

INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y PRODUCTIVIDAD SECTORIAL EN LA ECONOMÍA MEXICANA: EVIDENCIA REGIONAL

Humberto Ríos Bolívar*

RESUMEN

Este artículo analiza los efectos de incorporar mano de obra calificada en los procesos productivos, así como los retornos a la inversión en la formación de ella. Para tal efecto se utilizan los datos estadísticos de los censos económicos del INEGI –años 1999 y 2004– para los sectores de manufactura, comercio y servicios. La utilización de datos de corte transversal para un total de dos mil 438 municipios permite disponer de un gran número de observaciones y desagregarla por sectores económicos. A partir de la estimación de una función de producción, se determinan las elasticidades del producto con respecto al capital y al trabajo, así como en relación con los factores tecnológicos y de innovación. En una primera aproximación a los datos, se analizan los estadísticos descriptivos habituales para las variables mencionadas. Posteriormente, se estima un modelo econométrico y se aplica el método de *mínimos cuadrados ponderados*. Los resultados empíricos obtenidos son coherentes con las expectativas teóricas: la inversión en la formación de capital humano, en el

* Profesor Investigador de la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Actualmente es Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. <hrios@ipn.mx>. Se agradecen los comentarios de un árbitro anónimo.

cambio tecnológico y en la innovación tecnológica, tiene un efecto positivo en el proceso productivo. En la mayoría de los casos, la relación es estadísticamente significativa, para los tres sectores económicos analizados.

Clasificación JEL: Q18, Q31

Palabras clave: Innovación Tecnológica, productividad sectorial

ABSTRACT

This paper analyzes the effects to incorporate qualified manual labor in the productive processes, as well as the returns to the investment in the formation of manual labor qualified in the sectors of manufactures, commerce and services. For such effect, statistical data of the economic census of INEGI of years 1999 and 2004 are used. The use of data of cross section for a total of two thousand 438 municipalities allows to have a great number of observations, besides to this the disaggregation of the statistical information by economic sectors. Starting off of the estimation of a production function, the paper determines the elasticity of the product with respect to the factors of capital production and labor, as well as of the technological factor and the factor innovation. In one first approach to the data, the descriptive ones for the variables previously mentioned have been analyzed habitual statistical. Later, the estimation of a econometric model with data of cross section has taken place, for it, has been applied the method of *weighed square minimums*. The reached empirical results are coherent with the theoretical expectations. They indicates that the investment in the capital human formation, the investment in the technological change and the own technological innovation, in the case of the three analyzed economic sectors, has a positive effect on productive process and in the greater one of the cases statistically significant.

JEL classification: Q18, Q31

Keywords: Technological innovation, sectorial productivity

I. INTRODUCCIÓN

Existe un gran número de estudios en economía sobre la relación entre progreso tecnológico, innovación y crecimiento económico. Uno de los pioneros es Robert Solow, quien publicó su primer trabajo sobre este tema en 1957. Sin embargo, a la fecha bien vale reconocer la dificultad de medir adecuadamente el papel de la tecnología e innovación sobre el crecimiento, sobre todo cuando se trata de evidenciar empíricamente este hecho. Lo anterior ha llevado a los economistas a centrarse en el análisis del gasto en Investigación y Desarrollo (I+D) para la innovación como variable próxima a la tecnología y la innovación tecnológica. Según la evidencia empírica mostrada por Solow, dicho gasto contribuye 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.

Luego, el análisis empírico de la relación entre I+D para la innovación y productividad, se puede llevar a cabo a partir de la estimación de una función de producción en la que se incluye como variable explicativa el capital tecnológico y la innovación. En un modelo de producción donde se incluye 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 tecnológico, innovación tecnológica o capital I+D.

En la presente investigación se estudia la relación entre el crecimiento de la productividad del trabajo y la inversión en este tipo de capital para los sectores manufactura, comercio y servicios. Para tal efecto, se utilizan datos estadísticos de los censos económicos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para los años 1999 y 2004. La utilización de datos de corte transversal para un total de dos mil 438 municipios, permite disponer de un gran número de observaciones; a esto se añade la desagregación de la información estadística por sectores económicos. Hasta ahora los trabajos realizados en México acerca de la relación entre productividad y gasto en I+D han estimado fundamentalmente funciones de producción. Partiendo de estas funciones, se determinan la elasticidad de la producción respecto de los

factores de producción, capital y trabajo, dejando de lado el factor tecnológico y el factor innovación. Debo mencionar que, uno de los problemas centrales al hacer este tipo de análisis es la necesidad de utilizar información sobre el *stock* de capital en investigación y desarrollo, misma que no está disponible.

Por tal motivo, fue preciso realizar una estimación del *stock* de capital en I+D. 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.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 para cada período. Esto es lo que se pretende hacer en este trabajo de investigación.

Lo anterior requiere un cierto grado de novedad con respecto a investigaciones anteriores realizadas para México pues, en lugar de estimar funciones de producción en las que el capital en I+D es un factor más, se relaciona directamente el crecimiento de la productividad con la intensidad del gasto en I+D. Hasta donde conocemos, no existen trabajos en esta línea llevados a cabo con datos para los sectores de la economía de México.

En lo que sigue, la estructura de la investigación es: en el primer apartado se hace una revisión de trabajos realizados en el tema. En el segundo se describe el modelo teórico utilizado. En el tercero se realiza una descripción de los datos, variables y metodología empírica manejados en el análisis econométrico. En el cuarto apartado se estima un modelo econométrico. Por último se resume el trabajo y se dan las conclusiones más importantes.

II. ANTECEDENTES

Si bien la relación entre productividad e I+D para la innovación ha sido analizada en México por Kurt Unger (1996) y Javier Jasso (1998), entre otros, la

¹ Este procedimiento requiere hacer hipótesis sobre el valor de la tasa de depreciación del capital y tomar un valor inicial de dicho capital.

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 una función de producción para evitar la utilización del *stock* de capital tecnológico como variable explicativa.²

Este tipo de análisis se ha realizado para un buen número de países. A continuación se mencionan algunos de los trabajos de mayor relevancia.

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 de años comprendidos 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 estadísticos de la muestra comprenden 924 empresas norteamericanas dedicadas a la manufactura. Por otro lado, existe un trabajo de investigación realizado por Lichtenberg y Siegel (1991), quienes utilizan datos de panel para examinar la relación entre I+D y crecimiento de la productividad en la industria estadounidense para el período 1972-1985. Recientemente, Bessen (2000) parte de una muestra de 471 empresas norteamericanas, tomada del periodo 1983-1989, para obtener resultados sobre la relación entre productividad y gastos en I+D.

Si bien el objetivo fundamental de investigaciones anteriores es medir los costos que para las empresas supone adoptar la tecnología derivada de los gastos en I+D realizados, existen, también, otros estudios efectuados para países como Japón, como el de Odagiri e Iwata (1986), que 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: 1966-1973 y 1974-1982. Por otro lado, Fecher (1990), analiza la influencia de los gastos en I+D sobre la productividad a partir de datos individuales de empresas de Bélgica para el período 1981 y 1983.

² 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 (unidades censadas) son frecuentes en otros países.

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 de ese país. 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 los años 1992-1997. Las estimaciones de la tasa de rendimiento que proporcionan estos trabajos son dispares. En general, los resultados dependen del modo en que se miden las diferentes variables incluidas en las estimaciones y de las fuentes de datos utilizadas.

III. ASPECTOS TEÓRICOS

El planteamiento teórico de la relación entre productividad y gastos en I+D para la innovación se basa fundamentalmente en el modelo de Griliches (1979). Este modelo parte de la acumulación de capital en I+D para la innovación tecnológica como un factor de producción adicional, junto con los factores productivos habituales: capital físico y trabajo. En este proyecto de investigación, el punto de partida para la construcción del modelo es una función de producción Cobb-Douglas con tres factores productivos: innovación tecnológica (H), *stock* de capital físico (K) y trabajo (L). La función de producción agregada se escribe:

$$Q_{it} = A e^{\lambda t} H_{it}^{\alpha} K_{it}^{\beta} L_{it}^{\gamma} e^{\mu t} e^{\delta t} \quad (I.1)$$

donde los subíndices i y t denotan la empresa y el periodo, respectivamente. Q es una medida del *output* (habitualmente ventas o valor añadido de los sectores económicos); L representa el factor trabajo (generalmente, el número de empleados); H y K miden el *stock* de capital en innovación tecnológica y capital físico, respectivamente; A es una constante; α , β y γ son las correspondientes elasticidades de la producción con respecto al capital I+D, capital físico y trabajo, 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 los sectores económicos); μ representa un efecto específico no observable de cada sector económico y constante a lo largo del tiempo; ε es un término de error aleatorio.

Se trata del planteamiento de una función de producción del tipo Cobb-Douglas cuya característica principal es la separabilidad de sus factores; esto permite, por ejemplo, separar los efectos del factor I+D para poder estimarlo como un modelo lineal, bien en niveles, en diferencias o bajo algún tipo de transformación, como la logarítmica, lo que da lugar, en cada caso, a las ecuaciones siguientes ya escritas en términos logarítmicos:

$$q_{it} = a + \lambda t + \alpha h_{it} + \beta k_{it} + \gamma l_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (I.2)$$

La función escrita en primeras diferencias es

$$\Delta q_{it} = \lambda + \alpha \Delta h_{it} + \beta \Delta k_{it} + \gamma \Delta l_{it} + \Delta \varepsilon_{it} \quad (I.3)$$

donde las letras minúsculas denotan el logaritmo de cada una de las variables correspondientes y Δ representa la primera diferencia de la variable especificada.

Los efectos específicos del sector económico, 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 de producción Cobb-Douglas.

Por otro lado, bajo el supuesto de que la función de producción presenta rendimientos constantes a escala con respecto a los *inputs* estándar, se tiene que $\alpha + \beta + \gamma = 1$. Si en la expresión (I.2) se resta el logaritmo del trabajo en ambos lados de la igualdad, se obtiene la siguiente ecuación:

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha h_{it} + \beta k_{it} + \gamma l_{it} - l_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (I.4)$$

donde $\gamma = 1 - \alpha - \beta$.

Sustituyendo este valor de γ , realizando operaciones, se tiene la siguiente ecuación:

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha h_{it} + l_{it} - \alpha l_{it} - \beta l_{it} + \beta k_{it} - l_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it} \quad (I.5)$$

Reordenando términos queda

$$q_{it} - l_{it} = a + \lambda t + \alpha (h_{it} - l_{it}) + \beta (k_{it} - l_{it}) + \mu_{it} + \varepsilon_{it} \quad (I.6)$$

Tomando primeras diferencias en esta expresión se obtiene:

$$\Delta(q - l)_{it} = \lambda + \alpha \Delta(h - l)_{it} + \beta \Delta(k - l)_{it} + u_{it} \quad (I.7)$$

donde $u_{it} = \Delta \varepsilon_{it}$ y $\Delta(q - l)$ es la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo; $\Delta(h - l)$ es la tasa de crecimiento de la relación capital tecnológico-trabajo; $\Delta(k - l)$ es la tasa de crecimiento de la relación capital-trabajo y el parámetro α es la elasticidad de la producción con respecto a I+D.³

³ α es la elasticidad de la producción con respecto al capital I+D, por lo que está dada por $\alpha = (\partial Q / \partial H)_{it} (H / Q)_{it}$.

Por otra parte, la tasa de crecimiento del tipo de capital I+D se calcula mediante la expresión:

$$\Delta h_{it} = (\partial H / H)_{it} \quad (I.8)$$

A partir de la elasticidad α y de la expresión (I.8) se obtiene

$$\beta \Delta h_{it} = (\partial Q / \partial H)_{it} (H / Q)_{it} (\partial H / H)_{it} = \Psi(R / Q)_{it} \quad (I.9)$$

donde $\Psi = (\partial Q / \partial H)_{it}$ es la productividad marginal del capital en I+D, R_{it} el gasto o inversión en I+D del sector i en el período t y R/Q la intensidad del gasto en I+D (también puede ser el nivel de esfuerzo tecnológico).

Utilizando la ecuación (I.9) y tomando en cuenta que $\alpha = 1 - \beta - \gamma$, con el fin de determinar $\alpha \Delta(h-l)_{it}$, que es la tasa de crecimiento de la relación capital tecnológico-trabajo; ésta puede describirse de la manera siguiente:

$$\alpha \Delta(h-l)_{it} = \alpha \Delta h_{it} - (1 - \beta - \gamma) \Delta l_{it} = \Psi(R / Q)_{it} - (1 - \beta - \gamma) \Delta l_{it} \quad (I.10)$$

Sustituyendo la ecuación (I.10) en (I.7) se obtiene:

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \beta \Delta(k-l)_{it} + \Psi(R / Q)_{it} - (1 - \beta - \gamma) \Delta l_{it} + u_{it} \quad (I.11)$$

Efectuando el operador diferencial se obtiene la siguiente expresión:

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \beta \Delta k_{it} - \beta \Delta l_{it} + \Psi(R / Q)_{it} - \Delta l_{it} + \beta \Delta l_{it} + \gamma \Delta l_{it} + u_{it} \quad (I.12)$$

Simplificando términos se obtiene:

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \beta \Delta k_{it} + (\gamma - 1) \Delta l_{it} + \Psi(R / Q)_{it} + u_{it} \quad (I.13)$$

Tomando en cuenta que $\gamma - 1 = -\alpha - \beta$, la expresión (I.13) se convierte en:

$$\Delta(q-l)_{it} = \lambda + \beta \Delta(k-l)_{it} - \alpha \Delta l_{it} + \Psi(R/Q)_{it} + u_{it} \quad (I.14)$$

La expresión (I.14) puede ser utilizada para estimar el gasto en I+D, en lugar del *stock* de capital I+D. Por otro lado, en el supuesto de que el mercado funciona bajo condiciones competitivas, Ψ puede interpretarse como la tasa de rendimiento de los gastos en I+D.

La estimación de la ecuación (I.14), que permite aproximar el valor de la tasa de rendimiento del capital tecnológico (Ψ) constituye uno de los puntos importantes de esta investigación.

La estimación de la ecuación propuesta se lleva a cabo, fundamentalmente, a partir de los datos que proporcionan los censos económicos de México, elaborados por INEGI. Éstos comprenden un conjunto de unidades censadas por cada municipio, correspondientes a tres sectores económicos: manufactura, comercio y servicios.

Este trabajo realizará mediciones econométricas de las variables que se utilizan en la especificación del modelo resumido en (I.14), para lo cual se considera información de corte transversal, correspondiente a todas las regiones del país. El análisis es similar al adoptado por Mankiw, Romer y Weil (1992), donde analizan los determinantes del crecimiento en función de I+D.

La información estadística se retoma del Sistema de Información Municipal de Bases de Datos (SIMBAD); en particular, se utilizaron:

- Censos Económicos 1999
- Censos Económicos 2004

Como ya se dijo, los datos corresponden a tres sectores económicos: manufactura, comercio y servicios.

Las variables utilizadas aparecen enlistadas en la tabla 1.

TABLA 1
Notación para las variables incorporadas en el modelo

Nombre	Abreviatura
Producto Interno Bruto	Q
Población	N
Activos fijos	K
Gasto en I+D	H
Esfuerzo tecnológico	R/Q
Remuneraciones totales	RT
Personal ocupado promedio	L
Equipo de cómputo	D1
Número de líneas telefónicas	D2
Disponibilidad de acceso a Internet	D3

Fuente: Elaboración Propia.

IV. MODELO ECONOMETRICO

La posibilidad de que una economía experimente simultáneamente crecimiento económico, mejoras en la tecnología e innovación tecnológica es una de las principales preocupaciones de los países hoy en día. Una de las premisas de la teoría de la innovación tecnológica es que, la innovación es uno de los elementos base para impulsar el crecimiento económico y mejorar la tecnología de un país, en este sentido, puede pensarse que el gasto en I+D sea el factor indispensable para que cada una de las economías encuentren un cauce hacia un desarrollo integral.

Diversos modelos empíricos han sido utilizados para evidenciar la interacción entre crecimiento, cambio tecnológico e innovación tecnológica y, más específicamente, entre crecimiento del producto, cambio tecnológico y gasto en I+D.

Uno de los primeros estudios que se interesaron en evidenciar esta interacción fue realizado por R. Solow (1957) para la economía de Estados Unidos del período 1909-1949. Solow, encontró que más del 50% del crecimiento de la producción por hora de trabajo, que se registró en ese período, correspondió al progreso técnico. Es decir, de un 2.9% de crecimiento promedio anual del PNB real, aproximadamente el 0.32% del crecimiento se debía a la acumulación de capital, el 1.09% a los aumentos de la cantidad de trabajo y el 1.49% restante lo atribuía al progreso técnico.

En un estudio posterior, Edward Denison (1974), realizó un trabajo en esta misma línea de investigación. Denison utilizó datos para el período 1929-1969 de la economía de Estados Unidos y obtuvo resultados que confirmaron lo señalado por Solow; encontró que la tasa promedio anual del PNB real fue de 2.92%, 0.56% fue atribuido al crecimiento del capital, 1.34% al aumento en mano de obra y 1.02% al progreso técnico.

Investigaciones empíricas más recientes, basadas en la teoría neoclásica y en la teoría del crecimiento endógeno, destacan el papel que desempeña el gasto en I+D en la evolución de la tecnología y en el crecimiento económico. Las primeras aportaciones se deben a Paul Romer (1986) y Robert Lucas (1988), ambos autores coinciden en que el gasto en I+D se adquiere por medio de la educación formal, la formación de carácter informal y de la experiencia en el trabajo, además, sostienen que estos factores favorecen al aumento de las tasas de crecimiento, al menos durante un período transitorio.

Bajo este marco temático que desarrollaron las investigaciones aquí citadas, surge el propósito de investigar empíricamente el papel que desempeñan la educación y el capital humano en la evolución del cambio tecnológico y del crecimiento económico en México. De manera más concreta, surge la necesidad de contestar preguntas como ¿Cuáles son los componentes del progreso tecnológico? ¿Cuál es el papel de la innovación tecnológica en el progreso tecnológico y en el crecimiento del producto? ¿Cuál es el papel de la educación en el progreso tecnológico?, entre otras.

Para dar respuesta a esta serie de interrogantes, en la sección V se plantea un modelo cuya metodología está fundamentada en el modelo de Solow

ampliado. En la sección VI se hace la estimación econométrica del modelo y se analizan los resultados obtenidos.

V. ESPECIFICACIÓN DEL MODELO ECONOMÉTRICO

Para proveer las bases que ayuden a pensar sobre las respuestas a las interrogantes planteadas, se establece, de manera general, un modelo econométrico representado por una función de producción que establece la relación entre insumos y producto e indica el máximo producto alcanzado bajo ciertas combinaciones de los insumos. Como es costumbre, dentro de estos modelos se asume que los insumos son variables diferenciables y transformables en producción. La función de producción es expresada como:

$$Q = f(X; Z) \quad (\text{II.1})$$

donde Q es el nivel de producción, X un vector de variables explicativas del producto, Z un vector de parámetros que regulan las tasas a las cuales las variables explicativas son transformadas en producto. Se asume que la función $f(\cdot)$ es bien comportada, continua y diferenciable. Una forma funcional que cumple con tales características es la función de producción Cobb-Douglas. Esta función es de la forma:

$$Q = e^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3} \dots X_k^{\beta_k} = e^{\beta_1} \prod_{k=2}^k X_k^{\beta_k} \quad (\text{II.2})$$

En términos logarítmicos se tiene:

$$\ln(Q) = \beta_1 + \beta_2 \ln(X_2) + \beta_3 \ln(X_3) + \dots + \beta_k \ln(X_k) \quad (\text{II.3})$$

esta expresión también es conocida como *modelo logarítmico-lineal*.

A continuación se plantea la forma funcional del modelo para estimar empíricamente los determinantes del crecimiento económico. Una forma adecuada para estimar la relación entre crecimiento del producto y las variables explicativas, es partiendo del modelo de Solow simple, donde el residuo explica parte del crecimiento no explicado por los factores de producción.

La función a utilizar es una función de producción con progreso tecnológico neutral a la Hicks expresada en la ecuación siguiente:

$$Y = AF(H, K, L) \quad (\text{II.4})$$

Escribiendo esta ecuación en términos de la tasa de crecimiento del producto, ésta queda expresada como sigue:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \left(\alpha \frac{\Delta H}{H} \right) + \left(\beta \frac{\Delta K}{K} \right) + \left(\gamma \frac{\Delta L}{L} \right) + \frac{\Delta A}{A} \quad (\text{II.5})$$

El modelo especifica que la producción crece debido a los aumentos de los factores de la producción: capital en I+D, capital físico, trabajo y variables que pueden ser parte del residuo, como capital humano, inversión y mejoras en los propios factores de producción.

El primer caso de modelo general a ser estimado es el que se refiere a la determinación de la tasa de crecimiento del producto; éste es expresado en términos logarítmicos y se utilizan algunas variables instrumentales para aproximar a la variable de tecnología. El modelo es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Log} \left(\frac{\Delta Q}{Q} \right) = & \beta_0 + \beta_1 \text{Log} (R / Q_0) + \beta_H \text{Log} \left(\frac{\Delta H}{H} \right) + \beta_K \text{Log} \left(\frac{\Delta K}{K} \right) + \beta_L \text{Log} \left(\frac{\Delta L}{L} \right) + \\ & + \beta_\epsilon \text{Log} \left(\frac{E}{POB} \right) + \beta_{RL} \text{Log} \left(\frac{RL}{L} \right) \end{aligned} \quad (\text{II.6})$$

donde, el término de la izquierda determina el logaritmo de la tasa de crecimiento del producto; el primer término de la derecha es el intercepto, el segundo es el valor inicial del producto, cuyo coeficiente mide el nivel de convergencia de la economía en estudio; los siguientes dos términos especifican los niveles de participación de los factores de capital en I+D y físico, respectivamente. El resto de los términos recoge la participación de la tecnología y de variables no incorporadas en el modelo.

La ecuación (II.6) sirve para determinar la participación de los factores productivos y del cambio tecnológico en la tasa de crecimiento del producto, también sirve para comparar el desempeño de éstos en distintos sectores de la economía, como se analizará más adelante.

VI. ESTIMACIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO

Para el análisis del comportamiento de la economía se estimó el modelo (II.6) por el método de *mínimos cuadrados ponderados*, esto es, se hacen estimaciones para dos casos generales. El primero, para el caso de las estimaciones del crecimiento del producto, el segundo para el caso de las estimaciones del crecimiento del cambio tecnológico. La ponderación se plantea como una forma de corregir el problema de heteroscedasticidad debido a que, como es común en estimaciones de corte transversal, la estimación con el método de mínimos cuadrados presentó problemas del tipo mencionado.

El término de ponderación se asignó de acuerdo a la variable que podría estar causando problemas con la varianza de los errores. Cabe señalar que esta transformación no afecta el cálculo de los parámetros.

Las estimaciones para analizar los determinantes del crecimiento económico se clasifican en cuatro categorías. Para cada una de estas cuatro categorías, existe una subdivisión por sectores económicos, manufactura, comercio y servicios. Las primeras dos subdivisiones que se incorporan corresponden a:

- 1) Información para municipios con alta densidad de población (urbanos) y ponderada por el producto.
- 2) Información para municipios con baja densidad de población (rurales) y ponderada por el producto.

Para la estimación de estos dos casos se utilizó el modelo especificado en la ecuación (II.6); la característica concreta de esta estimación reside en el uso de la variable producto como ponderador en ambos casos. Las dos estimaciones se hicieron simultáneamente con el objeto de hacer pruebas de comparación entre los parámetros correspondientes de ambas estimaciones, es decir, se puede comparar el desempeño de una variable bajo distintos escenarios, en este caso urbano y rural. Los resultados de estas estimaciones se presentan en los cuadros 1 y 2.

CUADRO 1

Estimación para municipios con alta densidad de población (urbanos) y ponderada por el producto

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS (1999-2004)						
COEFICIENTE						
PROBABILIDAD (*)						
SECTOR	Q	H	K	L	R/Q	A
MANUFACTURA	1.650	0.011 (0.032)	0.096 (0.050)	0.043 (0.005)	0.760 (0.000)	0.210 (0.000)
COMERCIO	1.798	0.006 (0.0591)	0.072 (0.048)	0.050 (0.000)	0.690 (0.053)	1.519 (0.000)
SERVICIOS	4.187	0.065 (0.000)	0.141 (0.000)	0.098 (0.000)	1.760 (0.000)	3.0416 (0.000)

(*) El nivel de probabilidad para rechazar la hipótesis nula es de 0.05.

El cuadro 1 muestra los resultados de las estimaciones econométricas por sectores económicos, donde se especifican los estadísticos descriptivos más relevantes de la estimación. En primer lugar, se indican las tasas de crecimiento (Q) positivas en los tres sectores, siendo mayor el crecimiento del sector servicios; por otro lado, se observa la participación positiva del gasto en I+D (H), aunque en niveles muy bajos; en cuanto al nivel de esfuerzo tecnológico (R/Q) es positivo y con niveles altos para los tres sectores.

Respecto de la productividad media del trabajo, también se perciben grandes diferencias entre sectores. Si bien se constata cierta relación entre la productividad y el esfuerzo 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 recogidos por la variable A.

El cuadro 2 muestra los resultados de las estimaciones econométricas por sectores económicos, con información estadística correspondiente a municipios con baja densidad de población. Se especifican los estadísticos descriptivos más relevantes de la estimación. En primer lugar, se observan tasas de crecimiento (Q) positivas en los tres sectores, siendo mayor el crecimiento del sector comercio. Por otro lado, se observa la participación positiva del gasto en I+D (H) aunque en niveles muy bajos, más que para el caso de la muestra urbana; en cuanto al nivel de esfuerzo tecnológico (R/Q) es positivo con niveles muy bajos para los tres sectores.

Al igual que en el cuadro 1 se encuentra cierta relación entre la productividad y el esfuerzo tecnológico de los sectores; de igual manera, se puede afirmar que no todos los sectores con esfuerzo innovador por encima de la media cuentan con una productividad superior a la media.

De nuevo, los resultados econométricos apoyan el hecho de que en la especificación del crecimiento de la productividad se incluyan otros determinantes, además de las inversiones en I+D de las empresas, los cuales pueden estar recogidos por la variable A.

CUADRO 2

**Estimación para municipios con baja densidad de población (rurales)
y ponderada por el producto**

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS (1999-2004)						
COEFICIENTE						
(PROBABILIDAD (*))						
SECTOR	Q	H	K	L	R/Q	A
MANUFACTURA	1.012	0.003 (0.051)	0.089 (0.049)	0.061 (0.052)	0.001 (0.045)	1.160 (0.012)
COMERCIO	1.429	0.000 (0.511)	0.0379 (0.0618)	0.098 (0.000)	0.001 (0.0470)	0.544 (0.000)
SERVICIOS	1.135	0.038 (0.061)	0.132 (0.037)	0.063 (0.050)	0.013 (0.052)	1.026 (0.043)

(*) El nivel de probabilidad para rechazar la hipótesis nula es de 0.05.

Por otro lado, las estimaciones para las siguientes dos subdivisiones corresponden a:

- 3) Información para municipios con alta densidad de población (urbanos) y ponderada por el número de unidades censadas.
- 4) Información para municipios con baja densidad de población (rurales) y ponderada por el número de unidades censadas.

Al igual que en los dos casos anteriores, las estimaciones 3) y 4) se hacen con el modelo (II.6), diferenciándose con las estimaciones anteriores en la variable de ponderación, ahora se usa como ponderador al número de unidades censadas. Los resultados de estas estimaciones se presentan en los cuadros 3 y 4.

CUADRO 3
**Estimación para municipios con alta densidad de población (urbanos)
y ponderada por el número de unidades censadas**

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS (1999-2004)						
COEFICIENTE						
PROBABILIDAD (*)						
SECTOR	Q	H	K	L	R/Q	A
MANUFACTURA	1.017	0.010 (0.049)	0.091 (0.050)	0.071 (0.032)	0.690 (0.013)	0.210 (0.000)
COMERCIO	1.820	0.004 (0.591)	0.069 (0.038)	0.042 (0.000)	0.710 (0.053)	0.079 (0.000)
SERVICIOS	3.921	0.061 (0.000)	0.138 (0.000)	0.089 (0.000)	1.941 (0.000)	0.117 (0.000)

(*) El nivel de probabilidad para rechazar la hipótesis nula es de 0.05.

El cuadro 3 muestra los resultados de las estimaciones econométricas para los tres sectores económicos analizados; al igual que en los resultados mostrados en el cuadro 1, también hay evidencia de una participación positiva de cada uno de los regresores, mostrando una mayor participación en el sector servicios y menor participación en el sector manufactura. Cabe resaltar que se observa una buena participación del gasto en I+D (H) al igual que del nivel en esfuerzo tecnológico (R/Q) para los tres sectores.

Finalmente, los resultados de las estimaciones para municipios con baja densidad de población y ponderadas por el número de unidades censadas se presenta en el cuadro 4.

Este cuadro muestra los resultados de las estimaciones econométricas para los tres sectores económicos. También existe evidencia de una participación positiva de cada uno de los regresores; en este caso tiene una mayor participa-

ción el sector comercio y menor participación el sector manufactura. De igual forma que en los casos anteriores, se observa una buena participación del gasto en I+D (H) al igual que del nivel en esfuerzo tecnológico (R/Q) para los tres sectores.

CUADRO 4

Estimación para municipios con baja densidad de población (rurales) y ponderada por el número de unidades censadas

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS (1999-2004)						
COEFICIENTE						
(PROBABILIDAD (*))						
SECTOR	Q	H	K	L	R/Q	A
MANUFACTURA	1.021	0.051	0.0496	0.062	0.003	0.734
		(0.046)	(0.035)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
COMERCIO	1.461	0.062	0.062	0.071	0.007	0.615
		(0.518)	(0.0652)	(0.000)	(0.0640)	(0.000)
SERVICIOS	1.171	0.042	0.0158	0.056	0.011	1.029
		(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)

(*) El nivel de probabilidad para rechazar la hipótesis nula es de 0.05.

VII. 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. 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 variable del *stock* de capital de

investigación. Posteriormente se hacen estimaciones econométricas para evidenciar la relación de estas variables con el crecimiento del producto.

Al modelo teórico se le ha asociado con un modelo econométrico, el cual ha sido estimado por el método de *mínimos cuadrados ponderados*. Esta metodología tiene una ventaja, permite recoger la participación correcta de los regresores, según sea la importancia del volumen del producto o del número de unidades censadas para cada región en estudio.

La información estadística se retoma del Sistema de Información Municipal de Bases de Datos (SIMBAD); en particular, se usaron censos económicos de 1999 y 2004. La información estadística corresponde a tres sectores económicos: manufactura, comercio y servicios; y a dos grupos de municipios: urbanos y rurales, según la densidad de población.

En una primera aproximación a los datos se han analizado los habituales estadísticos descriptivos para las variables más relevantes. Posteriormente se ha efectuado la estimación del modelo econométrico antes citado. Los resultados empíricos alcanzados son coherentes con las expectativas teóricas. Indican que la inversión en I+D por parte de los tres sectores económicos analizados tienen un efecto positivo y en la mayoría de los casos estadísticamente significativo.

A primera vista, parece ser que los rendimientos de los factores sobre la tasa de crecimiento del producto son elevados para municipios urbanos, esto debería animar la inversión pública y privada en cada uno de los factores, sobretodo en I+D. Sin embargo, en la práctica se constata que esto último no ocurre, pues cada vez la proporción de inversión en este rubro es menor.

Lo anterior puede atribuirse al 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 a la hora de realizar este tipo de actividades, a pesar del elevado rendimiento esperado. Además, probablemente las empresas que desean invertir encuentran problemas específicos para financiar sus inversiones en I+D. Más aún cuando de por sí tienen problemas generales de financiación, sobre todo en el caso de las pequeñas y medianas empresas.

Por otro lado, se ha encontrado también una importante relación positiva entre el crecimiento del producto y la tasa capital-trabajo, así como entre dicho crecimiento y la capacidad de producción de los sectores económicos. Ello indica que las variaciones de productividad están asociadas con factores de largo y corto plazo. Por último, se detecta que la función de producción, para los tres sectores, presenta rendimientos decrecientes a escala en los casos de capital y trabajo, en consonancia con resultados de investigaciones anteriores. No obstante, la relación entre el crecimiento de la productividad y el esfuerzo tecnológico no cambia de manera importante 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, los cuales también surgen cuando se estima una función de producción transformada en logaritmos. En consecuencia, los resultados empíricos alcanzados en esta investigación, aunque son bastante razonables, deben ser contemplados con cierta cautela. A pesar de todo, los estudios de este tipo tienen bastante utilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- 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.
- 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.
- Griliches, Z. (1986), "Productivity, R&D and basic research at the firm level in the 1970s", *American Economic Review*, vol. 76, pp. 141-154.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- Griliches, Z. y Mairesse, J. (1995), *Production functions: The economic search for identification*, documento de trabajo n° 5067, NBER, Cambridge (MA).
- 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.
- 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 n° 5501, NBER, Cambridge (MA).
- Nadiri, M. I. (1993), *Innovation and technological spillovers*, documento de trabajo n° 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.
- 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).