

LA EXPERIENCIA EN I+D COMO FACTOR DETERMINANTE DE LA INNOVACIÓN

Pilar BENEITO

Universidad de Valencia

María Engracia ROCHINA BARRACHINA

Amparo SANCHIS

Universidad de Valencia y ERICES

Resumen

En este trabajo se analiza el papel de la experiencia en actividades de investigación y desarrollo (I+D) en el éxito innovador de las empresas, utilizando una muestra representativa de empresas manufactureras españolas para el periodo 1990-2006. Mediante *modelos de recuento*, y partiendo de la especificación de una función de producción de innovaciones, estimamos el efecto de la experiencia en I+D en la tasa de consecución de innovaciones de producto. Nuestros resultados indican que, controlando por el volumen de inversión en I+D que efectúa la empresa y otros factores, los resultados innovadores aumentan con la experiencia acumulada en la realización de actividades de investigación y desarrollo.

Palabras clave: experiencia en I+D, acumulación del conocimiento, función de producción de innovaciones, modelos de recuento.

Abstract

In this study we analyze the role of experience in research and development (R&D) activities in the innovative success of companies, using a representative sample of Spanish manufacturing companies for the period 1990-2006. Using *count data models* and starting from the specification of an innovation production function, we estimate the effect of experience in R&D on the rate of product innovation achievement. Our results indicate that, judging by the volume of R&D investment made by the company and other factors, innovation results improve with the experience gained in the conduct of research and development activities.

Key words: experience in R&D, accumulation of knowledge, innovation production function, count data models.

JEL classification: C25, O31.

I. INTRODUCCIÓN (*)

La idea de que el desempeño continuo de una actividad proporciona aprendizaje sobre la forma más eficiente de ejecutarla, y por lo tanto, aumenta la probabilidad de incrementar los rendimientos de tal actividad, ha sido tema de interés para la literatura económica desde hace mucho tiempo. Trabajos empíricos como los de Wright (1936) y Hirst (1956) constataron que los costes de fabricación en determinadas industrias se reducían conforme las empresas ganaban experiencia en dicha fabricación. Estos estudios utilizaron datos para la industria de maquinaria aeronáutica y otras, estimando lo que se ha dado a conocer como «curvas de aprendizaje» o «ratios de progreso» (*learning curves* o *progress ratios*, en terminología anglosajona).

Arrow (1962: 155), en esta misma línea argumental, enfatizó que «el aprendizaje es el producto de la experiencia; el aprendizaje sólo puede tener lugar a través del intento de resolver un problema y, por lo tanto, sólo tiene lugar durante la actividad», y propuso formalizar esta idea en un modelo donde el cambio tecnológico se derivaba de la propia experiencia, bajo el supuesto de que las soluciones a los problemas que surgen en el proceso producti-

vo mejoran con el tiempo que se lleva desarrollando la actividad. En su trabajo, Arrow cita como ejemplo el llamado «efecto Horndal», acuñado por Lundberg (1961: 129-133) tras observar que en la industria del hierro en Suecia no había habido nueva inversión durante 15 años y, sin embargo, la producción por hora-hombre había aumentado de forma estable a una tasa de un 2 por 100 anual. De acuerdo con Arrow, este resultado solo podía deberse al aprendizaje derivado de la experiencia, constatando que el crecimiento de los factores productivos estándar no es suficiente para explicar los procesos de cambio tecnológico.

El papel de la experiencia en la producción también fue destacado por Rosen (1972), quien presentó un modelo teórico donde el conocimiento adquirido por la empresa a través de la experiencia afecta a su tecnología de producción. Este conocimiento de la empresa entra en su función de producción junto a los factores convencionales (trabajo y capital).

A partir de estos precedentes, el análisis de los procesos de *learning-by-doing* (aprender haciendo) y su papel en la formación del capital humano y, con ello, en la productividad, ha constituido un campo apasionante en la investigación económica.

Los trabajos de Lucas (1988) y Stokey (1988) son una buena muestra de la resonancia que este tema adquirió, por ejemplo, en la literatura teórica del crecimiento de las economías.

La literatura teórica sobre innovación y cambio técnico ha constatado también el papel del aprendizaje derivado de la experiencia como un factor decisivo en la acumulación de conocimiento que lleva a la innovación. La teoría evolutiva de Nelson y Winter (1982) destaca precisamente el papel de los procesos de *learning-by-doing* y *learning-to-learn* (aprender a aprender) en la innovación. De acuerdo con esta literatura, las innovaciones son el resultado de un proceso de acumulación de habilidades por parte de la empresa que permite guiar las actividades innovadoras de una forma más eficiente (Rosenberg, 1976).

Para entender el proceso de aprendizaje y de acumulación de conocimiento innovador, puede resultar útil caracterizar las actividades de I+D como ciclos reiterativos de resolución de problemas, en los que las empresas seleccionan un problema, determinan un conjunto de soluciones potenciales y contrastan y eligen la opción óptima (Newell y Simon, 1972). Estos ciclos de resolución de problemas permiten la acumulación de experiencia en las áreas relevantes y aumentan el *stock* de conocimiento de la empresa (Nelson, 1982; Dosi y Marengo, 1993). Conforme las empresas acumulan experiencia y conocimiento relevante, la efectividad de su proceso de búsqueda y selección de soluciones mejora. La experiencia en proyectos previos interviene pues positivamente en las fases fundamentales del proceso de innovación (West y Lansiti, 2003): ayuda a la identificación de los problemas más importantes que hay que resolver, mejora la comprensión del proceso de búsqueda y su instrumentación, y aporta mayor información acerca de las mejores soluciones potenciales.

Por tanto, a nivel teórico y conceptual queda generalmente aceptada la importancia de la experiencia en cualquier proceso productivo. El proceso de generación de innovaciones no es uno más de estos procesos, sino que probablemente es el proceso en el cual el conocimiento, y su dinámica de acumulación en el tiempo, adquiere mayor importancia. Sin embargo, a nivel empírico, hay una carencia de estudios que analicen explícitamente el papel de la experiencia en el proceso de producción de innovaciones, si bien ya algunos trabajos han señalado, directa o indirectamente, la necesidad de considerar este aspecto en la estimación de los modelos. De hecho, la

práctica habitual de introducir una variable como la *edad* de la empresa en las estimaciones ya es, de alguna manera, un intento de captar el aprendizaje que se genera conforme la empresa gana experiencia en el desarrollo de sus tareas. Otro ejemplo lo constituye el trabajo seminal de Hausman *et al.* (1984) en *Econometrica*, donde, al estudiar la relación entre patentes (como indicador de resultados u *output* del proceso innovador) y actividades de I+D (como medida del principal factor productivo o *input* del proceso) se introduce en la estimación una tendencia temporal que interactúa con el *input* I+D para captar un posible aumento o disminución de su efectividad en la consecución de innovaciones a lo largo del tiempo. De forma más explícita, West y Lansiti (2003) argumentan que la acumulación de experiencia y la experimentación son dos herramientas organizativas que generan flujos de nuevo conocimiento que influyen en los resultados innovadores de la empresa. Utilizando datos para la industria de los semiconductores de Estados Unidos, introducen en su estimación una variable dicotómica que indica *si al menos uno de los miembros del proyecto de investigación involucrado en las decisiones de selección de tecnología tiene experiencia en organización de investigación*. Su análisis empírico está limitado a un reducido número de proyectos de investigación, y su medida de experiencia es de tipo cualitativo, lo que les permite confirmar el efecto positivo de la experiencia, pero no permite ningún tipo de cuantificación de tal efecto (1).

El objetivo del presente trabajo es aportar evidencia respecto al papel de la experiencia como determinante del éxito innovador de las empresas. Nuestro marco de referencia en la estimación será la *función de producción de innovaciones*, que ha sido utilizada en la literatura para relacionar los resultados de la innovación con sus factores determinantes. En este trabajo ampliamos esta función incorporando un nuevo determinante del proceso innovador que es el conocimiento que proporciona la experiencia acumulada en actividades de I+D. Por tanto, nuestro argumento es que la experiencia en I+D debe considerarse un *input* adicional en el proceso de generación de innovaciones, es decir, que los *inputs* tradicionalmente incluidos en la estimación de funciones de producción de innovaciones no son suficientes para dar cuenta de los resultados innovadores obtenidos.

Para llevar a cabo este trabajo, utilizamos el panel de datos proporcionado por la *Encuesta sobre Estrategias Empresariales* (ESEE), de la Fundación SEPI, para el periodo 1990-2006. Esta encuesta

proporciona anualmente información detallada de más de dos mil empresas, y se considera representativa de la industria manufacturera española. La ESEE proporciona información sobre los gastos en I+D que realiza la empresa, así como sobre el número de innovaciones de producto conseguidas por ésta. El enfoque que utilizamos en este trabajo, como se ha mencionado, es el de una función de producción de innovaciones que relaciona *inputs* y *output* del proceso innovador, que estimaremos con métodos econométricos para datos de recuento (*count data*, en terminología anglosajona). Mediremos la experiencia en I+D como el número de años que lleva la empresa desempeñando tal tipo de actividades. Esta forma de medir la experiencia supone que el tiempo dedicado a I+D proporciona, o puede proporcionar, aprendizaje que permita a la empresa ser más eficiente en la tarea de conseguir innovaciones, con independencia de que en un año concreto se haya obtenido o no un éxito innovador. Además, nuestra medida incorpora el supuesto de que dicho aprendizaje se genera en el tiempo, supuesto coherente con el proceso temporal de asimilación y maduración de conocimiento propio del aprendizaje.

Nuestros resultados indican que, controlando por el volumen de inversión en I+D que efectúa la empresa y otros factores, los resultados innovadores de ésta, en términos de innovaciones de producto, aumentan con la experiencia acumulada por ella en la realización de actividades de I+D. Los resultados muestran, además, que esta relación entre innovaciones conseguidas y experiencia es no lineal, ejerciendo la experiencia un efecto positivo sobre la consecución de innovaciones de producto, pero a una tasa decreciente. Asimismo, los resultados obtenidos evidencian que la inclusión en la estimación de una variable como la edad de la empresa o una tendencia temporal no capta adecuadamente el efecto de la experiencia que aquélla acumula a lo largo del tiempo, conforme desarrolla sus actividades de investigación y desarrollo.

El resto del trabajo se organiza como sigue. En el apartado II, se presentan los datos y la variable de experiencia en I+D utilizada; se realiza asimismo un ejercicio de estadística descriptiva para relacionar esta variable con el número de innovaciones conseguidas por las empresas; en el III, se presenta el modelo empírico y se explica el procedimiento econométrico seguido en la estimación; el IV presenta los resultados de la estimación econométrica y, por último, en el apartado V se establecen las principales conclusiones del trabajo.

II. DATOS, EXPERIENCIA EN I+D E INNOVACIONES DE PRODUCTO

Los datos utilizados en este trabajo provienen de la ESEE y se refieren al período 1990-2006. La ESEE es una encuesta anual que se realiza a escala de empresa y que es representativa del sector manufacturero español por sectores industriales y categorías de tamaño. Esta base de datos resulta adecuada para el análisis que realizamos en este trabajo porque proporciona una amplia información de las empresas no sólo sobre temas de producción y de mercados, sino además sobre actividades relacionadas con la innovación (2). Esta información incluye, por un lado, medidas de *inputs* de la innovación, como son los gastos o inversión en I+D, y por otro lado, medidas de *output* de la innovación, como son las innovaciones de producto introducidas por la empresa en cada año. Adicionalmente, la característica de datos de panel de la encuesta nos permite tomar en consideración la naturaleza acumulativa del conocimiento en los procesos de inversión en investigación y desarrollo.

En este apartado presentamos algunos estadísticos descriptivos que han sido calculados con base en aquellas empresas que declaran invertir en I+D al menos un año y que proporcionan información en la encuesta tanto para la pregunta sobre innovaciones de producto como en relación con todas las variables utilizadas en la fase de estimación. Asimismo, hemos eliminado de los datos aquellas empresas que no responden a la encuesta en alguno de los años que aparecen en ella, así como aquellas empresas que experimentan procesos de cambio en su estructura de propiedad, como por ejemplo fusiones o absorciones, o aquellas que salen del mercado por procesos de quiebra o bancarrota. Tras aplicar estos criterios nos quedamos con una muestra de trabajo de 11.243 observaciones, que corresponde a un panel incompleto de 1.885 empresas.

En relación a la experiencia en I+D con la que cuenta la empresa en un año t , en este trabajo utilizaremos como medida de experiencia la suma del número de años previos durante los cuales la empresa ha realizado actividades de investigación y desarrollo.

La principal dificultad surgida a la hora de medir la experiencia de este modo, esto es, como suma de los años pasados de actividad de I+D, consiste en que no observamos si las empresas realizaban ya actividades de I+D con anterioridad a 1990 (primer año

del panel). Utilizando términos estadísticos, esto equivale a decir que esta variable está censurada por la izquierda. Sin embargo, en el apartado IV, que presenta los resultados econométricos, justificamos que, en nuestra estimación, los posibles sesgos derivados de este problema de medida en la variable explicativa «experiencia en I+D» son poco relevantes. En principio, la censura de la variable de experiencia en I+D debería causar un sesgo al alza en la estimación de su efecto sobre la obtención de innovaciones. La razón es que la experiencia en I+D inobservada y previa a 1990, que es razonable pensar que esté positivamente correlacionada con la experiencia observada a partir de 1990, estará contenida en el término de error de la estimación. Si empresas con (más) experiencia previa a 1990 tienden a acumular más experiencia después de 1990, y a su vez la experiencia en I+D tiene un efecto positivo sobre la obtención de innovaciones, omitir la experiencia previa inobservada puede crear dicho sesgo positivo en la estimación. A pesar de esto, tras dos pruebas de robustez de los resultados que se detallan en el apartado IV, y que han dado lugar a resultados muy similares a los de las estimaciones propuestas en el III, podemos concluir que en nuestra aplicación particular resulta aceptable la medición utilizada de experiencia en investigación y desarrollo.

En el cuadro n.º 1 se presenta la distribución de frecuencias del número de empresas en nuestra

muestra de acuerdo con el número total de años acumulados de experiencia en la realización de I+D. De la información ofrecida en el cuadro, se concluye que el 90 por 100 (aproximadamente 895 empresas) de las empresas con menos de 200 trabajadores tiene menos de diez años acumulados de experiencia en I+D. Si se trata de empresas con más de 200 trabajadores, el 90 por 100 (801 empresas) tiene menos de trece años de experiencia en investigación y desarrollo.

En lo que respecta a las innovaciones de producto, la pregunta que incluye la ESEE es la siguiente: «Indique si durante el año t la empresa ha obtenido innovaciones de producto (productos completamente nuevos o con modificaciones tan importantes que los hacen diferentes de los que venía produciendo con anterioridad). En caso afirmativo, indique su número». Dado que en un 64 por 100 de las observaciones en nuestra muestra las empresas no obtienen ninguna innovación de producto, en el análisis econométrico del apartado IV necesitaremos tener en cuenta y tratar de forma adecuada el elevado número de ceros en la variable que recoge el número de innovaciones de producto.

Con el objetivo de proporcionar evidencia sobre la existencia de una relación entre la experiencia en la realización de actividades de I+D y la consecución de resultados innovadores, mostramos en el cuadro

CUADRO N.º 1

EXPERIENCIA EN ACTIVIDADES DE I+D

NÚMERO Y PORCENTAJE (ENTRE PARÉNTESIS) DE EMPRESAS DE ACUERDO CON EL NÚMERO TOTAL DE AÑOS ACUMULADOS DE EXPERIENCIA EN I+D

Años	Empresas con ≤ 200 trabajadores	Empresas con > 200 trabajadores
1	381 (38,29)	169 (18,99)
2	217 (21,81)	165 (18,54)
3	87 (8,74)	93 (10,45)
4	51 (5,13)	73 (8,20)
5	40 (4,02)	61 (6,85)
6	38 (3,82)	50 (5,62)
7	32 (3,22)	62 (6,97)
8	25 (2,51)	32 (3,60)
9	23 (2,31)	30 (3,37)
10	22 (2,21)	18 (2,02)
11	10 (1,01)	25 (2,81)
12	11 (1,11)	15 (1,69)
13	16 (1,61)	20 (2,25)
14	11 (1,11)	2 (0,22)
15	11 (1,11)	8 (0,90)
16	5 (0,50)	22 (2,47)
17	15 (1,51)	45 (5,06)
Número total de empresas	995	890

número 2 el número medio anual de innovaciones de producto que las empresas obtienen cuando se encuentran dentro de sus primeros dos años de experiencia en I+D, en los años tercero a cuarto de experiencia en I+D, y así sucesivamente. Como vemos en el cuadro n.º 2, el número medio de innovaciones de producto que las empresas obtienen anualmente crece, en general, con los años de experiencia acumulada en I+D. Para las empresas pequeñas, este número medio va desde alrededor de dos innovaciones de producto, en media anual, durante los dos primeros años de experiencia en I+D hasta alrededor de diez cuando el intervalo de experiencia se sitúa entre trece y catorce años. En el caso de empresas grandes, el número medio de innovaciones oscila desde cuatro hasta diez al pasar del intervalo uno-dos años de experiencia al intervalo once-dos años.

Se observa un cambio en esta tendencia positiva a partir de catorce y doce años de experiencia para empresas pequeñas y grandes, respectivamente. No obstante, dado el reducido número de empresas (y observaciones) que en nuestra muestra llegan a acumular ese número de años de experiencia en I+D, es difícil poder determinar, a este nivel descriptivo, la significatividad estadística de este cambio de tendencia. En concreto, y tal como se observa en el cuadro n.º 1, para el grupo de empresas pequeñas, tan sólo 31 empresas de un total de 995 (es decir, un 3,12 por 100) acumulan más de catorce años de experiencia en I+D. Para el caso de empresas grandes, 97 empresas de un total de 890 (un 10,90 por 100) acumulan más de doce años de experiencia en I+D. Si medimos los porcentajes en términos de observa-

ciones y no en términos de empresas (véase el cuadro n.º 2), el número de observaciones que corresponde a empresas pequeñas con más de catorce años de experiencia en I+D representa un 1,38 por 100 del total de observaciones de esta muestra de empresas pequeñas. Para empresas grandes, el número de observaciones que corresponde a empresas con más de doce años de experiencia en I+D representa un 7,11 por 100. Volveremos a incidir sobre esta cuestión más adelante en este apartado, así como en el IV, donde se presentan los resultados econométricos.

En el cuadro n.º 2 se observa asimismo que el gasto medio anual en I+D (en términos reales) ha ido aumentando también (aunque moderadamente) a lo largo de los años, lo que podría plantear la duda de si es realmente el mayor gasto en I+D el factor explicativo de este mayor número de innovaciones, en media. Por tanto, es necesario tomar en consideración los resultados econométricos del apartado IV, donde se controla por la variable de gasto en I+D, para poder establecer conclusiones definitivas.

A continuación, y con el fin de investigar la forma de la relación entre la experiencia en I+D y los resultados innovadores, hemos llevado a cabo un ejercicio de ajuste entre ambas variables como sigue. En primer lugar, siguiendo a Fan y Gijbels (1996) y a Gutiérrez *et al.* (2003), hemos realizado un ajuste no-paramétrico a través de polinomios locales entre el número de innovaciones de producto y la variable experiencia en I+D. Este método de regresión no-paramétrica no impone ningún supuesto sobre la forma funcional de la relación existente entre estas dos

CUADRO N.º 2

EXPERIENCIA EN I+D E INNOVACIONES DE PRODUCTO

INTERVALOS DE EXPERIENCIA EN I+D (AÑOS)	EMPRESAS CON ≤ 200 TRABAJADORES			EMPRESAS CON > 200 TRABAJADORES		
	Porcentaje de observaciones	Media anual de número de innovaciones de producto por empresa	Gasto real medio anual en I+D (en logaritmos)	Porcentaje de observaciones	Media anual de número de innovaciones de producto por empresa	Gasto real medio anual en I+D (en logaritmos)
1 – 2	61,36	2,43	4,55	38,99	3,92	9,83
3 – 4	13,30	5,03	10,71	19,19	4,18	12,98
5 – 6	9,15	5,03	11,02	13,52	5,13	13,11
7 – 8	6,07	4,17	11,20	9,58	8,87	13,36
9 – 10	4,10	5,12	11,40	6,73	9,25	13,40
11 – 12	2,76	8,60	11,26	4,89	9,57	13,41
13 – 14	1,89	10,43	11,39	3,49	3,36	13,47
15 – 16	1,04	2,95	11,81	2,77	1,90	13,46
17	0,34	3,89	12,02	0,85	1,60	13,75
Núm. total de observaciones.....	6.161			5.082		

variables, y por tanto deja que los datos muestren por sí mismos el aspecto de dicha relación. En segundo lugar, hemos realizado un ajuste paramétrico por medio de una regresión cuadrática del número de innovaciones de producto sobre la variable experiencia en I+D y su cuadrado. En el gráfico 1 se representan tanto los valores ajustados por medio de la regresión cuadrática del número de innovaciones de producto sobre la variable experiencia en I+D y su cuadrado como los valores ajustados no-paramétricamente a través de polinomios locales. Como puede observarse, la especificación cuadrática proporciona una aproximación muy razonable al aspecto mostrado por el ajuste no-paramétrico. Observamos una forma de «U-invertida» en esta relación, donde el máximo de dicha «U-invertida» se encuentra aproximadamente en nueve años de experiencia en I+D para empresas grandes, y aproximadamente en catorce años de experiencia en I+D para empresas pequeñas, según la aproximación no-paramétrica (nueve y once años, respectivamente, en el caso del ajuste paramétrico a través de una curva cuadrática). Esto indica que el punto máximo de la «U-invertida» deja a la derecha, para empresas grandes, un 16,53 por 100 de la distribución y, para empresas pequeñas, tan sólo un 2,11 por 100 si

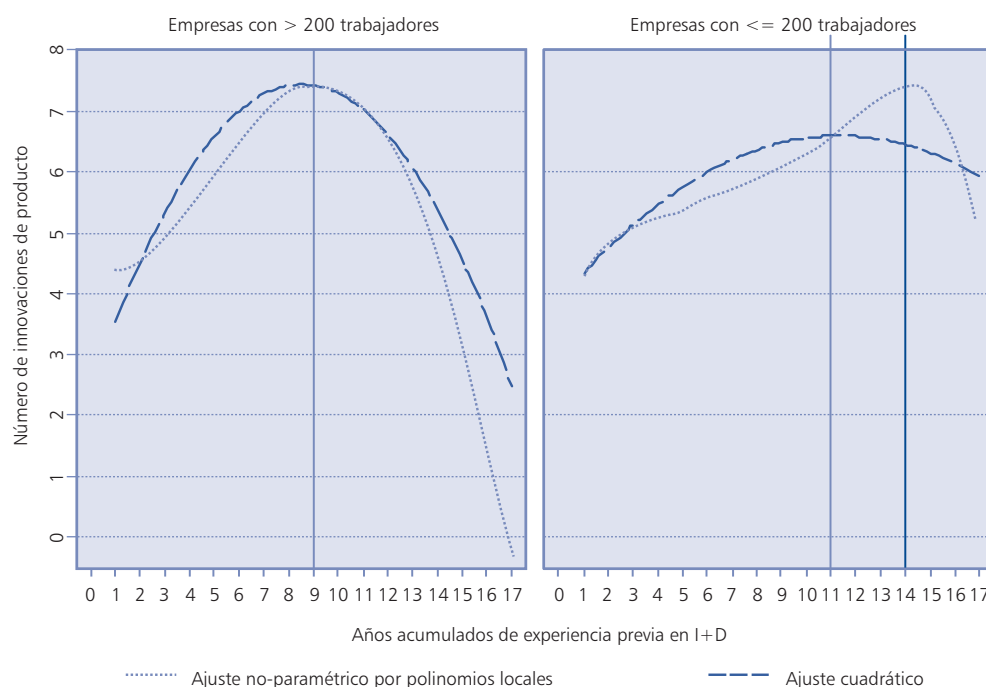
se toma en consideración el ajuste cuadrático, o un 7,04 por 100 si se considera la aproximación no-paramétrica. Por tanto, la distribución del número de innovaciones de producto condicionada a los años de experiencia acumulada en I+D por parte de las empresas no se encuentra igualmente repartida a lo largo de todos los puntos de la «U-invertida», dado que la mayor parte de esta distribución se encuentra en valores de experiencia en I+D inferiores a los asociados a los puntos máximos de las curvas. En consecuencia, si tenemos en cuenta donde se sitúa el peso preponderante de la distribución, concluiríamos que la experiencia en I+D parece ejercer un efecto positivo, pero decreciente, sobre el número de innovaciones.

III. MODELO EMPÍRICO Y PROCEDIMIENTO ECONOMETRICO

Nuestro enfoque en este trabajo parte del concepto de «función de producción de innovaciones», que, en general, puede expresarse de la siguiente forma:

$$N_{it} = f(x_{it}, \beta) \quad [1]$$

GRÁFICO 1
INNOVACIÓN Y EXPERIENCIA EN I+D



donde i se refiere a la empresa, t al periodo temporal, N_{it} denota el indicador de resultado innovador utilizado, y x_{it} representa el vector de *inputs* innovadores en la función, constituyendo las actividades de I+D el factor productivo (o *input*) fundamental en esta función.

Nuestra función de producción de innovaciones se va a distinguir de la función estándar en que va a depender de la experiencia en actividades de I+D de la empresa. La estimación empírica partirá de la siguiente especificación para la expresión [1]:

$$N_{it} = A(t)ID_{it}^{\alpha} \exp[f(E_{it}) + z_{it}\gamma] \quad [2]$$

donde ID_{it} representa, de forma general, el *input* I+D de la empresa, E_{it} denota la experiencia de la empresa en actividades de I+D, z_{it} es un vector de otros posibles determinantes de los resultados innovadores y γ es un vector de parámetros. La expresión [2] implica una relación proporcional directa entre el *input* I+D y los resultados innovadores, multiplicada por un conjunto de variables que desplazan la distribución de los resultados innovadores esperados, entre las que se encuentra la experiencia en investigación y desarrollo.

Para explorar la relación entre experiencia en I+D y resultados innovadores, supondremos una forma funcional flexible. En particular, dado que el efecto de la experiencia en I+D sobre la innovación puede ser no lineal, tal como se desprende de la inspección de los datos presentada en el apartado anterior, suponemos la siguiente forma cuadrática:

$$f(E_{it}) = \beta_1 E_{it} + \beta_2 E_{it}^2 \quad [3]$$

En esta expresión, β_1 recoge el efecto de la experiencia en I+D sobre la tasa de obtención de innovaciones de producto, y β_2 capta el cambio en el impacto de la experiencia en I+D sobre esta tasa. Substituyendo la expresión [3] en la expresión [2] y tomando logaritmos, obtenemos la siguiente ecuación a estimar:

$$\log N_{it} = \log A(t) + \alpha \cdot \log ID_{it} + \beta_1 \cdot E_{it} + \beta_2 \cdot E_{it}^2 + z_{it} \cdot \gamma \quad [4]$$

Adicionalmente, como alternativa a esta especificación cuadrática, hemos considerado la posibilidad de recoger el efecto no lineal de la experiencia en la obtención de innovaciones mediante la definición de variables dicotómicas que recogen en nueve tramos el número de años acumulados de experiencia en actividades de I+D de la empre-

sa. La definición de estas variables se muestra en el cuadro n.º 3.

A continuación, estimaremos una tercera especificación alternativa de nuestro modelo, en la cual consideramos la posibilidad de que la experiencia en I+D afecte a la tasa de consecución de innovaciones alterando la propia efectividad del *input* I+D. Es decir, suponemos en este caso que la experiencia ejerce su efecto haciendo más efectivo el esfuerzo innovador, de tal forma que la respuesta del número de innovaciones a un incremento en I+D es mayor conforme la empresa acumula experiencia en I+D a lo largo del tiempo. En este caso supondremos que la expresión [2] toma la forma siguiente:

$$N_{it} = A(t)ID_{it}^{f(E_{it})} \exp(z_{it}\gamma) \quad [5]$$

donde ID_{it} es el *input* I+D de la empresa, E_{it} es la experiencia de la empresa en I+D, y z_{it} es un vector de otros determinantes y variables de control. De nuevo, la función $f(E_{it})$ puede ser no lineal, de modo que suponemos para ella la siguiente forma cuadrática que, en este caso, actúa como exponente del *input* I+D:

$$f(E_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 E_{it} + \alpha_2 E_{it}^2 \quad [6]$$

Formalmente, $f(E_{it})$ recoge el cambio porcentual en los resultados innovadores que genera el cambio de un 1 por 100 en el *input* I+D de la empresa. Es decir, mide la elasticidad del número esperado de innovaciones respecto al *input* I+D, elasticidad que se ve afectada por la experiencia en I+D. Nótese que en la expresión [6] α_0 es el parámetro que recogería la elasticidad estándar si la experiencia en I+D no interviniera en la consecución de innovaciones. Además, α_1 recoge el efecto de la experiencia en I+D sobre la efectividad del *input* I+D, y α_2 capta el cambio en el impacto de la experiencia en I+D sobre la efectividad del *input* I+D.

Substituyendo la expresión [6] en [5], llegamos a:

$$N_{it} = A(t) \cdot ID_{it}^{(\alpha_0 + \alpha_1 E_{it} + \alpha_2 E_{it}^2)} \cdot \exp(z_{it}\gamma) \quad [7]$$

y tomando logaritmos obtenemos la siguiente expresión:

$$\log N_{it} = \log A(t) + \alpha_0 \cdot \log ID_{it} + \alpha_1 \cdot E_{it} \log ID_{it} + \alpha_2 \cdot E_{it}^2 \log ID_{it} + z_{it} \cdot \gamma \quad [8]$$

donde las variables de control en z_{it} son las mismas variables que incluye la ecuación [4].

CUADRO N.º 3

DEFINICIÓN DE VARIABLES

Innovaciones de producto	Número de innovaciones de producto obtenidas por la empresa durante el año.
Gasto en I+D (log <i>ID</i>)	Gasto real en I+D en logaritmo (el gasto corriente ha sido deflactado utilizando precios industriales del sector manufacturero).
Experiencia en I+D (<i>E</i>).....	Número de años que la empresa ha estado invirtiendo en I+D en el pasado.
Variables ficticias de experiencia	Variables ficticias que corresponden a los nueve tramos de dos años en los que se divide la variable experiencia, tal y como aparecen en el cuadro n.º 4.
Personal con experiencia en I+D que ha sido contratado en <i>t</i>	Variable ficticia que toma valor 1 si la empresa ha contratado (en el año en curso) personal con experiencia en I+D. Esta variable solo está disponible desde 1998.
Servicios de información científica y técnica	Variable ficticia que toma valor 1 si la empresa ha realizado o contratado estas actividades, y que toma valor 0 en caso contrario.
Trabajos de normalización y control de calidad.....	Variable ficticia que toma valor 1 si la empresa ha realizado o contratado estas actividades, y que toma valor 0 en caso contrario.
Esfuerzos de asimilación de tecnologías importadas	Variable ficticia que toma valor 1 si la empresa ha realizado o contratado estas actividades, y que toma valor 0 en caso contrario.
Estudios de mercado y <i>marketing</i> para la comercialización de nuevos productos	Variable ficticia que toma valor 1 si la empresa ha realizado o contratado estas actividades, y que toma valor 0 en caso contrario.
Diseño	Variable ficticia que toma valor 1 si la empresa ha realizado o contratado estas actividades, y que toma valor 0 en caso contrario.
Otras actividades.....	Variable ficticia que toma valor 1 si la empresa ha realizado o contratado estas actividades, y que toma valor 0 en caso contrario.
Edad	Edad de la empresa en años.
Tamaño.....	Variable ficticia que toma valor 1 si la empresa tiene como mucho 200 trabajadores, y que toma valor 0 si la empresa tiene más de 200 trabajadores.
Variables ficticias industriales.....	Variables ficticias industriales correspondientes a los veinte sectores industriales de la clasificación NACE-93.
Variables ficticias anuales	Variables ficticias anuales correspondientes a los diecisiete años utilizados de la ESEE.

En el apartado de resultados econométricos presentaremos la estimación del modelo especificado según [4] en primer lugar, a continuación la especificación alternativa a [4], que divide la variable experiencia en nueve tramos, seguidamente el modelo especificado en [8] y, por último, presentaremos la estimación del modelo [4] incluyendo una variable, disponible en la ESEE desde 1998, relativa a si la empresa reclutó en el año *t* personal con experiencia empresarial en I+D. Dado que esta información sólo está disponible a partir de 1998, la inclusión de esta variable nos lleva a descartar más de la mitad de las observaciones de la muestra, y permite únicamente un análisis cualitativo. Sin embargo, hemos considerado interesante incluir esta variable en la estimación porque, en caso de resultar significativa, nos permite reforzar la idea básica de este trabajo: que la experiencia en I+D, en este caso incorporada en personal contratado especializado en actividades de I+D, contribuye de forma significativa a la obtención de resultados innovadores.

En cuanto al modo de introducir en el modelo el *input* I+D, cabe decir que los trabajos que utilizan este marco de análisis para analizar la generación de innovaciones por parte de las empresas, han utilizado mayoritariamente, o bien el *stock* de capital de I+D, o bien los gastos en I+D. El uso del *stock* de capital de I+D implica suponer una determinada tasa de depreciación del capital tecnológico y, además, que el capital de conocimiento se *acumula* como si de capital físico se tratase, a pesar de las marcadas diferencias que existen entre uno y otro tipo de capital. Por otro lado, la inversión anual en I+D supone un incremento en el *stock* de conocimiento de la empresa y, aunque los gastos pasados en I+D pueden influir en la obtención de innovaciones actuales, en general no existe información que permita precisar cuál es el periodo de maduración que habría que considerar en cada caso. Por estas razones, los estudios empíricos que optan por considerar retardos del gasto en I+D introducen en su especificación

cación un número determinado de retardos con el fin de investigar la especificación que mejor se ajusta a los datos disponibles (véase, por ejemplo, Hall *et al.*, 2009). Basándonos en algunos de los principales resultados de esta literatura, hemos optado por comenzar incluyendo en nuestra primera especificación, correspondiente a la expresión [4], los valores corrientes y retardados, hasta el segundo retardo, del gasto real en I+D (en logaritmos), con el fin de investigar la estructura de retardos que parece más adecuada en nuestro caso (3).

Además de la experiencia en I+D, el vector de variables z_{it} incluye variables dicotómicas que indican si la empresa realiza actividades informales relacionadas con la innovación, que pueden también afectar positivamente a la obtención de resultados innovadores. Estas actividades informales incluyen servicios de información científica y técnica, trabajos de normalización y control de calidad, esfuerzos de asimilación de tecnologías importadas, estudios de mercado y *marketing* para la comercialización de nuevos productos, diseño, y otras actividades (4).

Por último, z_{it} también incluye variables de control relativas al tamaño de la empresa, la edad de ésta y su cuadrado, variables dicotómicas industriales correspondientes a veinte sectores de la clasificación NACE-93, y variables dicotómicas temporales que recogen $\log A(t)$. La definición de todas las variables utilizadas en la estimación se encuentra en el cuadro n.º 3.

En cuanto a la técnica o modelo econométrico adecuado para estimar una función de producción de innovaciones, cabe señalar que está condicionado por el indicador de resultado innovador (N_{it}) que se utilice en cada caso. En este trabajo, el resultado innovador va a medirse como el número de innovaciones de producto que declara la empresa durante el periodo de análisis. Esto implica que nuestra variable dependiente sea de tipo *recuento*: números enteros no negativos, con cierta probabilidad de suceso para la unidad i durante el periodo temporal t . En un año determinado, muchas empresas de nuestra muestra no han obtenido innovaciones, de modo que tenemos un número alto de recuentos cero.

Teniendo en cuenta esta particularidad de los datos, nuestro procedimiento de estimación econométrica será el siguiente. Partiremos del modelo econométrico más sencillo y estándar en la literatura, que es el basado en el supuesto de que la distribución de la variable dependiente es de tipo Poisson. Según el proceso de Poisson, los recuentos son el resulta-

do de un número desconocido de extracciones tipo Bernoulli con una pequeña probabilidad de éxito. La especificación básica de la probabilidad de Poisson es la siguiente:

$$P(N_{it} = n_{it}) = \frac{\exp(-\lambda_{it}) \cdot \lambda_{it}^{n_{it}}}{n_{it}!} \quad [9]$$

Podemos modelizar el parámetro de la función de distribución de Poisson, λ , como una función de las variables explicativas, x , y de los parámetros, β , de manera estándar como sigue:

$$\lambda_{it} = \exp(x_{it}\beta) \quad [10]$$

Se puede mostrar fácilmente que:

$$E[N_{it} | x_{it}] = \text{Var}[N_{it} | x_{it}] = \lambda_{it} = \exp(x_{it}\beta) \quad [11]$$

de modo que λ_{it} representa la tasa de llegada de innovaciones por empresa y por año, y también el número esperado de innovaciones por empresa y por año. Tomando logaritmos en [11] se obtiene la siguiente expresión:

$$\log E[N_{it} | x_{it}] = \log \lambda_{it} = x_{it}\beta \quad [12]$$

Si las variables explicativas de naturaleza continua se utilizan en logaritmos, los β estimados son las elasticidades del número esperado de innovaciones con respecto a estas variables (5).

Un supuesto restrictivo del modelo de Poisson es que la varianza de N_{it} es igual a su media (véase [11]). Como apuntaron Cameron y Trivedi (1998), la regresión de Poisson no es válida cuando hay sobredispersión en los datos, puesto que, en tal caso, aunque los parámetros estimados pueden seguir siendo consistentes, sus errores estándar estarán normalmente subestimados, llevando a altos niveles de significatividad espuria. El modelo binomial negativo (BN) es una extensión natural del modelo Poisson, donde se tiene en cuenta esta posibilidad. Estimaremos pues el modelo BN y lo contrastaremos con el modelo de Poisson (6).

Aunque el modelo BN permite la sobredispersión, Gurmu (1997) ha mostrado que el modelo proporciona un ajuste pobre en caso de que en los datos haya un exceso de ceros, es decir, cuando la incidencia de recuentos con valor cero es mayor que la esperada por las distribuciones de Poisson y BN. Un enfoque alternativo es el modelo con exceso de ceros (*zero inflated model*), en el cual se concede un ma-

yor peso a la probabilidad de que la variable de recuento sea igual a cero. La función de probabilidad para el modelo con exceso de ceros se define como:

$$P_{it}^{ZI}(n_{it}/x_{it}) = 1(n_{it} = 0) q_{it} + (1 - q_{it}) P_{it}(n_{it}/x_{it}) \quad [13]$$

donde $P_{it}(n_{it}/x_{it})$ se refiere al modelo Poisson estándar en el caso del modelo que denominaremos ZIP, y al modelo BN estándar en el caso del modelo que denominaremos ZINB. El modelo con exceso de ceros estima conjuntamente dos ecuaciones: la primera ecuación es un modelo *probit* o *logit* binomial para estimar la probabilidad (q_{it}) de un recuento con valor cero frente a un recuento con valor positivo, y la segunda ecuación estima la probabilidad de observar un recuento positivo según la distribución Poisson o BN. En la estimación podemos utilizar el estadístico de Vuong (Vuong, 1989) para contrastar los modelos ZIP o ZINB frente a los modelos Poisson o BN, respectivamente (7).

IV. RESULTADOS ECONÓMICOS

Los resultados obtenidos en las estimaciones económicas de las distintas especificaciones de nuestro modelo quedan recogidos en el cuadro n.º 4. En este cuadro presentamos los resultados correspondientes al modelo ZINB (distribución binomial negativa con exceso de ceros) por ser ésta la especificación que finalmente aceptamos tras contrastar las distribuciones estadísticas alternativas comentadas en el apartado anterior. En particular, y tal como aparece al pie del cuadro n.º 4, el parámetro que capta la sobredispersión en los datos, ϕ , es estadísticamente significativo al 1 por 100 (véase la nota n.º 6). Esto nos llevaría a aceptar la distribución binomial negativa (BN) como preferible a la distribución Poisson. Por otra parte, el estadístico de Vuong permite rechazar el modelo BN a favor del modelo ZINB, es decir, los datos confirman la existencia de un mecanismo generador del exceso de ceros presente en nuestra variable dependiente.

Tal como hemos apuntado en el apartado anterior, consideramos como especificación básica de partida de nuestro modelo la presentada en la expresión [4], donde el *input* I+D se aproxima por sus valores corrientes y retardados, hasta el segundo retardo, del gasto real en I+D (en logaritmos). Asimismo, la experiencia acumulada por la empresa y su valor al cuadrado entran en la función como *inputs* adicionales, e independientes, del gasto en I+D que

afectan a la consecución de innovaciones. Los resultados correspondientes a esta primera especificación de nuestro modelo se presentan en la primera columna del cuadro n.º 4. En la estimación de esta primera especificación se observa que únicamente el gasto en I+D contemporáneo resulta significativo, siendo el primer y segundo retardo no significativamente distintos de cero.

En la segunda columna del cuadro n.º 4 eliminamos los retardos del gasto en I+D que no han resultado significativos en la estimación anterior, y observamos que la estimación del coeficiente del gasto contemporáneo gana tanto en magnitud como en significatividad. Este resultado puede interpretarse no ya como que únicamente los gastos presentes se traducen en innovaciones presentes, sino como que el gasto contemporáneo (correlacionado con sus valores pasados) es el mejor indicador del nivel de esfuerzo tecnológico que efectúa la empresa.

Por lo que respecta a la variable de mayor interés en este trabajo, esto es, los años de experiencia realizando actividades de I+D por parte de la empresa, los coeficientes estimados muestran un efecto positivo, aunque a una tasa decreciente, de la experiencia sobre los resultados innovadores (8). Este efecto es coherente con lo indicado por los datos en el apartado II, de estadística descriptiva. Según los valores estimados, el número esperado de innovaciones de una empresa en su segundo año de I+D es del orden de 9,5 puntos porcentuales superior al de una empresa que está en su primer año de I+D (para unos mismos valores del resto de *inputs* que intervienen en la generación de innovaciones), y una empresa en su quinto año de I+D tendría un número esperado de innovaciones 29,6 puntos porcentuales por encima del correspondiente al primer año (9).

Con el fin de analizar la robustez de estos resultados a especificaciones alternativas del modelo, hemos llevado a cabo la estimación de una tercera especificación del modelo, presentada en la tercera columna del cuadro n.º 4, donde hemos introducido nueve variables ficticias que recogen otros tantos intervalos de años de experiencia. La amplitud de los intervalos es de dos años. En este caso, encontramos que en los intervalos centrales, esto es, para el cuarto y quinto intervalo (siete-ocho años de experiencia en I+D y nueve-diez años, respectivamente), el efecto es positivo y estadísticamente significativo. Por el contrario, los intervalos superiores presentan coeficientes estimados negativos, si bien no muestran significatividad estadística. En cualquier caso, la conclusión general se mantiene en coheren-

CUADRO N.º 4

ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DE INNOVACIONES

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Log ID_{it}	0,041* (0,021)	0,073*** (0,013)	0,089*** (0,011)	0,076*** (0,013)	0,088*** (0,018)
Log ID_{it-1}	0,019 (0,017)				
Log ID_{it-2}	0,016 (0,016)				
E_{it}	0,201*** (0,058)	0,116** (0,045)			0,083* (0,050)
E_{it}^2	-0,012*** (0,003)	-0,007** (0,003)			-0,006* (0,003)
$E_{it} \cdot \log ID_{it}$				0,008** (0,004)	
$E_{it}^2 \cdot \log ID_{it}$				-0,0005** (0,0002)	
3 - 4 años de experiencia			0,061 (0,142)		
5 - 6 años de experiencia			0,159 (0,155)		
7 - 8 años de experiencia			0,328** (0,165)		
9 - 10 años de experiencia			0,311* (0,184)		
11 - 12 años de experiencia			0,284 (0,213)		
13 - 14 años de experiencia			-0,027 (0,208)		
15 - 16 años de experiencia			-0,265 (0,261)		
17 años de experiencia			-0,248 (0,311)		
Contratación de personal con experiencia en I+D					0,796*** (0,240)
Servicios científicos y técnicos	0,212 (0,165)	0,216* (0,118)	0,221* (0,118)	0,217* (0,118)	0,271 (0,168)
Control de calidad	-0,285* (0,163)	-0,521*** (0,136)	-0,518*** (0,134)	-0,511*** (0,136)	-0,693*** (0,172)
Asimilación tecnología importada	0,081 (0,170)	-0,102 (0,127)	-0,099 (0,128)	-0,112 (0,128)	-0,104 (0,174)
Marketing	0,160 (0,177)	0,250** (0,126)	0,252** (0,128)	0,242* (0,127)	0,093 (0,144)
Diseño	0,399** (0,161)	0,340*** (0,121)	0,339*** (0,121)	0,341*** (0,122)	0,481*** (0,152)
Otras actividades	-0,500* (0,269)	-0,273 (0,206)	-0,266 (0,209)	-0,267 (0,207)	-1,264*** (0,239)
Edad	0,002 (0,009)	-0,000 (0,005)	-0,001 (0,005)	-0,000 (0,005)	0,003 (0,008)
Edad al cuadrado	-0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)
Tamaño pequeño (menos de 200 trabajadores)	-0,023 (0,176)	-0,060 (0,130)	-0,035 (0,131)	-0,035 (0,130)	-0,085 (0,184)
Constante	-1,203** (0,475)	1,106 (0,809)	1,267 (0,798)	1,569** (0,777)	1,501 (1,055)

CUADRO N.º 4 (continuación)

ESTIMACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN DE INNOVACIONES

Ecuación para exceso de zeros

Contratación externa de I+D sin I+D interna	1,649*** (0,407)	0,893*** (0,194)	0,895*** (0,193)	0,896*** (0,193)	0,913*** (0,219)
Servicios científicos y técnicos.....	-0,089 (0,215)	-0,236* (0,134)	-0,235* (0,134)	-0,236* (0,134)	-0,172 (0,281)
Control de calidad.....	-0,225 (0,224)	-0,405*** (0,138)	-0,407*** (0,138)	-0,405*** (0,138)	-0,537** (0,228)
Asimilación tecnología importada.....	-0,194 (0,318)	-0,222 (0,177)	-0,217 (0,177)	-0,224 (0,178)	-0,553 (0,475)
Marketing	-0,500* (0,297)	-0,393** (0,167)	-0,390** (0,168)	-0,396** (0,168)	-0,546** (0,265)
Diseño	-0,391* (0,232)	-0,596*** (0,144)	-0,601*** (0,145)	-0,597*** (0,145)	-0,647*** (0,221)
Otras actividades.....	-1,631 (1,764)	-0,600 (0,435)	-0,589 (0,437)	-0,594 (0,435)	-2,208 (2,676)
Edad	0,024* (0,013)	0,010 (0,007)	0,010 (0,007)	0,010 (0,007)	0,010 (0,011)
Edad al cuadrado	-0,000* (0,000)	-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)	-0,000 (0,000)
Tamaño pequeño (menos de 200 trabajadores)	-0,092 (0,257)	-0,012 (0,155)	-0,005 (0,156)	-0,008 (0,155)	0,132 (0,254)
Constante	-1,206 (0,845)	-0,117 (0,534)	-0,106 (0,536)	-0,121 (0,537)	0,559 (0,789)
Número de observaciones	6.029	11.243	11.243	11.243	5.546
Log. pseudo-verosimilitud	-10787,26	-18031,96	-18031,02	-18034,44	-8142,36
Ho: $\phi = 0$ (Contraste de sobredispersión)	4,006 *** (0,267)	4,385*** (0,213)	4,388*** (0,213)	4,393*** (0,214)	4,042*** (0,179)
Contraste de Vuong de ZINB vs. BN estándar	7,36 (P=0,000)	10,70 (P= 0,000)	10,70 (P=0,000)	10,68 (P=0,000)	8,25 (P=0,000)

Nota: Errores estándar robustos entre paréntesis. * significativo al 10 por 100; ** significativo al 5 por 100; *** significativo al 1 por 100.
Todas las estimaciones incluyen diecisiete variables ficticias de tiempo y veinte de sector.

cia con los resultados obtenidos en las columnas primera y segunda: la experiencia tiene un impacto positivo sobre el número de innovaciones conseguidas, este impacto es no-lineal y tiende a desaparecer para valores muy altos de experiencia.

En la cuarta columna del cuadro n.º 4 presentamos los resultados correspondientes a la cuarta especificación de nuestro modelo, en la que consideramos efectos interacción entre el gasto en I+D y los años de experiencia. En este caso, consideramos que la efectividad de las actividades de I+D que lleva a cabo la empresa depende de los años de experiencia en dicho tipo de actividades (véase la expresión [8]), es decir, la elasticidad de las innovaciones con respecto al gasto en I+D es función de la experiencia en I+D. De nuevo, los resultados muestran un

efecto positivo de la experiencia a una tasa decreciente. En este caso, la elasticidad de las innovaciones respecto al gasto de la empresa en I+D puede escribirse como $\alpha_0 + \alpha_1 E_{it} + \alpha_2 E_{it}^2 = 0,076 + 0,008 \cdot E_{it} - 0,0005 \cdot E_{it}^2$. Podríamos decir, por ejemplo, que las innovaciones en una empresa con cinco años de experiencia en I+D responden un 24 por 100 más a un incremento de un punto porcentual de su gasto en I+D que en una empresa con tan sólo un año de experiencia (10). El mayor valor de la elasticidad se alcanza para una experiencia de ocho años, y comienza a decrecer para valores superiores. Es importante señalar en este punto que, lógicamente, no todos los valores de la experiencia presentan la misma frecuencia en los datos y, en particular, aproximadamente el 87 por 100 de la muestra cuenta con menos de ocho años de experiencia.

Finalmente, la última columna del cuadro n.º 4 presenta los resultados que se obtienen para una especificación similar a la de la columna 2, pero incluyendo la variable dicotómica que indica si la empresa, durante el año en curso, «reclutó personal con experiencia empresarial en I+D». Esta variable se muestra altamente significativa en la estimación, indicando la importancia de la experiencia, recogida de forma cualitativa en este caso, en la obtención de innovaciones. Se observa también en esta última columna que el tipo de relación entre los resultados innovadores y los años de experiencia en I+D que se obtenía en la columna 2 se mantiene, si bien la significatividad estadística de los parámetros estimados para las variables E_{it} y E^2_{it} es algo menor (significatividad al 10 por 100, frente al 5 por 100).

Con el objeto de investigar si la censura en la medición de la variable experiencia en I+D genera un problema en nuestras estimaciones, pasamos a detallar a continuación las dos pruebas de robustez de nuestros resultados a este respecto. La primera consiste en la comparación de nuestros resultados con los contenidos en un trabajo propio previo (Beneito *et al.*, 2007), en el cual, con datos desde 1990 hasta 2002, y para dar respuesta al problema aludido, proponíamos una medida de la variable experiencia basada en la predicción resultante de un modelo de duración estimado para los periodos de actividad en I+D que llevan a cabo las empresas. Este procedimiento, mucho más complejo que el aquí propuesto, no ofrecía sin embargo resultados considerablemente distintos, ni cuantitativa ni cualitativamente, a los que presentamos en el cuadro n.º 4. Nuestra interpretación de tal similitud en los resultados es que, posiblemente, la parte de información que no observamos (cuántos años llevaba haciendo I+D la empresa el primer año en que es observada) depende de variables que, al ser incluidas en la estimación de nuestro modelo, controlan en cierto modo la magnitud del efecto de la censura. De hecho, algunas de estas variables (como la edad de la empresa, su tamaño y el sector industrial) resultaban significativas en el modelo utilizado en el mencionado trabajo para explicar la duración de los periodos en los que la empresa realizaba actividades de investigación y desarrollo.

La segunda prueba de robustez por motivo del potencial problema derivado de la censura consiste en estimar nuestro modelo a partir del octavo año en que la empresa es observada. Es decir, en el primer año para el que se efectúa el cálculo de la variable experiencia se cuenta con siete o más observaciones pasadas, presuponiendo que la pérdida de

información más allá de dicho retardo no es relevante para la estimación (véase el trabajo de Fernández e Isgut, 2007, en el cual los autores proponen un procedimiento similar para analizar el efecto de la experiencia en años exportando de las empresas sobre su productividad). Esta prueba nos lleva, de nuevo, a resultados muy parecidos a los que aquí presentamos. De hecho, los valores de los parámetros de interés estimados son incluso algo mayores (y significativos), y no se deriva ninguna conclusión cualitativamente distinta. Esto indica que la experiencia acumulada por las empresas durante 1990-1996 es probablemente una buena *proxy* de su experiencia inobservada previa a 1990, y es por ello por lo que, cuando excluimos en esta segunda prueba de robustez los primeros siete años de datos, nuestros resultados básicamente no cambian (11). Por tanto, en conjunto, no encontramos evidencia de que exista un sesgo apreciable en la estimación del efecto de la experiencia en I+D sobre los resultados innovadores derivado del problema de censura en la medición de nuestra variable de experiencia.

En resumen, la principal conclusión que se deriva de nuestras estimaciones es la aparente existencia de una relación no lineal entre el éxito innovador (consecución de un mayor número de innovaciones) y la experiencia en I+D acumulada por la empresa. Esta conclusión es robusta a las distintas especificaciones utilizadas del modelo y, además, a nuestra medición de la variable experiencia.

Este efecto no lineal de la experiencia es similar al encontrado en estudios de capital humano, en los que la experiencia del trabajador es un componente de dicho capital humano que ejerce un efecto positivo, aunque decreciente, en los rendimientos salariales. De hecho, ya Lucas (1988: 28), en su modelo de acumulación de capital humano vía *learning-by-doing*, afirma: «*Learning-by-doing* en cualquier actividad concreta ocurre rápidamente al principio, después más despacio, y después no ocurre en absoluto». Es decir, el autor considera la existencia de rendimientos decrecientes del aprendizaje. Otra referencia en este sentido es el citado trabajo de Hausman *et al.* (1984), en el cual los autores interactúan una tendencia temporal con los gastos corrientes en I+D, y obtienen un signo negativo de dicha relación. Los autores interpretan este resultado como una disminución de la efectividad de la I+D con el tiempo (pág. 914), resultado que se mantiene robusto a las distintas especificaciones que se hacen del modelo. Este efecto decreciente de la experiencia puede relacionarse también con una disminución en las oportunidades tecnológicas hacia

el final del ciclo de vida del producto de la empresa (véase, por ejemplo, Utterback y Abernathy, 1975, y Link *et al.*, 1983).

Otros resultados complementarios en el cuadro número 4 son los relativos a las variables ficticias que recogen la realización por parte de las empresas de actividades informales de innovación. Podríamos destacar el efecto significativo y positivo de actividades como el *marketing* o el diseño, mientras que actividades como las de normalización y control de calidad muestran un efecto negativo y significativo.

Con respecto a la variable edad, un resultado a destacar es su no significatividad estadística. Este resultado se mantiene con independencia de que la variable experiencia en I+D sea o no considerada en el modelo. Es decir, la edad de la empresa no parece mantener una correlación significativa con los años de experiencia en I+D, lo que indica que no resulta adecuada como *proxy* de la experiencia de la empresa en un modelo de este tipo. Tampoco la variable de tamaño afecta significativamente al número de innovaciones conseguidas (un resultado presente en otros trabajos, como por ejemplo Jensen, 1987).

Por último, comentamos brevemente los resultados correspondientes a la ecuación auxiliar que predice el «exceso de ceros» en la variable dependiente, que aparecen en la mitad inferior del cuadro n.º 4. En este caso, se está estimando la probabilidad de observar un valor cero para las innovaciones de producto, con lo que un signo positivo (negativo) en un parámetro estimado se interpreta como una mayor (menor) probabilidad de observar un cero conforme aumenta dicha variable. En esta ecuación hemos introducido, entre otras, una variable ficticia que identifica a aquellas empresas que siguen una estrategia de innovación basada única y exclusivamente en la contratación externa de I+D, pero que no cuentan con un laboratorio interno donde realizar este tipo de actividades. En pruebas exploratorias previas, constatamos que esta variable tiene una alta capacidad predictiva de los resultados nulos en nuestra variable dependiente, tal como muestra el valor positivo y altamente significativo de esta variable en la ecuación auxiliar. Respecto a algunas de las variables que hemos denominado variables informales de innovación, como son servicios de información científica y técnica, normalización y control de calidad, *marketing* o diseño, el signo es negativo y significativo, indicando una menor incidencia de resultados nulos cuando las empresas llevan a cabo este tipo de actividades.

V. CONCLUSIONES

La importancia del aprendizaje derivado de la experiencia en cualquier proceso productivo es una idea generalmente aceptada en la literatura económica. Los procesos de generación de innovación son, probablemente, uno de los procesos donde el conocimiento, y su dinámica de acumulación en el tiempo, adquiere mayor importancia. Sin embargo, a nivel empírico, hay una carencia de estudios que analicen explícitamente el papel de la experiencia en los procesos de producción de innovaciones.

El trabajo presentado aporta evidencia respecto al papel de la experiencia como posible determinante del éxito innovador de las empresas. Utilizando datos procedentes de la *Encuesta sobre Estrategias Empresariales* para el periodo 1990-2006, hemos estimado una *función de producción de innovaciones* que relaciona las innovaciones de producto conseguidas por la empresa con su inversión en I+D, pero ampliada para incorporar un nuevo factor determinante del proceso innovador: la experiencia acumulada en el desempeño de dichas actividades de I+D. La variable «experiencia» ha sido medida como el número de años observados que la empresa lleva realizando actividades de investigación y desarrollo.

Nuestros resultados indican que, controlando por el volumen de inversión en I+D que efectúa la empresa y otros factores, los resultados innovadores aumentan con la experiencia acumulada en la realización de actividades de I+D. Los resultados muestran, además, que esta relación es no lineal, siendo el efecto de la experiencia en I+D sobre los resultados innovadores positivo pero decreciente. La literatura teórica sobre *learning-by-doing*, o los modelos de ciclo de vida del producto, ofrecen posibles explicaciones a este efecto decreciente de la experiencia. Este resultado es robusto a las distintas especificaciones estimadas del modelo y a los distintos controles incluidos en la estimación.

Una primera conclusión de nuestro trabajo es que la experiencia en I+D debe considerarse un *input* adicional en el proceso de generación de innovaciones o, lo que es lo mismo, que los *inputs* tradicionalmente incluidos en la estimación de funciones de producción de innovación no son suficientes para dar cuenta de los resultados innovadores. Los resultados econométricos obtenidos ponen también de manifiesto que la consideración de variables como la edad de la empresa o una tendencia temporal no son suficientes para captar el efecto de la experiencia en I+D. Esta conclusión se deriva de la observación de

que el efecto estimado de la experiencia es robusto a la inclusión de dichos controles en la estimación.

Nuestro trabajo apunta derivaciones interesantes para la literatura dedicada al análisis de los procesos de acumulación del conocimiento tecnológico, como son los trabajos que han tratado de definir o medir un *stock* de conocimiento tecnológico que se acumula con el tiempo a la vez que se deprecia con su transcurso. ¿Cómo interviene el aprendizaje derivado de la experiencia en estos procesos? ¿Podríamos pensar que conforme aumenta el tiempo invirtiendo en actividades de I+D la tasa de acumulación de conocimiento crece? ¿Sería razonable el supuesto de que la tasa de depreciación del capital de I+D es menor cuanto mayor es la experiencia ganada en I+D? La investigación realizada en el presente trabajo sugiere la incorporación de estas consideraciones en los modelos teóricos y en las estimaciones econométricas.

Por último, dado que la persistencia temporal realizando actividades de I+D tiene un rendimiento en términos de obtención de innovaciones, las empresas deberían encontrar un incentivo en el planteamiento de sus estrategias de I+D con una perspectiva de continuidad temporal. En este sentido, nuestros resultados pueden resultar útiles a la hora de establecer recomendaciones de política pública que tengan por objetivo el fomento de la producción de conocimiento tecnológico. Por ejemplo, es necesario, entre otras cosas, que la política tecnológica sea planeada con una perspectiva de medio y largo plazo, para permitir que las empresas encuentren un marco institucional estable en materia tecnológica a la hora de tomar sus decisiones sobre innovación.

NOTAS

(*) Las autoras agradecen la ayuda financiera procedente del Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (Programa de Ayudas a la Investigación 2006) y del Ministerio de Ciencia y Tecnología (proyectos ECO2008-04576/ECON y ECO2008-06395-C05-03). M.E. Rochina y A. Sanchis agradecen también la ayuda de la Generalitat Valenciana (Programa PROMETEO/2009/068). Los errores que puedan aparecer en el trabajo son responsabilidad exclusiva de las autoras.

(1) Recientemente, las encuestas europeas de innovación (encuestas CIS) recogen información sobre si la empresa realiza o no actividades de I+D de forma continua, revelando así la importancia de considerar este aspecto a la hora de determinar el comportamiento innovador de las empresas. Algunos trabajos con estos datos son los de GRIFFITH *et al.* (2006) y PETERS (2009).

(2) Para más información, véase http://www.funep.es/esee/sp/sinfo_que_es.asp.

(3) PAKES y GRILICHES (1984), PAKES y SCHANKERMAN (1984), HAUSMAN *et al.* (1984) y HALL *et al.* (1986), son algunos de los primeros

trabajos que ya abordaron este aspecto. Posteriores aportaciones se pueden encontrar, por ejemplo, en GARCÍA-MONTALVO (1993 y 1997). PAKES y GRILICHES (1984) encontraron que sólo el gasto en I+D contemporáneo y el quinto retardo mostraban efecto significativo sobre la obtención de patentes en el caso de empresas muy intensivas en I+D, mientras que sólo el gasto contemporáneo resultaba significativo en empresas menos intensivas en I+D. El trabajo de HAUSMAN *et al.* (1984) encuentra que, al controlar por efectos fijos, los efectos de los retardos en I+D son difíciles de interpretar, y terminan optando por introducir únicamente el gasto corriente. Los trabajos de GARCÍA-MONTALVO (1993 y 1997), aunque dependiendo del método econométrico utilizado, también encuentran significativos, en general, los primeros retardos.

(4) La ESEE proporciona información sobre estas actividades informales con una periodicidad cuatrienal.

(5) Aplicando las fórmulas del modelo Poisson a nuestra función de producción de innovaciones, tal como se especifica, por ejemplo, en la expresión [2], quedaría como $E[N_{it}/x_{it}] = \lambda_{it} = A(t) ID_{it}^{\alpha} \exp [f(E_{it}) + z_{it} \gamma]$.

(6) En el caso del BN, $E[N_{it}] = \lambda_{it}$ y $Var[N_{it}/x_{it}] = \lambda_{it} + \phi \lambda_{it}^2$, donde λ_{it} es el parámetro de la distribución Poisson. Si el parámetro ϕ resulta significativo en la estimación, cabe rechazar el modelo Poisson frente al binomial negativo.

(7) La hipótesis nula del contraste de Vuong es que los dos modelos considerados se aproximan de modo similar a la verdadera especificación. Si se rechaza la hipótesis nula del contraste, se rechaza el modelo Poisson o BN estándar frente a sus versiones corregidas por exceso de ceros.

(8) Nótese que este resultado es independiente de la inclusión o exclusión de los retardos del gasto en I+D en el modelo.

(9) El incremento en los logaritmos del número esperado de innovaciones entre dos periodos t y $t + \tau$, esto es, el incremento porcentual en el número esperado de innovaciones, viene dado por $\log \lambda_{it+\tau} - \log \lambda_{it} = \beta_1 \cdot (E_{it+\tau} - E_{it}) - \beta_2 \cdot (E_{it+\tau}^2 - E_{it}^2)$, suponiendo todo lo demás constante.

(10) El valor resultante de la elasticidad de las innovaciones respecto al gasto en I+D para un valor de la experiencia de un año sería de 0,0835, mientras que para cinco años de experiencia el valor sería 0,1035.

(11) Estos resultados están disponibles bajo petición a los autores. En cualquier caso, los resultados presentados en la columna 5 del cuadro n.º 4 pueden también considerarse otra prueba de robustez sobre los efectos del problema de censura que nos ocupa, dado que para incluir la variable de contratación de personal con experiencia en I+D (variable que aparece a partir de 1998 en la ESEE) se han tenido que desechar ocho años iniciales de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- ARROW, K.J. (1962), «The economic implications of learning by doing», *The Review of Economic Studies*, 29 (3): 155-173.
- BENEITO, P.; ROCHINA, M.E., y SANCHIS, A. (2007), «R&D-experience and innovation success», *IVIE WP-EC 2007-10*.
- CAMERON, A.C., y TRIVEDI, P.K. (1998), *Regression Analysis for Count Data*, Cambridge, Cambridge University Press.
- DOSI, G., y MARENGO, L. (1993), «Some elements of an evolutionary theory of organizational competences», en ENGLAND, R.W., (ed.), *Evolutionary Concepts in Contemporary Economics*, University of Michigan Press, Ann Arbor.
- FAN, J., y GIJBELS, I. (1996), *Local Polynomial Modelling and its Applications*, Londres: Chapman & Hall.
- FERNANDES, A.M., e ISGUT, A.E. (2007), «Learning-by-exporting effects: Are they for real?», *MPRA Paper 3121*.

GARCÍA-MONTALVO, J. (1993), «Patents and R&D at the firm level: a new look», *Revista Española de Economía*, monográfico *Investigación y Desarrollo*: 67-81.

— (1997), «GMM estimation of count-panel-data models with fixed effects and predetermined instruments», *Journal of Business & Economic Statistics*, 15 (1): 92-89.

GRIFFITH, R.; HUERGO, E.; MAIRESSE, J., y PETERS, B. (2006), «Innovation and productivity across four European Countries», *Oxford Review of Economic Policy*, 22 (4): 483-498.

GURMU, S. (1997), «Semi-parametric estimation of hurdle regression models with an application to medic aid utilizations», *Journal of Applied Econometrics*, 12: 225-242.

GUTIÉRREZ, R.G.; LINHART, J.M., y PITBLADO, J.S. (2003), «From the help desk: Local polynomial regression and Stata plugins», *Stata Journal*, 3: 412-419.

HALL, B.H.; GRILICHES, Z., y HAUSMAN, J. (1986), «Patents and R&D: is there a lag?», *International Economic Review*, 27 (2): 265-283.

HALL, B.H.; MAIRESEE, J., y MOHNEN, J. (2009), «Measuring the returns to R&D», *NBER Working Paper Series 15622*.

HAUSMAN, J.; HALL, B.H., y GRILICHES, Z. (1984), «Econometric models for count data with and application to the patents-R&D relationship», *Econometrica*, 52 (4): 354-383.

HIRSCH, W. Z. (1956), «Firm progress ratios», *Econometrica*, 24: 136-143.

JENSEN, E. J. (1987), «Research expenditures and the discovery of new drugs», *Journal of Industrial Economics*, 36: 83-95.

LINK, A.N.; TASSEY, G., y ZMUD, R.W. (1983), «The induce versus purchase decision: an empirical analysis of industrial R&D», *Decision Sciences*, 14: 46-61.

LUCAS, R.E. Jr. (1988), «On the mechanics of economic development», *Journal of Monetary Economics*, 22: 3-42.

LUNDBERG, E. (1961), *Produktivitet och rdntabilitet*, Estocolmo, P. A. Norstedt and Söner.

NELSON, R.R. (1982), «The role of knowledge in R&D efficiency», *Quarterly Journal of Economics*, 97: 453-470.

NELSON, R.R., y WINTER, S. (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, Harvard University Press.

NEWELL, A., y SIMON, H.A. (1972), *Human Problem Solving*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

PAKES, A., y GRILICHES, Z. (1984), «Patents and R&D at the firm level: a first look», en Z. GRILICHES (ed.), *R&D, Patents and Productivity*, National Bureau of Economic Research, University of Chicago Press: 55-72.

PAKES, A., y SHANKERMAN, M. (1984), «The rate of obsolescence of patents, research gestation lags, and the private rate of return to research resources», en Z. GRILICHES (ed.), *R&D, Patents and Productivity*, National Bureau of Economic Research, University of Chicago Press: 73-88.

PETERS, B. (2009), «Persistence in innovation: stylised facts and panel data evidence», *Journal of Technological Transfer*, 34: 226-243.

ROSEN, S. (1972), «Learning by experience as joint production», *The Quarterly Journal of Economics*, 86 (3): 366-382.

ROSENBERG, N. (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge University Press, Cambridge.

STOKEY, N.L. (1988), «Learning by doing and the introduction of new goods», *The Journal of Political Economy*, 96 (4): 701-717.

UTTERBACK, J.M., y ABERNATHY, W.J. (1975), «A dynamic model of process and product innovation», *OMEGA* 3: 639-656.

VUONG, Q. (1989), «Likelihood ratio tests for model selection and non-nested hypotheses», *Econometrica*, 57: 307-333.

WEST, J., y LANSITI, M. (2003), «Experience, experimentation, and the accumulation of knowledge: the evolution of R&D in the semiconductor industry», *Research Policy*, 32: 809-825.

WRIGHT, T. P. (1936), «Factors affecting the cost of airplanes», *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3: 122-128.