (1998)⁵, López Pueyo y Sanaú Villarroya (1998), Beneito (2001)⁶ y López Pueyo y Sanaú Villarroya (2001).

A diferencia de estos autores, Maté y Rodríguez (2002), como ya se ha señalado más arriba, utilizan una transformación de la función de producción para evitar la utilización del *stock* de capital tecnológico como variable explicativa. En su lugar, hacen uso de la inversión en capital I+D y estiman la tasa de rendimiento del mencionado capital, en vez de su elasticidad, a partir de datos de empresas individuales. Tal procedimiento es novedoso en relación con investigaciones previas referidas a la industria manufacturera española.

Ahora bien, esta línea de estudio consistente en estimar la tasa de rendimiento de la inversión tecnológica (y no la elasticidad respecto al capital I+D) a partir de datos de empresas individuales, es frecuente en otros países. En lo que sigue se hace referencia a algunos de los trabajos más relevantes al respecto, los cuales, sin embargo, no prestan expresa y especial atención a la continuidad en la inversión tecnológica⁷.

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. Únicamente consideran empresas que llevan a cabo gastos en I+D en sectores intensivos en capital tecnológico. 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. Buena parte de esas empresas son de gran tamaño y pertenecientes a sectores de carácter tecnológico, por lo que se podrían considerar como empresas más innovadoras. En el trabajo de Lichtenberg y Siegel (1991) se utilizan datos de panel para examinar la relación entre I+D y crecimiento de

⁴ Estos dos últimos trabajos utilizan una muestra de empresas procedente de la Encuesta a las Grandes Empresas Industriales elaborada por el Ministerio de Industria y Energía hasta 1981, por lo que es posible que se trate de firmas con una actividad de investigación tecnológica con un grado de continuidad superior a la media.

⁵ En este artículo se utilizan datos de la ESEE entre 1990 y 1995, por lo que muchas de las empresas incluidas realizan inversiones en I+D un número muy reducido de años y no puede hablarse de continuidad.

⁶ Este trabajo utiliza realmente una muestra de las empresas que aquí nosotros calificaremos en su momento como más innovadoras, pues incluye únicamente las que invierten en I+D al menos durante cuatro años.

⁷ Tampoco se presta atención al fenómeno de la continuidad en las investigaciones que estiman el *stock* de capital tecnológico de una empresa mediante el método del inventario perpetuo; y ello a pesar de que, cuando se construye ese *stock*, se está reconociendo indirectamente que la inversión en I+D se lleva a cabo de un modo continuado.

la productividad en la industria estadounidense en el período 1972-1985. Estos autores hallan la tasa de rendimiento de la inversión en I+D en diferentes grupos de empresas, si bien el criterio para construir tales grupos es el tamaño de las firmas y no su continuidad en la inversión tecnológica. 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, pero 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. El autor señala que las empresas de la muestra se corresponden con empresas más intensivas en I+D que la media, por lo cual, presumiblemente, se trata de entidades con un cierto grado de continuidad en su inversión tecnológica.

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. Estos autores separan las empresas en dos grupos, distinguiendo entre las que pertenecen a sectores innovadores y las que pertenecen a sectores no innovadores. Consideran un sector como innovador si es intensivo en capital de investigación, sin prestar atención a la continuidad en el esfuerzo tecnológico.

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. Todas las empresas consideradas invierten en I+D durante un buen número de años del período muestral, de modo que podrían considerarse dentro de la categoría de las más innovadoras.

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 durante el período 1988-1996. Este trabajo distingue dos muestras de empresas en algunas de sus estimaciones. Por un lado, las innovadoras y, por otro, las no innovadoras, si bien esta clasificación no guarda relación con la continuidad en la inversión tecnológica.

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, inicialmente, de 941 empresas y se refiere al período 1992-1997. Tras realizar una selección en la muestra para eliminar las empresas con datos no disponibles o inconsistentes, los autores trabajan con un panel en el que están sobrerrepresentadas las firmas de alta tecnología.

A pesar de que las muestras utilizadas por algunos de los trabajos reseñados permiten suponer que se consideran empresas con cierto grado de continuidad en el esfuerzo tecnológico, en la práctica no se realiza ninguna men-

ción especial a una submuestra de empresas más innovadoras—con el significado que tiene tal denominación en el presente artículo—para compararla, posteriormente, con una muestra general de firmas. Hasta donde conocemos, tampoco existen trabajos en España que estimen la tasa de rendimiento en las empresas manufactureras dependiendo de su continuidad en la inversión tecnológica. En consecuencia, y como ya se apuntó, la estimación del rendimiento de esta inversión en la muestra general y en la submuestra de firmas más innovadoras constituye el principal objetivo de la presente investigación.

3. El modelo teórico

El análisis empírico de la relación entre productividad e I+D se va a basar, fundamentalmente, en el modelo de Griliches (1979, 1988). Este modelo incluye el capital de investigación o capital I+D como un factor de producción adicional, junto con los factores productivos habituales.

Así, partimos de una función de producción Cobb-Douglas con tres factores productivos:

$$Q_{it} = A e^{\lambda t} C_{it}^{\alpha} L_{it}^{\beta} K_{it}^{\gamma} e^{\mu_i} e^{\varepsilon_{it}} \quad [1]$$

donde los subíndices i y t denotan, respectivamente, la empresa y el período; Q es el *output*; L representa el factor trabajo; C mide el *stock* de capital físico; K refleja el *stock* de capital de investigación; 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 capital I+D permite estimarla como un modelo lineal en primeras diferencias. Para ello se toma la ecuación [1], se realiza una transformación logarítmica y se aplican primeras diferencias, lo que da lugar a las ecuaciones siguientes:

$$q_{it} = a + \lambda t + \alpha c_{it} + \beta l_{it} + \gamma k_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad [1a]$$

$$\Delta q_{it} = 1 + \alpha \Delta c_{it} + \beta \Delta l_{it} + \gamma \Delta k_{it} + \Delta \varepsilon_{it} \quad [1b]$$

donde las letras minúsculas denotan el logaritmo de la variable correspondiente y Δ representa la primera diferencia de la variable pertinente. Los efectos específicos de empresa, μ , 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. Se supone que en esta función el parámetro de rendimientos a

escala (medido únicamente para los *inputs* tradicionales: capital físico y trabajo) difiere de la unidad en una cuantía π . Es decir, $\pi = 1 - \alpha - \beta$. Cuando en los contrastes empíricos el coeficiente π toma un valor nulo, indica la presencia de rendimientos constantes a escala para el capital y el trabajo.

Si en la expresión [1a] se resta el logaritmo del trabajo en ambos lados de la igualdad, se obtiene la siguiente ecuación:

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

Sustituyendo el valor de β por $1 - \alpha - \pi$ y realizando operaciones, se tiene el siguiente resultado:

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

Reordenando términos:

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha(c - l)_{it} + \gamma k_{it} - \pi l_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad [2a]$$

Tomando primeras diferencias en esta expresión, se llega a:

$$\Delta(q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta(c - l)_{it} + \gamma \Delta k_{it} - \pi \Delta l_{it} + \Delta \varepsilon_{it} \quad [2b]$$

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:

$$\gamma = (\partial Q / \partial K)_{it} (K/Q)_{it} \quad [3a]$$

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

$$\Delta k_{it} = (\partial K / K)_{it} \quad [3b]$$

Si se llama ϑ a la productividad marginal del capital de investigación —es decir, $\vartheta = (\partial Q / \partial K)_{it}$ —, a partir de las expresiones [3a] y [3b] se obtiene el siguiente resultado:

$$\gamma \Delta k_{it} = (\partial Q / \partial K)_{it} (K/Q)_{it} (\partial K / K)_{it} = \vartheta (R/Q)_{it} \quad [4]$$

donde R_{it} denota los gastos en I+D de la empresa i en el año t , descontando la depreciación del capital tecnológico previamente acumulado. Por tanto, R_{it} aproxima la inversión neta en capital I+D.

Llevando el resultado de la expresión [4] a la ecuación [2b], se tiene una nueva expresión:

$$\Delta(q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta(c - l)_{it} - \pi \Delta l_{it} + \vartheta (R/Q)_{it} + \eta_{it} \quad [2c]$$

En esta expresión, $\eta_{it} = \Delta \varepsilon_{it}$, $\Delta(q - l)_{it}$ es la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo; $\Delta(c - l)_{it}$ es la tasa de crecimiento de la relación capital físico-trabajo; Δl_{it} es la tasa de crecimiento del empleo; y el cociente $(R/Q)_{it}$ es la intensidad en I+D o el esfuerzo tecnológico. Nótese que para la estimación de la expresión [2c] únicamente se necesita información del gasto en I+D, en lugar del *stock* de capital tecnológico.

Si se acepta la hipótesis de que el mercado funciona bajo condiciones competitivas, ϑ se corresponde con la tasa de rendimiento de los gastos en I+D⁸. 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 *net*a se debería sustraer la (desconocida) tasa de depreciación del capital I+D⁹. En consecuencia, aunque se soslaya el problema de medir el *stock* de capital tecnológico, siguen existiendo dificultades para determinar un valor correcto de la tasa de depreciación. No obstante, 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 tasa net

En segundo término, algunos autores¹⁰ 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 tasa 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 (efectos *spillover*)¹¹, ya que el conocimiento puede transferirse y ser aprovechado por otras muchas empresas. A modo de ejemplo, 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. 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 privada¹².

⁸ Véase, a modo de ejemplo, Clark y Griliches (1984) y Griliches y Lichtenberg (1984).

⁹ Como ejemplo, véase Hall y Mairesse (1995), donde se utiliza una tasa de depreciación del 15 por ciento.

¹⁰ Véase Bessen (2000), por ejemplo.

¹¹ Algunas síntesis y artículos interesantes sobre este efecto son los realizados por Griliches (1992), Nadiri (1993), Mairesse (1995), Aiello y Cardamone (2005) y Chen y Yang (2005). En España han investigado este efecto, entre otros, Fluvía (1990); López Pueyo y Sanaú Villarroya (1998) y Beneito (2001).

¹² Véase Mairesse y Sassenou (1991).

La estimación de la ecuación [2c] para la muestra general de empresas, por un lado, y para la submuestra de las empresas más innovadoras, por otro, permitiría aproximar el valor de la tasa de rendimiento del capital tecnológico, θ , en cada categoría. Con esta especificación, que no tiene en cuenta el efecto *spillover*, se obtendría, entonces, una tasa de rendimiento bruta y no se estarían considerando los costes de adopción de la nueva tecnología.

4. 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). Esta Encuesta comprende un panel de empresas representativo de la industria manufacturera española, clasificadas en 18 sectores (quedan excluidas las industrias extractivas y las actividades relacionadas con la energía)¹³. La población de referencia de la ESEE son las empresas con 10 o más trabajadores. Los datos son anuales.

A continuación se describen las variables que se utilizan en la especificación econométrica del modelo [2c].

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, habiéndose deflactado mediante el Índice de Precios Industriales sectorial a nivel de dos dígitos publicado por el Instituto Nacional de Estadística¹⁴. En el denominador, la variable empleo (L) queda definida como el número de trabajadores que, en promedio, ha tenido la empresa durante el año correspondiente. Se calcula como la suma de los siguientes *ítems*: personal asalariado fijo a tiempo completo, $\frac{1}{2}$ del personal asalariado fijo a tiempo parcial (ambos conceptos a 31 de diciembre) y número medio de eventuales durante el año.

Esta variable 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 lo que atañe a la variable empleo. La ESEE proporciona detalles

¹³ Véase en el Apéndice 1 la clasificación sectorial a nivel de dos dígitos utilizada por la ESEE.

¹⁴ Esta aproximación del *output* mediante el valor añadido ha sido también utilizada, entre otros autores, por Odagiri e Iwata (1986), Hall y Mairesse (1995), Mairesse y Hall (1996) y Rouvinen (2002).

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 razonables¹⁵.

La variable independiente $\Delta(c - 1)$ de la ecuación [2c] 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 contable bruto del inmovilizado material ajustado por el deflactor de los bienes de equipo¹⁶. 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. La variable R se define como los gastos totales en I+D durante el ejercicio en términos reales¹⁷. La variable Q, como ya ha sido apuntado, representa el valor añadido real de la empresa.

Por último, en las estimaciones econométricas se han incluido algunas variables que no figuran de manera explícita en la ecuación [2c]. 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. Las empresas afrontan las fluctuaciones temporales en la demanda modificando la intensidad de uso de su *stock* de capital físico, lo cual tiene repercusiones sobre la productividad. Una forma de incorporar este fenómeno al modelo es añadir como variable explicativa la tasa de variación de la capacidad utilizada ($\Delta \ln CU = \Delta cu$)¹⁸. La ESEE proporciona información sobre la capacidad utilizada (variable CU)¹⁹.

¹⁵ No obstante, el valor de la tasa de rendimiento 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) o Smith y otros (2004)

¹⁶ La utilización del valor contable de los bienes de equipo en términos reales como aproximación del *stock* de capital físico es frecuente en la literatura económica. A modo de ejemplo, véanse Clark y Griliches (1984), Hall y Mairesse (1995), Mairesse y Hall (1996), Beneito (2001), Wakelin (2001) y Parisi y otros (2002).

¹⁷ 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 elaborado por el INE.

¹⁸ Véase Clark y Griliches (1984).

¹⁹ En la ESEE se define como el porcentaje medio de utilización durante el año de la capacidad estándar de producción de la empresa.

Por otro lado, al realizar estimaciones utilizando la ecuación [2c], hay que tener en cuenta que las variaciones de productividad en las empresas podrían depender de características específicas del sector productivo a que pertenecen. Por este motivo, se incluyen en el modelo variables ficticias para reflejar la rama de actividad a la que pertenece cada empresa. Con este procedimiento se reduce el sesgo debido a las características inobservables específicas de cada rama. Los 18 sectores utilizados en la ESEE se resumen en el Apéndice 1, como ya se señaló anteriormente.

Estimar el modelo teórico recogido en la ecuación [2c] 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 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, ese impacto, una vez desencadenado, tal vez no se circunscriba a un único período, sino que se distribuya 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. Además, en las etapas iniciales del proyecto, el personal dedicado a la investigación generará ideas, pero éstas no siempre se convertirán de inmediato en mayor producción. Por otro lado, aunque el proyecto esté finalizado por completo, suele llevar 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 específicos²⁰.

Atendiendo a este comportamiento de la variable R/Q y a lo dicho en los párrafos precedentes, se ha optado por especificar econométricamente la ecuación [2c] 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 anteriores²¹.

Recogiendo todas las puntualizaciones precedentes, en el presente trabajo se adopta la siguiente especificación econométrica de la ecuación [2c]:

²⁰ 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 otra parte, 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).

²¹ Véase, por ejemplo, Griliches y Lichtenberg (1984) y Rouvinen (2002).

$$\Delta(q-1)_{it} = \lambda + \alpha\Delta(c-1)_{it} - \pi\Delta I_{it} + \vartheta_1 (R/Q)_{i,t-1} + \vartheta_2 (R/Q)_{i,t-2} + \dots$$

$$\dots + \vartheta_n (R/Q)_{i,t-n} + \delta\Delta cu_{it} + \text{efecto sectorial} + \eta_{it} \quad [2d]$$

donde ya figura el componente de corto plazo; la variable R/Q aparece retardada para los períodos $t-1$, $t-2$, ..., $t-n$; y se ha añadido el efecto sectorial definido como $\omega_2 IC_2 + \omega_3 IC_3 + \dots + \omega_{18} IC_{18}$, donde las ω son parámetros y las IC representan las correspondiente variables ficticias sectoriales.

Para estimar el modelo [2d] se ha aplicado el método generalizado de momentos (MGM). Es un enfoque robusto frente a la heterocedasticidad entre empresas y la correlación de las perturbaciones dentro de cada empresa a lo largo del tiempo, de modo que puede ser eficiente sin introducir hipótesis muy restrictivas²².

La muestra utilizada en la estimación del modelo procede del panel de datos de la ESEE entre 1993 y 1999. Una primera estimación ha sido realizada con todas las empresas que ofrecen información acerca de las variables relevantes y que han efectuado inversiones en tecnología al menos durante dos años²³. Otra segunda estimación se ha llevado a cabo únicamente a partir de la submuestra de las empresas más innovadoras, entendiendo por tales las que realizan ese tipo de inversiones al menos durante más de la mitad del período muestral (es decir, al menos durante cuatro años). En esta submuestra la continuidad en la inversión tecnológica es mayor. En concreto, la muestra general queda constituida por 606 empresas en un panel incompleto o no equilibrado con un total de 1.600 observaciones. La submuestra comprende 468 empresas, en un panel incompleto con un total de 1.242 observaciones. El panel es incompleto debido a la entrada y salida de empresas en la muestra durante el período analizado²⁴. Además, se ha aplicado un filtro para las fusiones entre empresas²⁵.

5. Resultados empíricos

En este apartado se presentan los resultados alcanzados en la estimación de la tasa de rendimiento del gasto en I+D en los dos grupos de empresas anteriormente señalados, la muestra general y la submuestra de las más innovadoras. El Cuadro 1 del Apéndice 2 recoge toda la información pertinente al respecto. Sólo se presentan los resultados de las estimaciones con un retardo en

²² Véase, por ejemplo, Mairesse y Hall (1996) y Wooldridge (2002, especialmente caps. 8, 11 y 14).

²³ El interés de este artículo se centra en las mejoras de productividad que obtienen las empresas que realizan inversiones en I+D. Por este motivo, se han excluido los datos correspondientes a firmas que no invierten nunca en I+D, o que solamente lo han hecho en un año del período muestral. Esta exclusión de las empresas que no realizan gastos tecnológicos es frecuente en la literatura empírica. A modo de ejemplo, véanse Clark y Griliches (1984); Odagiri e Iwata (1986); Lichtenberg y Siegel (1991); Hall y Mairesse (1995); Mairesse y Hall (1996); Ballot y otros (2001) y Beneito (2001)

²⁴ Un panel completo contendría un número insuficiente de empresas desde el punto de vista econométrico.

²⁵ No se encontraron problemas relevantes relativos a los casos atípicos (*outliers*).

la variable R/Q, pues los demás retardos en dicha variable resultaron no ser significativos estadísticamente²⁶. Las pruebas habituales (estadístico C o estadístico en diferencias de Sargan) permiten aceptar la hipótesis de exogeneidad para las variables $\Delta(c-1)$, ΔI y Δuc , pero no para la variable R/Q. En consecuencia, esta última ha sido instrumentada. Los instrumentos utilizados en la estimación econométrica se enumeran en el mencionado Cuadro²⁷.

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 (en la muestra general, con un nivel crítico de probabilidad —«valor de p»— de 0,32; en la submuestra de empresas más innovadoras, con un «valor de p» de 0,39).

Según los habituales contrastes de Wald, las variables ficticias sectoriales son conjuntamente no significativas (se acepta la hipótesis nula: $\chi^2(17) = 14,00$, «valor de p»=0,6669, en la muestra general de empresas; $\chi^2(17) = 16,33$, «valor de p»=0,5008, en la submuestra de firmas más innovadoras)²⁸; y los regresores son conjuntamente significativos (se acepta la hipótesis nula: en la muestra general de empresas, $\chi^2(4)=45,96$ y «valor de p»=0,0000 sin el término constante, siendo $\chi^2(5)=50,16$ y «valor de p»=0,0000 con el término constante; en la submuestra de empresas más innovadoras, $\chi^2(4)=51,24$ y «valor de p»=0,0000 sin el término constante, siendo $\chi^2(5)=53,49$ y «valor de p»=0,0000 con el término constante).

Tanto en la muestra general como en la submuestra, el coeficiente de la variable que representa la intensidad del gasto en I+D es estadísticamente significativo y tiene signo positivo. Ello significa que el esfuerzo tecnológico tiene un efecto favorable sobre la productividad. El resto de las variables utilizadas en la estimación son significativas desde el punto de vista estadístico a alguno de los niveles usuales, salvo la relación capital-trabajo. Esta variable explicativa también resulta ser no significativa en algunas de las estimaciones de Wakelin (2001). Como apunta esta autora, cabe atribuir tal resultado a que la relación capital-trabajo tiene una alta correlación con la variable empleo; por tanto, el efecto sobre el aumento de la productividad ejercido por la tasa de crecimiento de la relación capital-trabajo ya estaría siendo recogido, en buena medida, por esa variable explicativa que es la tasa de crecimiento del empleo.

De acuerdo con el modelo econométrico estimado y teniendo en cuenta lo apuntado anteriormente, se observa que la tasa de rendimiento de la inversión

²⁶ Esto es similar a los resultados de Clark y Griliches (1984), Hall y Mairesse (1995) y Besen (2000), por ejemplo. Los resultados empíricos con un mayor número de retardos pueden ser solicitados a los autores.

²⁷ 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 algunas variables explicativas del modelo. A modo de ejemplo, véase Mairesse y Hall (1996).

²⁸ Es posible que la inclusión de la variable capacidad de producción utilizada esté capturando el efecto de las diferentes características de cada sector y, en consecuencia, se reduce la significación de esas variables ficticias.

en I+D (θ) se sitúa en torno a 0,2660 para el grupo general de empresas. En cambio, este mismo rendimiento se eleva hasta un 0,3431 para el segundo grupo, es decir, cuando existe una cierta continuidad en la inversión en capital tecnológico.

Tanto en la estimación para las firmas más innovadoras como para las empresas en general, se observan también otros resultados de interés. Así, el coeficiente de la variable capacidad utilizada (coeficiente δ en la ecuación [2d]) tiene signo positivo, de modo que el crecimiento de la productividad se ve impactado por factores relacionados con las fluctuaciones temporales de la demanda a las que se enfrentan las empresas. El coeficiente de la variable número de trabajadores (coeficiente π en la ecuación [2d]) 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, lo cual es compatible con una conducta maximizadora del beneficio en el largo plazo²⁹.

También se ha estimado el modelo imponiendo la condición de rendimientos constantes a escala para el capital y el trabajo (valor nulo del coeficiente π). Esta restricción no modifica muy sustancialmente los resultados empíricos, pues se obtienen unas tasas de rendimiento bastante similares (0,2621 y 0,3141, según se trate del total de las empresas o de las más innovadoras, respectivamente). En consecuencia, en la industria española se puede admitir la existencia de rendimientos constantes a escala o bien una ligera desviación hacia los rendimientos a escala decrecientes. No obstante, se ha optado por presentar los resultados empíricos sin imponer la restricción de rendimientos constantes a escala, 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, aparte de que influirán otros factores aquí no modelizados. Además, se aprecia un rendimiento más alto de la inversión tecnológica cuando se lleva a cabo con mayor continuidad.

En principio, estos resultados empíricos alcanzados para las empresas españolas podrían ser comparados con estimaciones realizadas en otros países. No obstante, hay que aclarar que, en la literatura económica, los valores estimados para la tasa de rendimiento del gasto en I+D (θ) se mueven en un amplio intervalo, dependiendo de la muestra utilizada, del modo en que se hayan definido las variables y de la especificación econométrica³⁰. Estas dife-

²⁹ Este resultado también ha sido obtenido por Wakelin (2001) para el Reino Unido y Smith y otros (2004) para Dinamarca. Como apunta la autora del primer artículo citado, cabe atribuir tal resultado a la exclusión de las materias primas y los productos intermedios en la función de producción de partida.

³⁰ A este respecto, véase Mairesse y Sassenou (1991) en relación con trabajos referidos a la estimación de la tasa de rendimiento de los gastos en I+D; y Atella y Quintieri (2001) en lo relativo a investigaciones sobre la elasticidad de la productividad total de los factores respecto al *stock* de capital tecnológico.

rencias son completamente esperables. Además, la comparación de resultados no puede realizarse más que en términos muy generales, porque la distinción de una submuestra de empresas —dentro de la muestra general— en función de su continuidad en la inversión tecnológica no ha sido utilizada por otros autores. A modo de ilustración, se citan a continuación dos artículos en que los autores distinguen dos grupos de empresas, pero sin hacer mención a la continuidad en la inversión tecnológica.

Por un lado, Odagiri y Iwata (1986) separan las empresas, distinguiendo entre las que pertenecen a sectores innovadores o intensivos en investigación (químico, farmacéutico, equipamiento eléctrico e instrumentos de precisión) y las que pertenecen a sectores no innovadores o no intensivos en investigación (el resto). Para llevar a cabo esta clasificación, tienen en cuenta el uso intensivo del capital de investigación por parte de los sectores citados en primer lugar, sin prestar atención a la continuidad en el esfuerzo tecnológico. Sus resultados para el período 1966-1973 muestran que la tasa de rendimiento de la inversión tecnológica es positiva y significativa para las empresas innovadoras, y no significativa para las otras empresas. Por su parte, Wakelin (2001) distingue también entre empresas innovadoras y no innovadoras. Para clasificar las empresas en uno u otro grupo, utiliza estrictamente la definición de innovación y no la idea de continuidad en la inversión tecnológica. Los resultados que presenta demuestran que la tasa de rendimiento es más alta para las empresas innovadoras que para las no innovadoras.

Los resultados de estos dos artículos citados sugieren, pues, que las empresas pertenecientes a sectores más tecnológicos son las que alcanzan un mayor rendimiento en la inversión en I+D. Si se acepta el supuesto de que las empresas más intensivas en capital tecnológico son también las de mayor continuidad en sus inversiones, los resultados que se acaban de comentar están en la línea de los obtenidos en este trabajo para la industria española.

Algunos otros autores, que se comentan a continuación, han realizado también estimaciones de la tasa de rendimiento sin distinguir como submuestra las empresas más innovadoras. No obstante, las características peculiares de las muestras que utilizan, comentadas en el apartado segundo del presente artículo, permiten suponer que están trabajando con firmas que cuentan con cierto grado de continuidad en su inversión tecnológica. Tal es el caso, por un lado, de Clark y Griliches (1984) y Bessen (2000), que estiman para Estados Unidos unas tasas de rendimiento en torno a 0,18 y 0,33, respectivamente. Por otro lado, Hall y Mairesse (1995) estiman para Francia una tasa en torno a 0,23. Estas estimaciones están en una línea similar a lo obtenido en nuestra investigación. No obstante, existen diferencias que pueden deberse, entre otros, a los siguientes factores. En primer lugar, en cada estudio se considera un ámbito territorial y temporal distinto. Además, existen diferencias en la calidad de los datos con que se cuenta. Por otra parte, cada autor considera una especificación funcional diversa para la estimación empírica. En cuarto término, algunos análisis usan datos de los gastos en I+D financiados por la iniciativa privada, mientras que otros incluyen también la inversión en I+D financiada por el sector público. Finalmente, ciertos estudios incluyen el papel jugado por el efecto *spillover* en el crecimiento de la productividad.

6. Conclusiones

En estas páginas se ha presentado un modelo teórico que relaciona el crecimiento de la productividad del trabajo con los gastos en I+D. El objetivo es comprobar después empíricamente, por un lado, si el hecho de invertir en I+D incrementa la productividad de las empresas y, por otra parte, si la continuidad en la inversión tecnológica asegura unas tasas de rendimiento mayores para este tipo de inversión. El modelo permite estimar la tasa de rendimiento del capital tecnológico a partir del flujo de gastos en I+D, sin necesidad de construir una (no disponible) variable para el *stock* de capital de investigación.

El modelo teórico se ha especificado mediante un modelo econométrico de retardos distribuidos en el tiempo. Posteriormente, se ha efectuado la estimación empírica del modelo a partir de datos de panel procedentes de la Encuesta sobre Estrategias Empresariales para el período 1993-1999. Corresponden a empresas de 18 sectores manufactureros españoles.

Para ello, con los microdatos disponibles, se ha construido una primera muestra en la que se han depurado todas las empresas que no realizan inversiones en I+D durante el período muestral o que solamente lo hacen un año. Posteriormente se ha obtenido una submuestra, a partir de la anterior, en la que únicamente se han tomado en consideración las empresas que invierten en tecnología al menos durante más de la mitad del período muestral (es decir, al menos durante cuatro años). Por tanto, esta submuestra contiene las empresas que presentan una mayor continuidad en su inversión tecnológica.

Se ha estimado el modelo para las dos muestras de empresas, aplicando el método generalizado de momentos (MGM). Los resultados empíricos alcanzados son coherentes con las expectativas teóricas. Indican que la inversión en I+D por parte de las empresas españolas tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo en la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo, con un retardo de un período (los retardos de orden superior no parecen ser significativos en términos estadísticos). Se confirma, además, que la continuidad en la inversión tecnológica favorece el logro de un mayor rendimiento en dicha inversión. Más en concreto, el rendimiento de la inversión en I+D se sitúa en torno al 26,60 por ciento en la muestra global de empresas, elevándose a un 34,31 por ciento en el grupo de firmas más innovadoras. En general, estos resultados están en la línea de lo hallado para otros países, donde los sectores más intensivos en capital tecnológico son los que cuentan con un mayor rendimiento para este tipo de inversión.

En las estimaciones empíricas se ha detectado también una importante relación positiva entre el crecimiento de la productividad del trabajo y la capacidad de producción utilizada por las empresas. Ello indica que las variaciones de productividad están asociadas asimismo con factores de corto plazo ligados a las fluctuaciones temporales de la demanda a que se enfrentan las empresas. Por último, se observa que la función de producción para las empresas manufactureras españolas presenta rendimientos decrecientes a escala para el capital y el trabajo en los dos grupos de empresas considerados, lo que está en consonancia con resultados de investigaciones anteriores. No obstan-

te, la relación entre el crecimiento de la productividad y el esfuerzo tecnológico no cambia muy sustancialmente cuando se impone la condición de rendimientos constantes a escala.

Desde luego, la estimación del modelo puede estar afectada por limitaciones econométricas. Griliches y Mairesse (1995) apuntan que la estimación de funciones de producción a partir de microdatos presenta algunos problemas; problemas que también surgen cuando se estima una función de producción transformada por el procedimiento aquí seguido³¹. En consecuencia, los resultados empíricos alcanzados en este artículo, aunque son bastante razonables, deben ser contemplados con cierta cautela. A pesar de todo, los estudios de este tipo tienen bastante utilidad.

Finalmente, es preciso hacer una llamada de atención sobre la debilidad de las inversiones en I+D de las empresas españolas. A primera vista, las tasas de rendimiento estimadas parecen elevadas³². Estas tasas de rendimiento deberían animar la inversión empresarial en capital tecnológico de un modo continuado a lo largo del tiempo. Sin embargo, en la práctica se constata que esto último no ocurre. El elevado riesgo asociado con los proyectos en I+D y la dificultad para obtener en exclusiva todos los beneficios derivados de la innovación pueden retraer a las empresas—especialmente a las pequeñas y medianas—a la hora de realizar este tipo de actividades, a pesar del elevado rendimiento esperable³³. Además, la estructura empresarial española está bastante centrada en el sector servicios, el cual no requiere grandes esfuerzos en I+D. También, probablemente, las empresas españolas encuentran especiales problemas para financiar sus inversiones en I+D. Más aún cuando de por sí tienen problemas generales de financiación y cuando el apoyo público a la innovación tecnológica es más bien escaso.

La insuficiente dotación de capital tecnológico está lastrando el crecimiento de la productividad. Esta carencia puede suponer una pérdida de competitividad de las empresas españolas y un lento crecimiento del potencial de la economía en un contexto de apertura de mercados en los que se intercambian bienes de alto contenido tecnológico. Por este motivo, merece la pena resaltar la necesidad de aplicar ciertas medidas de política industrial y tecnológica que resuelvan las limitaciones de la economía española en este campo. En tal sentido, debería apoyarse adecuadamente desde el sector público la inversión empresarial en I+D, porque, en España, la participación del sector público en actividades de I+D es mayoritaria, al contrario de lo que ocurre en otros países desarrollados. También habría de impulsarse la actividad de los Centros de Innovación y Tecnología, entre otras medidas, para mejorar la comunicación entre universidades y empresas. Asimismo, sería conveniente

³¹ Véase Mairesse y Sassenou (1991) y Hall y Mairesse (1995).

³² De acuerdo con el documento «Las políticas de fomento e innovación de la UE», coordinado en 2002 por la Fundación Cotec y elaborado por la Consejería de Economía e Innovación de la Comunidad de Madrid y la delegación española de la Academia Europea de Ciencias y Artes, las inversiones españolas en I+D «generan rendimientos siete veces superiores a los de cualquier otro tipo de inversión».

³³ Véase Nadiri (1993).

aumentar los recursos destinados a la investigación en organismos públicos, con un control en su asignación y un adecuado mecanismo de seguimiento de los resultados. En este momento en que las condiciones económicas de España son relativamente estables, se debería dar un paso adelante para resolver los problemas mencionados. Todas estas medidas podrían crear un marco estable para la realización de inversión tecnológica de un modo continuado, lo que revertiría en un mayor rendimiento para ese tipo de inversión.

Referencias bibliográficas

- AIELLO, F. y CARDAMONE, P. (2005): «R&D spillovers and productivity growth: Evidence from Italian manufacturing microdata», *Applied Economics Letters*, vol. 12, págs. 625-631.
- AIELLO, V. y QUINTIERI, B. (2001): «Do R&D expenditures really matter for TFP?», *Applied Economics*, vol. 33, págs. 1385-1389.
- BALLOT, G.; FAKHFAKH, F. y TAYMAZ, E. (2001): «Firms' human capital, R&D and performance: a study on French and Swedish firms», *Labour Economics*, vol. 8, págs. 443-462.
- BENEITO, P. (2001): «R&D productivity and spillovers at the firm level: Evidence from Spanish panel data», *Investigaciones Económicas*, vol. 25, págs. 289-313.
- 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>.
- CHEN, J. R. y YANG, C. H. (2005): «Technological knowledge, spillover and productivity: evidence from Taiwanese firm level panel data», *Applied Economics*, vol. 37, págs. 2361-2371.
- CLARK, B. y GRILICHES, Z. (1984): «Productivity growth and R&D at the business level: Results of the PIMS Data Base», en Z. Griliches (ed.), *Patents and productivity*. University of Chicago Press, Chicago, págs. 393-416.
- DOSI, G.; MARSILI, O.; ORSENIGO, L. y SALVATORE, R. (1995): «Learning, market selection and the evolution of market structure», *Small Business Economics*, vol. 7, págs. 411-436.
- 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, págs. 459-483.
- FLUVIÁ, M. (1990): «Capital tecnológico y externalidades: un análisis de panel», *Investigaciones Económicas*, vol. 15, suplemento, págs. 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.
- GOSPEL, H. (1991): «Industrial training and technological innovation: An introduction», en Gospel, H. (ed.), *Industrial training and technological innovation: A comparative and historical study*. Routledge, Londres, págs. 1-12.
- GRANDÓN, V. y RODRÍGUEZ ROMERO, L. (1991): «Capital tecnológico e incrementos de productividad en la industria española, 1975-1981», *Investigaciones Económicas*, vol. 15, suplemento, págs. 19-24.
- GRILICHES, Z. (1979): «Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth», *Bell Journal of Economics*, vol. 10, págs. 92-116.
- (1988): «Productivity puzzles and R&D: Another non-explanation», *Journal of Economic Perspectives*, vol. 2, págs. 9-21.

- GRILICHES, Z. (1992): «The search for R&D spillovers», *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 94, suplemento, págs. 29-47.
- 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, págs. 465-496.
- 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, págs. 89-119.
- (1995): «Production functions: The economic search for identification», documento de trabajo núm. 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, págs. 263-293.
- 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, págs. 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.
- (2001): «Impacto del capital tecnológico en la producción industrial», *Economía Industrial*, vol. 341, págs. 103-112.
- 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 núm. 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 núm. 3666, NBER, Cambridge (MA).
- MALERBA, F.; ORSENIGO, L. y PERETTO, P. (1997): «Persistence of innovative activities, sectoral patterns of innovation and international technological specialization», *International Journal of Industrial Organization*, vol. 15, págs. 801-826.
- MATÉ, J. J. y RODRÍGUEZ, J. M. (2002): «Crecimiento de la productividad e inversión en I+D: un análisis empírico en las empresas manufactureras españolas», *Economía Industrial*, vol. 347, págs. 99-110.
- NADIRI, M. I. (1993): «Innovation and technological spillovers», documento de trabajo núm. 4423, NBER, Cambridge (MA).
- ODAGIRI, H. y IWATA, H. (1986): «The impact of R&D on productivity increase in Japanese manufacturing companies», *Research Policy*, vol. 15, págs. 13-19.
- PARISI, M. L.; SCHIANTARELLI, F. y SEMBENELLI, A. (2002): «Productivity, innovation creation and absorption, and R&D: micro evidence for Italy», documento de trabajo núm. 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, págs. 123-156.
- SCHUMPETER, J. A. (1943): *Capitalism, socialism and democracy*. Allen and Unwin, Londres.
- SMITH, V.; DILLING-HANSEN, M.; ERIKSSON, T. y STRØJER-MADSEN, E. (2004): «R&D and productivity in Danish firms: Some empirical evidence», *Applied Economics*, vol. 36, págs. 1797-1806.

Productividad del trabajo y continuidad en la inversión tecnológica...

- SOLOW, R. M. (1957): «Technical change and the aggregate production function», *Review of Economics and Statistics*, vol. 57, págs. 312-320.
- WAKELIN, K. (2001): «Productivity growth and R&D expenditure in UK manufacturing firms», *Research Policy*, vol. 30, págs. 1079-1090.
- WOOLDRIDGE, J. M. (2002): *Econometric analysis of cross section and panel data*. MIT Press, Cambridge (MA).

APÉNDICE 1

Clasificación sectorial

- Sector 1: Metales férricos y no férricos
- 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 automóbiles 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

APÉNDICE 2
Resultados

CUADRO 1.— *Resultados de la estimación del modelo empírico*

Variable dependiente: $\Delta(q-l)_t$

Muestra general de empresas

<i>Variable</i>	<i>Coficiente</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Z</i>	<i>Significación</i>
Constante (λ)	0,05067	0,02694	1,88	0,060
$\Delta(c-l)_t$	0,04467	0,07155	0,62	0,532
Δl_t	-0,27509	0,06411	-4,29	0,000
$(R/Q)_{t-1}$	0,26599	0,11797	2,25	0,024
Δcu_t	0,39910	0,16513	2,42	0,016
Núm. empresas	606	Período	1993-1999	
Estadístico J de Hansen	15,849	$[\chi^2 (14)]$	Significación	0,32267

Submuestra de empresas más innovadoras

<i>Variable</i>	<i>Coficiente</i>	<i>Error estándar</i>	<i>Z</i>	<i>Significación</i>
Constante (λ)	0,01675	0,02380	0,70	0,482
$\Delta(c-l)_t$	-0,02287	0,05532	-0,41	0,679
Δl_t	-0,28256	0,06418	-4,40	0,000
$(R/Q)_{t-1}$	0,34309	0,08741	3,93	0,000
Δcu_t	0,23895	0,11235	2,13	0,033
Núm. empresas	468	Período	1993-1999	
Estadístico J de Hansen	14,877	$[\chi^2 (14)]$	Significación	0,38662

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.