

J. I. LÓPEZ SÁNCHEZ *
B. MINGUELA RATA *
A. RODRÍGUEZ DUARTE *
F. D. SANDULLI *

Uso de internet y paradoja de la productividad: el caso de las empresas españolas **

SUMARIO: 1. *Introducción.* 2. *Marco teórico.* 3. *Modelo teórico.* 4. *Metodología y fuentes de datos.* 4.1. *Procedimientos de estimación.* 4.2. *Descripción de la muestra.* 4.3. *Construcción de las variables.* 4.4 *Posibles problemas con los datos.* 5. *Resultados.* 5.1. *Resultados preliminares.* 5.2. *Desglose del capital TI.* 5.3. *Inclusión de efectos cuadráticos y de interacción.* 6. *Conclusión.*
Referencias bibliográficas

RESUMEN: El trabajo analiza el impacto sobre la productividad de la inversión en Tecnologías de la Información y de las horas de trabajo realizadas utilizando Internet. Se ha estimado una función de producción Cobb-Douglas, utilizando datos *cross section* de una muestra de empresas españolas. Los resultados muestran que la inversión en *hardware*, la inversión en *software* y la utilización de Internet en labores productivas inciden positivamente sobre la productividad. Asimismo, la escasa penetración actual de Internet en las empresas españolas hace presagiar una significativa aceleración de la productividad en el momento que esta tecnología se difunda en el tejido productivo español.

Palabras Clave: Tecnología de la Información, Cobb-Douglas, Función de Producción, Internet.

* Grupo de Investigación de Producción y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (GIPTIC). Departamento de Organización de Empresas. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Dirección de Contacto: Francesco D. Sandulli. GIPTIC. Departamento de Organización de Empresas. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Complutense de Madrid. Campus de Somosaguas. 28223 Madrid. Tfno. (+34) 91 394 24 51. E-mail: sandulli@ccee.ucm.es

** Los autores agradecen los comentarios y sugerencias realizados por los evaluadores anónimos de este artículo. Su trabajo ha contribuido a mejorar las versiones iniciales del mismo.

ABSTRACT: The paper examines the impact of the Information Technology investment and of the Internet work hours on productivity. A Cobb-Douglas production function was estimated using cross section data from a sample of Spanish firms. Results show how both the investment on Information Technology and the Internet usage at work have a positive contribution to productivity. Moreover, the current small diffusion of the Internet in Spanish firms foresees a significant productivity growth as long as this technology spreads in the Spanish productive system.

1. Introducción

En 1987 el premio Nobel de economía Robert Solow llegó a la conclusión de que la gran difusión de los ordenadores no se veía reflejada en las estadísticas de productividad de los Estados Unidos. Esta afirmación dio lugar a una gran cantidad de estudios dirigidos a intentar encontrar una relación positiva entre el empleo de las Tecnologías de la Información y la productividad¹. Finalmente, al final de los años 90 se llegó a un consenso en relación a este fenómeno: tanto los estudios a nivel macroeconómico como los estudios a nivel microeconómico llegaron a la conclusión de que la producción y el empleo de Tecnologías de la Información han contribuido de forma sustancial al crecimiento de la productividad de los Estados Unidos en la segunda mitad de los años 90 (Stiroh, 2003). Estudios a nivel internacional (OCDE, 2001) permiten extrapolar esta conclusión a la mayoría de los países desarrollados. Por lo que respecta a España, también empiezan a aparecer evidencias empíricas de la existencia de una relación positiva entre la inversión en Tecnologías de la Información y la productividad (Dans, 2001; Hernando y Núñez, 2002, Fuentelsaz, Maicas y Polo, 2005).

Nuestro estudio se encuadra dentro de esta línea de investigación: queremos analizar la relación entre la inversión y el empleo de las Tecnologías de la Información y la productividad de las empresas. En este sentido vamos a utilizar el enfoque microeconómico, utilizando datos a nivel de empresa (para una revisión de la literatura ver Dedrick y cols., 2003). Este enfoque ha sido seguido recientemente por numerosos estudios entre los que podemos citar o bien por su relevancia, o bien por analizar el caso español, a Brynjolfsson y Hitt (1996), Prasad y Harker (1997), Black y Lynch (2001), Dans (2001) o Hernando y Núñez (2002). La utilización del enfoque microeconómico se justifica por las ventajas que éste presenta sobre el análisis agregado (Stiroh, 2003): en primer lugar, permite analizar las diferencias existentes entre industrias y en segundo lugar, permite realizar un análisis econométrico más consistente del impacto de las Tecnologías de la Información sobre la productividad. Sin embargo, en relación a los trabajos anteriores, nuestro estudio aporta dos elementos novedosos: vamos a intentar identificar el impacto del uso de Internet sobre la productividad de las empresas, y vamos a intentar separar el impacto sobre la productividad de la inversión de *hardware* y de la inversión en *software* y comunicaciones. La primera inquietud surge porque a pesar del

¹ Una revisión de estos estudios se puede encontrar en Brynjolfsson y Yang (1996).

importante desarrollo de Internet en las empresas², y a pesar de que este desarrollo haya coincidido en el tiempo con el período de mayor crecimiento de la productividad, muy pocos trabajos estudian el impacto de Internet sobre la productividad. La segunda línea de investigación se justifica por el hecho de que muchos análisis se centran en el impacto de la inversión en *hardware* sobre la productividad, prestando menor atención a la relación entre inversión en *software* y comunicaciones y productividad.

2. Marco teórico

Después de dos décadas de lento crecimiento de la productividad en los países desarrollados, tanto la productividad laboral como la productividad multifactorial se aceleraron después de 1995. Una serie de trabajos intentaron demostrar que esta aceleración se debía a las Tecnologías de la Información (TI). En general, la mayoría de estos trabajos toma como base la teoría económica, y en particular la función de producción, según la cual distintas combinaciones de inputs pueden utilizarse para producir un determinado nivel de output. En este contexto, las TI son consideradas como un factor productivo más (esto es, como un input) y por tanto susceptible de contribuir a la producción del output. La idea subyacente es que las TI pueden contemplarse como «tecnologías de propósito general», esto es, tecnologías que pueden utilizarse en muy diversas nuevas aplicaciones, y en particular combinándolas con otras inversiones complementarias como nuevas estrategias, o nuevos procesos de negocio (Drucker, 1988; Malone, 1997). Por ejemplo, las TI tienden a reducir los costes de comunicación, lo que permitiría a las empresas acceder a sistemas organizativos menos jerárquicos donde trabajadores cada vez mejor formados asumiesen mayores niveles de responsabilidad en la toma de decisiones. O también, la mayor capacidad de procesamiento de información generada por las TI permitiría una transición desde los tradicionales sistemas de producción en masa hacia sistemas de producción más flexibles, al posibilitar la existencia de grupos de trabajo autogestionados, mayores niveles de descentralización en la toma de decisiones, menores inventarios de trabajo en proceso, mayor capacidad de introducir cambios en las líneas de producción, etc.

Dentro de esta línea de trabajos, el artículo de Brynjolfsson y Hitt (1996) es una referencia ineludible. Estos autores encontraron una relación positiva entre Tecnologías de la Información y la productividad. Más específicamente, en este estudio se utilizó una función Cobb-Douglas para analizar el impacto tanto de la inversión en ordenadores personales y grandes computadoras como del gasto en personal del departamento de sistemas de información, sobre la productividad de una muestra de empresas incluidas en el ranking 500 de la

² Baste notar que según la OCDE en la mayoría de los países desarrollados más del 60% de las empresas acceden a Internet. Ver López Sánchez y cols., (2004) para una descripción del grado de implantación de las Tecnologías de la Información en la empresa española.

revista Fortune. Los resultados de este estudio indican que por cada dólar adicional gastado o en capital de Tecnologías de la Información (en adelante capital TI) o en personal del departamento de sistemas se producen unos incrementos de 0,81 y de 2,62 dólares respectivamente en el producto de la empresa. Como la muestra del trabajo de Brynjolfsson y Hitt (1996) estaba sesgada hacia empresas manufactureras, Prasad y Harker (1997) decidieron comprobar el mismo planteamiento en el sector servicios, replicando el estudio a nivel sectorial para la industria bancaria y obteniendo resultados parecidos a Brynjolfsson y Hitt (1996). La muestra de Brynjolfsson y Hitt también tenía el problema de estar sesgada hacia grandes empresas. Dans (2001) enfocó el análisis hacia las PYMES españolas, obteniendo, una vez más, resultados similares a los del estudio anterior, observándose en la muestra empleada un incremento del producto de 0,94 dólares por cada dólar adicional invertido en Tecnologías de la Información. En relación al análisis del caso español, un interesante estudio fue realizado por Hernando y Núñez (2002). Estos autores analizan la relación entre valor añadido de las empresas e inversión en capital TI. Un resultado destacado de este estudio es la confirmación empírica de que aproximadamente un 25% del crecimiento de la productividad laboral española en la segunda mitad de los años 90 se debe a la inversión realizada en capital TI. Black y Lynch (2001) utilizaron un nivel de análisis más concreto, al estudiar la relación entre productividad y el uso de ordenadores en los establecimientos productivos. Estos autores observaron cómo a mayor uso de ordenadores por parte de trabajadores no directivos, mayor productividad obtiene el establecimiento. La relación entre capital TI y productividad es observada incluso por trabajos que siguen metodologías diferentes. Así por ejemplo Dewan y Min (1997) utilizan una función de producción CES-Translog, en lugar de una función Cobb-Douglas, obteniendo resultados similares a los de los estudios anteriores. Stiroh (2003) critica el uso de variables stock de capital y realiza el análisis de la relación entre productividad y Tecnologías de la Información, midiendo éstas últimas por medio de variables flujo. Una vez más, los resultados presentados en el estudio confirman la importancia del papel de las Tecnologías de la Información en el crecimiento de la productividad de la segunda mitad de los 90. Brynjolfsson y Hitt (2003) adoptaron el enfoque basado en variables flujo propuesto por Jorgenson y Stiroh (2000) para analizar la productividad multifactorial sobre la misma muestra del estudio del año 1996, y obtuvieron confirmación de la relación positiva entre productividad e inversión en Tecnologías de la Información.

Por lo que respecta a la relación entre productividad y uso de Internet, distintos enfoques teóricos coinciden en destacar que Internet posee un conjunto de características que pueden mejorar la productividad: por ejemplo, el acceso a Internet no está restringido en el tiempo o en el espacio; encontrar información puede ser fácil y eficiente; y es posible transferir diversos tipos de información de forma electrónica. Se considera que Internet permite controlar la producción y el inventario, transferir datos a los sistemas de información de socios o autoridades, y encontrar nuevos clientes. Una utilización avanzada de Internet conduciría a una red integrada, donde los socios estarían conectados entre sí vía Internet, de tal forma que cada uno de los participantes podría con-

centrarse en sus *core business* mientras que los restantes procesos de negocio se subcontratarían a otros socios de la red. Una recopilación de los distintos aportes teóricos que defienden la contribución positiva de Internet sobre la economía se encuentra en Litan y Rivlin (2001). Básicamente, las formas en que Internet permite mejorar la productividad pueden resumirse en los siguientes tres puntos:

1. Se producen significativas reducciones de costes de transacción en la producción y distribución de bienes y servicios.
2. Se incrementa la eficiencia de la empresa, especialmente al permitir a las empresas gestionar sus cadenas de suministro más eficientemente, y facilitar la comunicación tanto dentro de la empresa como con los socios y clientes.
3. Se incrementa la competencia, haciendo los precios más transparentes, y ampliando los mercados para compradores y vendedores, lo que incrementa la presión sobre los suministradores para que adopten tecnologías que transfieran los ahorros de costes.

Sin embargo, y a pesar de la relativa abundancia de planteamientos teóricos, los estudios empíricos sobre el impacto de Internet sobre la productividad son muy escasos. En el monográfico sobre el impacto de Internet sobre la productividad editado por Litan y Rivlin (2001), McAfee (2001) analiza el impacto del uso de Internet a nivel agregado y llega a la conclusión de que para el período de cinco años de la segunda mitad de los años 90, el uso de Internet se puede traducir en una mejora anual del 0.2 al 0.4 por ciento de la productividad laboral en el sector manufacturero. Goss (2001) también realiza el análisis a nivel agregado utilizando como unidad de análisis la industria aunque con mayor rigor que el estudio anterior, utilizando un modelo basado en la función de producción Cobb-Douglas. Los resultados que obtiene Goss confirman que también existe una relación positiva entre la utilización de Internet en el trabajo y productividad laboral, situando la contribución de Internet al crecimiento de la productividad en torno al 0,25 por ciento anual. Otro de los resultados del estudio que es interesante destacar es la desigual contribución de Internet en función de la intensidad tecnológica del sector. En los sectores menos intensivos en el uso de Tecnologías de la Información, el uso de Internet contribuye al crecimiento de la productividad en un 0,52 por ciento anual, mientras que en los sectores más intensivos en el uso de las nuevas tecnologías, la contribución del uso de Internet contribuye al crecimiento de la productividad en un 0,03 por ciento anual.

Tal y como hemos comentado anteriormente, nuestro trabajo intentará superar algunas de las limitaciones encontradas en los estudios anteriores. En primer lugar, contribuirá a acrecentar la escasa investigación dedicada al análisis del impacto del uso de Internet sobre la productividad, utilizando además el enfoque microeconómico, empleando datos a nivel de empresa, que debería producir resultados más fiables que los enfoques a nivel agregado utilizados hasta el momento en este campo. Asimismo, otra contribución se refiere a la distinta forma de estimar el capital de TI: en la mayoría de los trabajos

consultados se estima generalmente a través del cómputo del valor de mercado de *mainframes* y PC's, mientras que en nuestro trabajo el capital de TI incluye además *software* y *comunicaciones*. Este enfoque trata de incorporar las aproximaciones teóricas sobre la contribución de las TI en su vertiente combinada con aspectos organizativos mencionadas más arriba. Por otro lado, en lo que se refiere a los estudios dirigidos a analizar la realidad española, no sólo incorporamos el análisis del impacto de Internet, sino que superamos el enfoque de Dans (2001) o Hernando y Núñez (2002) que tiene en cuenta sólo la relación entre productividad e inversión en Tecnologías de la Información, y no considera el impacto de su uso por parte de los trabajadores.

3. Modelo teórico

Vamos a basar el análisis de los factores que inciden sobre la productividad en la teoría de la producción. Las empresas incluidas en nuestro análisis están clasificadas en j sectores y obtienen una cantidad de producto Q , utilizando una serie de inputs como el capital de Tecnologías de la Información (K_{TI}), el capital no constituido por Tecnologías de la Información (K_{NTI}), el trabajo que utiliza Internet (L_{WEB}) y el trabajo que no utiliza Internet (L_{NWEB}). La función de producción queda de la siguiente forma:

$$Q = F(K_{TI}, K_{NTI}, L_{WEB}, L_{NWEB}, j). \quad (1)$$

La cantidad de producto que puede obtenerse para un determinado input se mide como producto marginal (PM) del input, que puede ser interpretado como una tasa de retorno. Al igual que la mayoría de los estudios comentados en la revisión teórica, vamos a basar nuestro análisis en una función Cobb-Douglas aumentada, que es la forma funcional más corrientemente utilizada en la estimación de funciones de producción y se establece como estándar en estudios que, como el nuestro, tratan de valorar el crecimiento de la cantidad de producto en relación al empleo de una serie de inputs (Brynjolfsson y Hitt, 1996, pág. 545)³. Adoptando la función descrita, y omitiendo por simplificar la notación los efectos sectoriales, la ecuación (1) se transforma en:

$$Q = e^{\beta_0} K_{TI}^{\beta_1} K_{NTI}^{\beta_2} L_{WEB}^{\beta_3} L_{NWEB}^{\beta_4}. \quad (2)$$

A partir de esta especificación, β_1 y β_3 son la elasticidad producto del capital TI y del trabajo realizado utilizando Internet, respectivamente⁴.

³ Tal vez si se emplease una función de producción más flexible como por ejemplo la Translog, los resultados obtenidos fuesen distintos. No obstante, ciertos autores como Griliches (1979) consideran que la elección de la forma funcional no es crítica en la estimación de las elasticidades del output.

⁴ Formalmente, la elasticidad producto de, por ejemplo, el capital TI, E_{KTI} , se define como $E_{KTI} = (\partial F / \partial K_{TI}) (K_{TI} / F)$. Para la función Cobb-Douglas, F , esta elasticidad se puede expresar como:

Con base en las distintas aportaciones teóricas y empíricas revisadas en el epígrafe 2 anterior, el objetivo de este trabajo es comprobar que tanto la inversión en Tecnologías de la Información como la utilización de Internet por parte de los trabajadores, realizan contribuciones positivas al producto de una empresa. En este sentido, este objetivo nos llevará a analizar en primer lugar si realmente los beneficios teóricos derivados de la utilización de Internet como factor de producción, es decir la mejora de la eficiencia y la reducción de los costes de transacción, se traducen en un incremento en el producto por empleado los efectos teóricamente. Formalmente, este objetivo se formula en la siguiente hipótesis:

H1: *Una mayor intensidad en la utilización de Internet como factor de producción, redundará en un aumento de la cantidad de output de una empresa.*

En segundo lugar, tal y como hemos descrito en la revisión teórica del problema objeto de estudio, parece que las empresas con mayores niveles de inversión en Tecnologías de la Información son más productivas que las empresas que invierten menos en estas tecnologías. También sabemos que la evidencia empírica se centra en la medición de las inversiones en *hardware*, dejando de lado las importantes partidas de inversión destinadas al *software* y a las comunicaciones. Con el fin de superar esta limitación, trataremos de identificar en primer lugar si las empresas que invierten en *software* y comunicaciones son más productivas que las que no invierten en estas partidas. Seguidamente, nos interesará conocer qué partida de inversión tecnológica tiene mayor contribución al producto por empleado: la inversión en *software* y comunicaciones o la inversión en *hardware*. En términos operativos, partiremos de siguiente hipótesis general:

H2: *Cuánto mayor sea el nivel de inversión en Tecnologías de la Información mayor será el nivel de output de una empresa.*

Esta hipótesis general se concreta en la siguiente subhipótesis en la que trataremos de analizar la contribución de la inversión en *software* y comunicaciones a la productividad:

H2a: *Cuánto mayor sea el nivel de inversión en software y comunicaciones mayor será el nivel de output de una empresa.*

$$E_{K_{TI}} = (\beta_1 e^{\beta_0} K_{TI}^{\beta_1-1} K_{NTI}^{\beta_2} L_{WEB}^{\beta_3} L_{NWEB}^{\beta_4}) (K_{TI}^{\beta_1-1} K_{NTI}^{\beta_2} L_{WEB}^{\beta_3} L_{NWEB}^{\beta_4}) (K_{TI} / F) = \beta_1$$

El producto marginal del capital TI se obtiene simplemente como el producto entre la elasticidad producto, y la relación entre la cantidad de output obtenido y el capital TI empleado:

$$PM_{K_{TI}} = \partial F / \partial K_{TI} = E_{K_{TI}} (F / K_{TI})$$

4. Metodología y fuentes de datos

4.1. PROCEDIMIENTOS DE ESTIMACIÓN

Centrándonos en la función Cobb-Douglas, podemos observar que no es una función lineal. Sin embargo, expresando dicha función (2) en términos logarítmicos y añadiendo un término de error (ϵ), podremos obtener una ecuación que puede ser estimada por medio de regresión lineal:

$$\begin{aligned} \text{Log } Q = & \beta_0 + \beta_1 \log K_{TI} + \beta_2 \log K_{NTI} + \\ & + \beta_3 \log L_{WEB} + \beta_4 \log L_{NWEB} + \epsilon \end{aligned} \quad (3)$$

donde Q , K_{TI} , K_{NTI} , L_{WEB} , L_{NWEB} y β_1 , β_2 , β_3 , β_4 mantienen su significado anterior⁵.

Para la estimación, se utiliza el método de los mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Sin embargo, dada la estructura de la ecuación (3) no es posible apreciar la posible influencia de efectos de interacción entre K_{TI} y L_{WEB} , así como posibles efectos crecientes o decrecientes de la utilización de un recurso como Internet. Por esta razón, la estimación se completa asumiendo una forma funcional ligeramente distinta a la tradicional Cobb-Douglas, que trate de recoger estos efectos. De este modo, se realizará la estimación por MCO de la ecuación (4), basada en el trabajo de Goss (2001):

$$\begin{aligned} \text{Log } Q = & \beta_0 + \beta_1 \log K_{TI} + \beta_2 \log K_{NTI} + \beta_3 \text{NET} * \log K_{TI} + \\ & + \beta_4 \text{NET}^2 * \log K_{TI} + \beta_5 \text{NET} + \beta_6 \text{NET}^2 + \beta_7 \log L_{TOTAL} + \epsilon \end{aligned} \quad (4)$$

donde NET representa una medida de la utilización de Internet en el trabajo, como se concretará en el punto 4.3.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

El universo de este estudio está compuesto por la totalidad de empresas españolas con al menos un empleado contratado, es decir, todas aquellas sociedades inscritas en el Registro Mercantil con al menos un empleado, excluyendo, por tanto, las personas físicas y aquellas sociedades que declaren no tener algún empleado. De esta manera, en términos numéricos, el universo supone 782.984 sociedades mercantiles, según el Directorio Central de Empresas del Instituto Nacional de Estadística (DIRCE).

A partir de aquí, se obtuvo una muestra representativa a nivel nacional con un error estándar del 1% aproximadamente si $p=q$, formada por 2.286 empre-

⁵ La medición de las distintas variables se especifica en el punto 4.3.

sas españolas con más de un empleado. El método de selección fue aleatorio, orientado por cuotas según sector de actividad, tamaño de la plantilla total y regiones. La distribución muestral ha sido semi proporcional por estratos de tamaño. Esta circunstancia se debió a que si se hubiese seguido un criterio estrictamente proporcional por estratos de tamaño hubiera sido difícil asegurar una base analítica mínimamente autosuficiente para el estrato de empresas de mayor tamaño. Por esta razón, los estratos de tamaños de empresas de más de 10 empleados están ligeramente sobredimensionados. Para las restantes variables la distribución muestral ha mantenido la proporcionalidad estricta.

A continuación se realizó una entrevista telefónica a esas 2.286 empresas, la cual iba dirigida, en las cuestiones que se analizan en este trabajo, al responsable del área de Sistemas de la empresa o, en caso de no existir dicha persona, al gerente o propietario de la misma. Para la gestión de las entrevistas se utilizó, por parte de la empresa encargada del trabajo de campo, Demoscopia, el sistema *Computer-assisted telephone interviewing* (CATI), siendo el tiempo medio de realización de una entrevista de 20 minutos. El período de recogida de información abarcó todo el mes de noviembre de 2002. En la presente investigación solamente se han necesitado datos relacionados con (1) la proporción sobre la cifra de inmovilizado total neto representada por el capital TI, (2) el número de horas que los trabajadores utilizan Internet, (3) el número de horas reales de uso de Internet para tareas relacionadas con el trabajo⁶, (4) el activo neto total de la empresa, (5) los ingresos de explotación de la empresa y (6) el número de empleados. Algunos datos, como la cifra de activo neto total, la cifra de ingresos de explotación y el número de empleados, han sido validados con fuentes de datos externas a la empresa como las bases de datos de ASNEF-EQUIFAX o de SABI. Ante la ausencia de algunos datos, principalmente el número de horas de acceso a Internet, así como la obtención de datos atípicos, la muestra final quedó reducida a 464 empresas, lo que representa un error muestral del 2,32% supuesto $p=q$. Esta cifra es lo suficientemente elevada como para no tener problemas estadísticos como podrían ser grados de libertad insuficientes. En principio, el objetivo de este trabajo no es realizar un análisis a nivel sectorial, sino más bien intentamos extraer conclusiones para una muestra representativa de la realidad empresarial española. Sin embargo, es preciso reconocer que el limitado tamaño de la muestra, si bien al nivel de la totalidad de la población permite garantizar una buena representatividad, lo cierto es que a nivel sectorial no posibilita un nivel de representatividad que permita garantizar estimaciones robustas por sectores⁷, y por eso (además de las razones expuestas en el punto 4.4 siguiente) no

⁶ Recientes estudios confirman el hecho de que los empleados usan Internet para fines personales dedicando para ello una parte considerable del tiempo total de uso de esta tecnología (Muhl, 2003).

⁷ Al analizar la estructura poblacional del universo, predominan las empresas de servicios (37.5%) y comercio (27.1%) frente a las de construcción (14.9%) e industria (20.5%). Sin embargo, en la muestra empleada en esta investigación prevalecen las empresas industriales (30.88%), siguiéndole las constructoras (24.16%), servicios (24.16%) y finalmente el comercio (18.90%).

se han estimado ecuaciones para cada sector. Esa es una de las razones (junto con lo apuntado en el epígrafe 4.3 siguiente) por la que se incluirán *dummies* sectoriales en las ecuaciones a estimar, con objeto de controlar posibles fuentes de distorsión motivadas por diferencias intersectoriales.

4.3. CONSTRUCCIÓN DE LAS VARIABLES

La elección de la forma de medición de la variable dependiente, el output, se hace especialmente crítica en términos de garantizar la capacidad explicativa del modelo y de estimar correctamente las varianzas de los coeficientes. Como se verá posteriormente, se hace necesario encontrar una variable lo suficientemente representativa del output en sectores tan dispares como la industria, el comercio o los servicios. Por tanto, siguiendo el mismo planteamiento que Brynjolfsson y Hitt (1996) la variable dependiente en el modelo, el output, se construyó utilizando los datos de SABI para los «Ingresos Netos de Explotación». De esta forma, se trata de incorporar exclusivamente los ingresos por ventas derivados de la actividad regular de la empresa, excluyendo expresamente las ventas atípicas, con objeto de homogeneizar, en la medida de lo posible, los datos de ventas sobre todo en empresas del sector servicios.

Con respecto a las demás variables, en el cuestionario utilizado para la realización del estudio se recoge el porcentaje que representan los activos de TI sobre el total del stock de inversiones de la empresa. Por activos de TI se entienden el stock de inversión en *hardware*, *software* y *comunicaciones*. La variable K_{TI} (capital de TI) se construyó aplicando dicho porcentaje sobre el «Inmovilizado Total Neto». El Inmovilizado Total Neto representa el total de inversiones en capital realizado por la empresa, neto de depreciaciones. Por tanto, puede considerarse representativo del stock de capital de una empresa. El dato de Inmovilizado Total Neto se recogió para cada empresa de la base de datos SABI.

La variable K_{NTI} recoge el total de inversiones de la empresa que no figuran dentro del apartado «inversiones en TI», y fue construida restando al Inmovilizado Total Neto el valor de la variable K_{TI} . De este modo, todas las inversiones en capital de una empresa estarán ubicadas en K_{TI} o en K_{NTI} . Esta forma de construir el capital total está basada en la metodología usada por otros autores que han analizado el producto marginal de factores de producción específicos (Brynjolfsson y Hitt, 1996, pág. 547).

Para la construcción de las variables L_{WEB} y L_{NWEB} se siguió un enfoque similar. Directamente del cuestionario se obtuvo el número de horas de trabajo efectivo (es decir, sin contar el tiempo dedicado a actividades no productivas) que como media diaria permanecen conectados a Internet los trabajadores con acceso a conexión de red de la empresa⁸. Esta cifra fue multiplicada

⁸ Suele ser práctica habitual entre las empresas realizar el análisis de ficheros log, que son ficheros que registran datos diversos sobre la navegación a través de Internet de los empleados.

por el número de días laborables según convenio (dato del INE) obteniendo como resultado el total de horas efectivas anuales de trabajo realizadas a través de la conexión a Internet (L_{WEB}). El resto de horas de trabajo efectivo no realizadas a través de la conexión a Internet (L_{NWEB}) se calculó restando L_{WEB} al número total de horas laborales por trabajador según convenio (excluyendo festivos e incluyendo el número de horas extraordinarias medio del sector, dato del INE) multiplicado por el número de trabajadores de cada empresa (dato de SABI), y excluyendo las horas de utilización de Internet para temas no laborales. De nuevo, de este modo todas las horas de trabajo efectivas (L_{TOTAL}) pueden ubicarse en L_{WEB} o en L_{NWEB} . Finalmente, siguiendo el planteamiento aplicado por Goss (2001) a su estudio a nivel sectorial, se calculó la variable NET como la relación entre L_{WEB} y L_{TOTAL} .

Por otro lado, la naturaleza de *cross section* de nuestros datos hace necesaria la inclusión de variables que recojan aspectos estructurales (básicamente relacionados con el sector de pertenencia de las empresas) y aspectos idiosincrásicos, internos a las empresas (en particular los relativos a la realización de actividades de I+D y de formación de los empleados), que pueden distorsionar la influencia de las variables de interés sobre el output empresarial. En consecuencia, otras variables (sector, I+D y formación) se incluyen en el modelo como variables de control. Los sectores a los que pertenecen las empresas (dato recogido de SABI) se agruparon primero al nivel de 2 dígitos CNAE 93, y posteriormente se agruparon a un mayor nivel de agregación en cuatro grandes agrupaciones sectoriales: Industria (CNAE 10-41), Construcción (CNAE 45), Comercio (CNAE 50-55) y Servicios (CNAE 60-93) siguiendo la misma agrupación sectorial que realiza el Instituto Nacional de Estadística a la hora de presentar datos agregados. El sector se incluyó en el modelo a través de $k-1$ variables *dummie* que recogen la pertenencia de la empresa a esas agrupaciones sectoriales, es decir, tres *dummies* (Industria, Construcción y Comercio) siendo Servicios el sector omitido.

La variable de I+D (R&D) se construyó a partir de la base de datos que publica el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI). Esta base de datos recoge aquellas empresas que tienen o han tenido alguna relación con el CDTI como puede ser en la realización de proyectos de I+D bajo su coordinación. En este sentido, la variable de I+D se construyó como una *dummie* que representa la realización o no de proyectos de I+D tutelados por el CDTI.

Con respecto a la variable «formación», en el cuestionario se pregunta la frecuencia con la que se imparte formación en aspectos relacionados con el uso de las TI, tanto al personal que trabaja específicamente con TI como al resto de los trabajadores. La respuesta a ambas variables aparece codificada en una escala de 3 puntos donde 1 representa «habitualmente», 2 «rara vez,

A partir de la información contenida en estos ficheros las empresas pueden estimar la utilización de Internet por parte de sus empleados y el tipo de páginas web que éstos visitan de forma más asidua.

con poca frecuencia» y 3 «nunca», mas un cuarto punto para la formación de trabajadores específicos de TI que representa «no existe este tipo de personal». Debido probablemente al bajo número de categorías en las que ubicar las respuestas, se observó una marcada tendencia a la concentración de las respuestas afirmativas en la categoría intermedia 2 «rara vez, con poca frecuencia»⁹. Por este motivo, en este trabajo se optó por recodificar estas variables en dos *dummies*, una para la formación a los trabajadores de TI (Training_TI) y otra para el resto de los trabajadores (Training_Rest), tomando valor 1 si se impartía formación (independientemente de la frecuencia) y cero en caso contrario.

En la tabla 1 aparecen recogidas las variables utilizadas en el análisis así como su forma de construcción. La tabla 2 muestra los estadísticos descriptivos de las principales variables.

TABLA 1.—*Fuentes de datos y construcción de las variables*

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	FUENTE	FORMA DE CONSTRUCCIÓN
Q	Ingresos Netos de Explotación	SABI	Ingresos por ventas derivados de la actividad regular de la empresa, excluyendo las ventas atípicas.
KTI	Capital de TI	Cuestionario, SABI	Resultado de aplicar el porcentaje que representan las inversiones en TI sobre el total de inversiones de capital (Inmovilizado Total Neto) de la empresa.
KNTI	Resto de Capital	Cuestionario, SABI	Diferencia entre el Inmovilizado Total Neto y el valor de KTI
LWEB	Horas de trabajo realizado a través de la conexión a Internet	Cuestionario, SABI, INE	Número de horas de trabajo efectivo realizado en Internet, por el número de días laborables según convenio.
LNWEB	Resto de horas de trabajo	Cuestionario, SABI, INE	Diferencia entre LWEB y el número total de horas laborales efectivas por trabajador según convenio (excluyendo festivos e incluyendo el número de horas extraordinarias medio del sector) multiplicado por el número de trabajadores de cada empresa. Se excluyen horas Internet en el trabajo para cuestionarios personales.
INDUSTRY	Dummi sectorial	SABI	Agrupación sectorial según CNAE 93
R&D	Dummi de I+D	CDTI	Realización o no de proyectos de I+D tutelados por el CDTI.
Training_TI	Dummi de formación a empleados de TI	Cuestionario	Realización o no de actividades de formación a empleados en TI.
Training_rest	Dummi de formación a resto empleados	Cuestionario	Realización o no de actividades de formación al resto de empleados.
NET	% de trabajo realizado con Internet	Cuestionario	Porcentaje de horas de trabajo efectivo realizado con conexión a Internet

⁹ Análisis disponible previa petición a los autores.

TABLA 2.—*Estadísticos descriptivos de las principales variables*

	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESV. TÍP.
Q (miles €)	409	155.519	6378,711	14963,97
LWEB	0,0342	786.600	8688,544	47690,37
KTI (miles €)	0,04	2000	68,796	207,79
NET	0,000187	1	0,094808	0,156758

4.4 . POSIBLES PROBLEMAS CON LOS DATOS

Es posible que la correcta construcción de las variables esté influida por algunos problemas potenciales de los datos, bien por errores en la fuente de los datos o bien por inexactitudes derivadas de problemas de medición. Las consecuencias de estos problemas se tratarán posteriormente en la sección 5.1.2.

En primer lugar, los datos del porcentaje de inversiones en TI y el número de horas dedicadas al trabajo conectado a Internet (datos básicos para la construcción de K_{TI} y L_{WEB} respectivamente) son proporcionados directamente por los encuestados, y por tanto la exactitud de estos datos depende en gran parte de la correcta elección de la persona encuestada (y en particular de la calidad de la información a la que el encuestado tiene acceso), puesto que los datos requeridos implican cierto grado de responsabilidad. En este sentido, las preguntas fueron dirigidas al Director de Sistemas o a la persona responsable de las TI, y en el caso de que éste no existiese, al directivo de mayor rango con responsabilidad en estos temas. Con objeto de garantizar que la información requerida fuese lo más exacta posible, se hizo especial énfasis en este punto a la hora de realizar la encuesta.

En segundo lugar, la medición del output y del K_{TI} en ciertos sectores de servicios es particularmente problemática. Por ejemplo, en las empresas de servicios financieros, consultoría, etc., la capacidad de predicción del output con este modelo era baja, probablemente debido a problemas de definición y cuantificación del output en este tipo de sectores.

Finalmente, no todas las empresas respondieron a la encuesta, como se ha comentado con anterioridad, lo que puede derivar en un sesgo de selección muestral. Pese a los esfuerzos en mantener una proporcionalidad entre la muestra final y la población de empresas, lo cierto es que la muestra final sobrerrepresenta los sectores de industria y construcción. Un análisis Probit (disponible previa petición a los autores) de las características de las empresas que no respondieron a la encuesta (en las preguntas relevantes para construir las variables del modelo), indica que no hay un patrón significativo en la probabilidad de estar incluido en la muestra en aspectos como el número de empleados, pero sí en otros aspectos como el sector de pertenencia o la rentabilidad de los fondos propios. Más concretamente, la probabilidad de estar incluido en la muestra aumenta si la empresa pertenece a los sectores de «industria» y «construcción» y aumenta muy ligeramente en el caso de empresas menos rentables.

5. Resultados

5.1. RESULTADOS PRELIMINARES

Los resultados básicos de este estudio se obtuvieron de la estimación de la ecuación 5 (que es la ecuación [3] ampliada con las variables de control) mediante MCO¹⁰, presentados en la tabla 3.

$$\begin{aligned} \log Q = & \beta_0 + \beta_1 \log K_{TI} + \beta_2 \log K_{NTI} + \beta_3 \log L_{WEB} + \\ & + \beta_4 \log L_{NWEB} + \beta_5 \text{Industria} + \beta_6 \text{Construcción} + \beta_7 \text{Comercio} + \\ & + \beta_8 \text{R\&D} + \beta_9 \text{Training_TI} + \\ & + \beta_{10} \text{Training_rest} + \varepsilon \end{aligned} \quad (5)$$

TABLA 3.—Resultados preliminares (estimación MCO)

VARIABLE DEPENDIENTE: LOGQ					
n = 464					
Heteroscedasticidad de White – Errores Estandar y Covarianza Consistentes					
VARIABLE	COEFICIENTE	ERROR EST.	ESTADÍSTICO T	PROB.	FIV
C	3.67	0.301	12.203	0.0000	
LOGK _{TI}	0.066	0.027	2.454	0.0145	1,979
LOGK _{NTI}	0.224	0.029	7.749	0.0000	2,291
LOGL _{WEB}	0.148	0.021	6.989	0.0000	1,465
LOGLN _{WEB}	0.132	0.036	3.691	0.0003	1,321
INDUSTRIA	0.241	0.103	2.336	0.0199	1,722
CONSTRUCCION	0.080	0.115	0.697	0.4861	1,556
COMERCIO	0.292	0.100	2.912	0.0038	1,602
R&D	0.675	0.157	4.301	0.0000	1,130
TRAINING_TI	0.239	0.071	3.378	0.0008	1,087
TRAINING_REST	0.118	0.072	1.656	0.0985	1,155
R ²		0.64	Estadístico F		79.53
R ² ajustado		0.63	Prob(Estadístico F)		0.00000
Error Estándar de la regresión		0.734	Log verosimilitud		-509.1885
Suma residuos al cuadrado	243.907				

¹⁰ Para la representación del sector, se ha omitido el sector Servicios.

Como se recoge en la tabla 3, el estimador de β_1 indica que el capital de TI está correlacionado con un incremento en el output. En concreto, en este trabajo se estima que la elasticidad del output para el capital de TI es de 0,066 cuando los demás inputs permanecen constantes. Un resultado similar se extrae para las horas de trabajo en Internet: la estimación de la elasticidad del output para L_{WEB} (β_3) es 0,148.

Las estimaciones anteriores dan soporte a las hipótesis anteriormente formuladas: las inversiones en TI y el trabajo realizado en Internet contribuyen positivamente al aumento del output¹¹. Los estadísticos t para las estimaciones¹² de las elasticidades aparecen en la tabla 3. Para el caso de K_{TI} y de L_{WEB} son 2,45 y 6,99 respectivamente, lo que permite rechazar la hipótesis nula de que la contribución de estas variables es cero al nivel de confianza de 0,05 para ambas, y para un nivel de 0,01 para L_{WEB} . Asimismo, se rechaza la hipótesis conjunta de que ambos son iguales a cero ($F= 31,58990$; $p < 0,0001$), lo que puede interpretarse como que las dos variables relativas a las TI (K_{TI} y L_{WEB}) son conjuntamente significativas.

El resultado de contribución positiva y significativa del uso de TI y de Internet sobre el output es consistente con lo obtenido por otros autores en trabajos similares (Brynjolfsson y Hitt, 1996; Black y Lynch, 2001; Goss, 2001), si bien en particular el coeficiente de K_{TI} es notablemente superior al obtenido con metodología similar por Brynjolfsson y Hitt (1996). Una explicación posible es la distinta forma de estimar el K_{TI} : como ya se ha comentado, en el trabajo de esos autores el capital de TI se estima únicamente a través del cómputo del valor de mercado de *mainframes* y PC's, mientras que en el presente trabajo K_{TI} incluye además *software* y *comunicaciones*.

Las elasticidades del resto de factores (K_{NTI} y L_{NWEB}) son también positivas y significativas. Las elasticidades de los factores de producción (β_1 a β_4) suman 0,57, que es significativamente distinto de 1 al 1% de nivel de confianza ($p < 0,01$), lo que implica rendimientos decrecientes a escala, resultado obtenido también por otros trabajos similares con datos de empresas españolas (Gargallo Castel y Galve Górriz, 2003).

Con respecto a las variables de control, los resultados son en general los esperados: se observan diferencias significativas en el output a favor de las empresas que reportan I+D, y a las que dan formación a sus empleados de TI, aunque no así para el caso de la formación al resto de los trabajadores ($p=0,0985$). Este resultado se podría explicar por el hecho de que la necesidad de formar a trabajadores del departamento de sistemas implica normalmente una mayor complejidad de las Tecnologías de la Información de la empresa, mientras que la formación al resto de empleados puede indicar que la empre-

¹¹ Estos coeficientes deben interpretarse como elasticidades medias, sin tener en cuenta diferencias por sectores o tamaños.

¹² Se reportan los estadísticos t calculados a través de la matriz de covarianzas robusta a la heteroscedasticidad de White, puesto que se detectó la presencia de varianza no constante del término de error a través de la prueba de White ($F=2,658378$; $p < 0,001$).

sa utiliza Tecnologías de la Información no tan complejas pero probablemente tampoco tan productivas. Respecto al sector, se observan diferencias significativas respecto al sector omitido (Servicios) de los sectores Comercio e Industria. Este efecto, no sólo captura las externalidades de red dentro de una industria o la dinámica competitiva de dicha industria, sino que puede explicar patrones de heterogeneidad en la obtención de beneficios derivados de la adopción de las Tecnologías de la Información.

El R^2 ajustado es alrededor del 63%, lo que indica que el conjunto de variables independientes «explica» un porcentaje relevante de la varianza del output. Teniendo en cuenta que, dada la naturaleza de *cross section* de los datos, no es posible tener en consideración aspectos idiosincrásicos de la empresa que influirían en su nivel de output y que se reflejarían probablemente en una tendencia temporal, puede considerarse un grado de ajuste satisfactorio.

5.1.1. Potenciales sesgos en la estimación por problemas de tipo econométrico

Las estimaciones de las elasticidades de K_{TI} y de L_{WEB} dependen de la verificación de ciertos supuestos acerca de la especificación econométrica. Un primer requisito de la estimación por MCO para estimar correctamente los errores estándar de las elasticidades es que la correlación entre las variables independientes no sea demasiado elevada (multicolinealidad). Por otro lado, los supuestos econométricos acerca del término de error para producir estimadores y errores estándar insesgados son que este término de error no esté correlacionado con los regresores, y homocedasticidad de la varianza del término de error.

TABLA 4.—Correlaciones entre las variables del modelo

	LogQ	LogK _{TI}	LogK _{NTI}	LogL _{WEB}	LogLN _{WEB}	Man.	Cons.	Comer.	Train. IT	Trai. Rest
Log Q	1,000									
Log K _{TI}	,562**	1,000								
Log K _{NTI}	,690**	,674**	1,000							
LogL _{WEB}	,508**	,381**	,390**	1,000						
LogLN _{WEB}	,694**	,495**	,629**	,477**	1,000					
Manuf.	,309**	,274**	,345**	,106*	,277**	1,000				
Construcc.	-,173**	-,167**	-,204**	-,081	-,034	-,329**	1,000			
Comercio	-,114*	-,165**	-,177**	-,118*	-,215**	-,394**	-,288**	1,000		
Training_TI	,237**	,152**	,149**	,125**	,164**	,056	-,099*	-,065	1,000	
Train_Rest	,211**	,215**	,139**	,277**	,128**	,115*	-,174**	,006	-,061	1,000
R&D	,345**	,171**	,261**	,170**	,244**	,212**	-,037	-,089	,114*	,134**

Centrándonos en primer lugar en los supuestos que no afectan a la posible existencia de sesgo de los estimadores pero sí a sus errores estándar, comenzamos con el problema de la multicolinealidad. Se observa en la tabla 4 que existen correlaciones significativas entre algunas parejas de regresores, en particular entre K_{TI} y K_{NTI} , L_{WEB} y L_{NWEB} , K_{TI} y L_{WEB} , K_{NTI} y L_{NWEB} . Este hecho puede ser indicativo de la presencia de multicolinealidad, por lo que se acude a métodos más formales para su detección como el *índice de condición* (IC) o el *factor de inflación de la varianza* (FIV). Gujarati (1995) sugiere como regla práctica que si IC está entre 10 y 30, existe multicolinealidad entre moderada y fuerte, y si IC excede de 30, la multicolinealidad es severa; mientras que si el FIV de una variable es superior a 10, es indicativo de que esa variable es altamente colineal. Para este trabajo, el IC proporcionado por el programa SPSS es de 20,242, mientras que los FIV de las diferentes variables, que se recogen en la última columna de la tabla 3, oscilan entre 1,087 y 2,291, lo que sugiere que existe un grado de multicolinealidad moderadamente elevado. En cualquier caso, dado que a pesar de la presencia de multicolinealidad, los estimadores de las elasticidades siguen siendo insesgados y de mínima varianza, lo cierto es que no parece que este problema afecte de forma muy relevante a los resultados obtenidos en la sección 5.1. De hecho, Kennedy (1985) afirma que «la existencia de multicolinealidad en un conjunto de datos no significa necesariamente que las estimaciones de los coeficientes tengan varianzas inaceptablemente altas. El clásico ejemplo de esto es la estimación de la función de producción Cobb-Douglas: el capital y la mano de obra están altamente correlacionados y sin embargo se obtienen buenas estimaciones».

Por otro lado, y como se mencionó anteriormente (ver nota al pie 12), se detectó la presencia de varianza no constante del término de error de la ecuación 5, por lo que se calcularon los errores estándar robustos a la heteroscedasticidad según el método de White, reportados por el programa econométrico E-Views. En cualquier caso, la presencia de heteroscedasticidad no implicaría que los coeficientes de las elasticidades estimadas fuesen sesgados, cosa que sí ocurre si se viola el supuesto de no correlación del término de error con los regresores. En consecuencia, el no cumplimiento de este último supuesto es potencialmente un problema.

Una forma en la que ese supuesto puede ser violado es la causalidad inversa o problema de endogeneidad: si bien el incremento en la inversión en un determinado input (por ejemplo el capital de TI) y/o en el uso de un determinado factor de producción (por ejemplo las horas de trabajo en Internet) pueden conducir a un incremento en el output, también es posible que un incremento en el output conduzca a mayores inversiones en TI y/o a un mayor nivel de utilización de Internet para el trabajo.

Una manera de corregir este sesgo es a través de la realización del test de Hausman, en concreto por la versión de este test propuesta por Davidson y MacKinnon (1989, 1993), que realizan el test mediante regresiones auxiliares. Si sospechamos que las variables K_{TI} y L_{WEB} están determinadas endógenamente con el output, entonces los estimadores MCO serían sesgados e inconsistentes. Para contrastar esta hipótesis (endogeneidad de K_{TI} y de L_{WEB}) se necesita un conjunto de variables instrumentales que estén correlacionadas

con las variables «sospechosas» pero no con el término de error de la ecuación 5.

La elección de las variables instrumentales es crítica para la correcta realización del test de Hausman. En este trabajo se escogieron la variable «PROVEEDORES»¹³ como instrumento para K_{TI} , dado que su correlación con $\log K_{TI}$ es 0,14 ($p=0,002$) y con los residuos de la ecuación 5 es 0,077 ($p=0,097$), y la variable «WEB»¹⁴ como instrumento para L_{WEB} , ya que su correlación con $\log L_{WEB}$ es 0,337 ($p<0,001$) y con los residuos de la ecuación 5 es de 0,006 ($p=0,898$).

Los resultados del test de Hausman sugieren que no es posible rechazar la hipótesis de que ambas variables K_{TI} y L_{WEB} sean exógenas¹⁵. En ese caso, las estimaciones MCO de la ecuación 5 serían válidas, por lo que los comentarios de la sección «5.1 Resultados preliminares» siguen siendo válidos.

5.1.2. *Potenciales sesgos en la estimación por problemas derivados de los datos*

Como se comentó en la sección «4.4 Posibles problemas de los datos», existe un potencial problema de sesgo de selección muestral, dado que la muestra utilizada en este trabajo sobrerrepresenta empresas industriales y de la construcción. La razón de que exista este sesgo obedece al hecho de que gran parte de las empresas encuestadas no contestaban a la(s) pregunta(s) necesaria(s) para la construcción de las variables independientes relevantes para este trabajo (K_{TI} y L_{WEB}), resultando que las empresas que sí contestaron eran predominantemente de los sectores Industria y Construcción¹⁶. En consecuencia, estamos ante un problema de selección muestral basado en variables independientes, lo que supone selección muestral exógena, que en principio no causa problemas de sesgo en los MCO siempre que haya una variación suficiente en las variables independientes de la subpoblación (pero sí da como resultado estimadores ineficientes) (Wooldridge, 2000). A pesar de ello, lo cierto es que en la muestra se tiene un perfil de empresa que no se corresponde con la empresa media española, que es la que configura la población objeto de estudio. Por tanto, consideramos que los resultados obtenidos anteriormente podrían verse afectados por la existencia de ese sesgo muestral.

Un segundo problema de los datos es el error de medición de la variable dependiente, el output, en particular para ciertas empresas de servicios. Este error en la medición provoca que las estimaciones de las varianzas de los coe-

¹³ Variable *dummie* que toma el valor 1 si la empresa está interconectada electrónicamente con sus proveedores a través de sistemas EDI o una *extranet*, según datos obtenidos del cuestionario.

¹⁴ Variable *dummie* que toma valor 1 si la empresa posee una página Web, ya sea propia o alojada en algún proveedor de acceso a Internet, según datos obtenidos del cuestionario.

¹⁵ Disponible previa petición a los autores.

¹⁶ Lo que no significa que los sectores de Comercio y Servicios no estén representados, sino que la distribución porcentual de los cuatro sectores no es proporcional a la distribución poblacional.

ficientes puedan ser mayores que si no existiese ese error, pero las estimaciones de las elasticidades continúan siendo insesgadas. Por tanto, no parece que las consecuencias de este problema afecten de forma relevante a los comentarios de la sección «5.1 Resultados preliminares».

Por último, el problema de posibles errores en las variables independientes K_{TI} y L_{WEB} comentado en la sección «5 Posibles problemas de los datos», hace que exista la posibilidad de que los estimadores de las elasticidades no sólo estén sesgados sino que también sean inconsistentes. Una posible forma de solucionar este problema sería el uso de variables *proxy* no correlacionadas con los términos de error ecuacional y de medición. Lamentablemente, con las fuentes de datos utilizadas no ha sido posible encontrar variables *proxy* que no estuviesen correlacionadas con el error de medición, y por tanto que resultasen convincentes. En consecuencia, la solución a este problema pasa por intensificar los esfuerzos para que el encuestado proporcionase información precisa y exacta, tal y como se ha comentado anteriormente en la sección «4.4 Posibles problemas de los datos».

5.2. DESGLOSE DEL CAPITAL DE TI

Una vez analizados los resultados preliminares y comentadas las posibles fuentes de sesgos en la estimación de las elasticidades de las variables de interés, parece que las estimaciones antes reportadas en la sección 5.1 pueden considerarse, con las salvedades planteadas, como libres de sesgo, y por tanto podrían establecerse conclusiones a partir de las mismas.

Uno de los resultados más llamativos de los antes reportados hace referencia a la elevada elasticidad estimada del capital de TI (0,066), al menos con respecto a otros trabajos que han desarrollado una metodología similar. Una posible razón de esta diferencia se puede deber a la distinta forma de estimar el K_{TI} , como ya se ha comentado.

Con objeto de analizar si las diferencias en la estimación de la elasticidad del K_{TI} son debidas a la distinta forma de la construcción de dicha variable, se formuló una regresión en la que K_{TI} se desglosaba, por un lado, en el porcentaje invertido por las empresas en la adquisición de *hardware* ($K_{TI-Hard}$), y por otro lado en la adquisición de *software* y *comunicaciones* ($K_{TI-Rest}$), de forma que todo el capital de TI puede incluirse en $K_{TI-Hard}$ o en $K_{TI-Rest}$.

Los resultados se muestran en la tabla 5. La muestra resultante para la estimación de la ecuación en la que se desglosa el K_{TI} se redujo a 369 empresas, como consecuencia de la falta de respuesta.

Los resultados muestran que la elasticidad de $K_{TI-Hard}$ es 0,056, que sigue siendo relativamente elevada, mientras que la elasticidad de $K_{TI-Rest}$ es de 0,018. Este resultado indica que la mayor contribución de las Tecnologías de la Información al crecimiento de la producción de las empresas muestreadas corresponde al uso de equipos informáticos, frente a inversiones complementarias como *software* o comunicaciones. Las restantes elasticidades mantienen aproximadamente los mismos valores y la misma significatividad que en la ecuación (5).

TABLA 5.—Desglose de K_{TI}

VARIABLE DEPENDIENTE: LOGQ				
n = 369				
Heteroscedasticidad de White –Errores Estandar y Covarianza Consistentes				
VARIABLE	COEFICIENTE	ERROR EST.	ESTADÍSTICO T	PROB.
C	3.498	0.363	9.623	0.0000
LogL _{WEB}	0.151	0.026	5.910	0.0000
LogLN _{WEB}	0.168	0.047	3.548	0.0004
LogKTI_Hard	0.056	0.022	2.521	0.0121
LogKTI_Rest	0.018	0.008	2.328	0.0205
LogKNTI	0.203	0.032	6.375	0.0000
R&D	0.604	0.155	3.887	0.0001
Training_TI	0.222	0.082	2.706	0.0071
Training_Rest	0.140	0.080	1.754	0.0802
Industria	0.214	0.113	1.901	0.0581
Construcción	0.062	0.138	0.449	0.6536
Comercio	0.206	0.116	1.785	0.0751
R ²	0.643	Estadístico F		53.43507
R ² ajustado	0.631	Prob(Estadístico F)		0.000000
Error Estándar regresión	0.729757	Log verosimilitud		-400.7202
Suma de residuos al cuadrado	189.5864			

5.3. INCLUSIÓN DE EFECTOS CUADRÁTICOS Y DE INTERACCIÓN

Dada la naturaleza de las inversiones en capital de TI y del trabajo realizado con el apoyo de Internet, es posible que existan efectos de interacción entre ambas variables, de tal forma que se produzcan complementariedades entre los mismos que contribuyan al aumento de la producción más de lo que lo hacen ambas variables individualmente. Por otro lado, es posible que el efecto positivo del uso de Internet sobre el crecimiento de la producción antes detectado no sea constante a medida que se produzca un mayor uso de Internet. En otras palabras, es posible que el trabajo realizado con Internet tenga productividad marginal decreciente.

Con objeto de contrastar tales posibilidades, se formuló un modelo alternativo que recogiese esos efectos, basado en el trabajo de Goss (2001) y López Sánchez y cols. (2006). Este modelo incorpora las variables de control antes analizadas a la ecuación (4) de la sección 4.1. Los resultados se muestran en la tabla 6.

Se observa que las variables que recogen el efecto de interacción entre K_{TI} y el uso laboral de Internet (NET) presentan coeficientes no significativos, por lo que no es posible afirmar que ambas variables presenten complementariedades en las empresas de la muestra. Por otro lado, se detecta productividad marginal decreciente en el uso laboral de Internet, puesto que el coeficiente

asociado a la variable NET^2 es negativo y significativo ($p=0,0026$). Esto indica que el uso de Internet para tareas relacionadas con el trabajo incrementa la producción hasta un determinado punto (con los datos de la muestra, $NET=0,8351$, o el 83,51%). En otras palabras, dedicando un porcentaje no superior al 83,51% de las horas laborables al uso de Internet para tareas productivas, se logra un incremento de la producción; y a partir de ese punto, la contribución de Internet al crecimiento de la producción es cada vez menor. Este resultado indica que existe un amplio margen para el crecimiento de la producción derivado del uso de Internet, puesto que para las empresas de la muestra el porcentaje medio de utilización de Internet para tareas productivas (9,48%) es sensiblemente inferior a ese punto crítico del 83,51%. Por su parte, las variables de control mantienen su signo y significatividad.

TABLA 6.—*Inclusión de efectos cuadráticos y de interacción*

VARIABLE DEPENDIENTE: LOGQ				
n = 464				
Heteroscedasticidad de White –Errores Estandar y Covarianza Consistentes				
VARIABLE	COEFICIENTE	ERROR EST.	ESTADÍSTICO T	PROB.
C	2.081	0.353	5.891	0.0000
LOGL _{TOTAL}	0.387	0.036	10.644	0.0000
LOGK _{TI}	0.074	0.028	2.587	0.0100
LOGK _{NTI}	0.194	0.027	7.144	0.0000
NET*LOGK _{TI}	-0.550	0.363	-1.514	0.1307
(NET ²)*(LOGK _{TI})	0.633	0.496	1.276	0.2026
NET	3.863	1.178	3.279	0.0011
NET ²	-4.626	1.530	-3.022	0.0026
Training _{TI}	0.230	0.070	3.282	0.0011
Training _{Rest}	0.120	0.070	1.715	0.0870
Industria	0.222	0.102	2.177	0.0300
Construcción	0.030	0.114	0.261	0.7935
Comercio	0.280	0.099	2.825	0.0049
R&D	0.639	0.146	4.384	0.0000
R ²	0.662	Estadístico F		67.68279
R ² ajustado	0.652	Prob(Estadístico F)		0.000000
Error Estándar regresión	0.711	Log verosimilitud		-492.9684
Suma de residuos al cuadrado	227.4366			

6. Conclusión

En este estudio se ha analizado la contribución de la inversión en Tecnologías de la Información y de la utilización de Internet en el trabajo, a la productividad de las empresas españolas. Los resultados del análisis econométrico confirman las hipótesis de partida del trabajo, demostrando que tanto la inversión en Tecnologías de la Información como la utilización de Internet en el trabajo contribuyen positivamente a la productividad de las empresas.

La contribución positiva de la inversión en Tecnologías de la Información a la productividad no es sorprendente, en tanto en cuanto nuestro estudio se une al ya elevado número de estudios empíricos que en los últimos años han llegado a la misma conclusión y en este sentido, parece que la Paradoja de la Productividad de Solow está definitivamente superada. Como elemento novedoso, nuestro trabajo aporta el análisis diferenciado de la inversión en *hardware* e inversión en otras Tecnologías de la Información. Los resultados de este análisis siguen confirmando la contribución positiva a la productividad de la inversión tanto en *hardware* como de la inversión en *software* y comunicaciones. Más concretamente, se observa que el *hardware* es una tecnología más productiva que el *software* y comunicaciones. Una primera explicación de este resultado se puede obtener a partir del análisis de la sustitución de mano de obra por capital TI y de la descentralización en la toma de decisiones, que son dos de los mecanismos que explican la contribución de la inversión en Tecnologías de la Información a la productividad. Estudios anteriores (Dewan y Min, 1997) han demostrado que el capital TI y la mano de obra son recursos sustitutivos en tanto que numerosas tareas manuales, tras la implantación de estas tecnologías, se convierten en tareas mecanizadas (Bresnahan, 1999; Truman, 2000). Otros estudios (Brynjolfsson y Hitt, 2000; Bresnahan y cols., 2002) observan cómo el retorno de la inversión en Tecnologías de la Información depende en gran medida de la estructura organizativa de la empresa, siendo las organizaciones descentralizadas las que mejor aprovechan el potencial productivo de las TI. En este sentido, creemos que aunque la inversión tanto en *hardware* como en *software* y comunicaciones están presentes en ambos mecanismos, la inversión en *hardware* tiene un mayor peso en la sustitución de mano de obra por capital TI, mientras que la inversión en *software* y comunicaciones cobra mayor relevancia en la coordinación de los eslabones de la cadena de valor. Siguiendo este planteamiento, las empresas de nuestra muestra podrían encontrarse en una fase del proceso de adopción de las Tecnologías de la Información en la que se ha producido la sustitución de tareas manuales por tareas mecánicas, pero aún no se ha producido la descentralización de la toma de decisiones necesaria para aprovechar el potencial productivo de *software* y comunicaciones. Una segunda explicación al diferente producto marginal de *hardware* y *software* podría encontrarse en un problema de medición del *software*, al sospechar que la inversión en *software* y comunicaciones pueda estar infravalorada, ya que muchas empresas no cuentan con un inventario claro de todo el *software* del que disponen, problema agravado por la considerable cantidad de pequeños programas informáticos que suele ser desarro-

llado por las propias empresas y que muchas veces no se incluye en las partidas de inversión.

Centrándonos en la medición de la productividad del *hardware*, nuestro estudio obtiene una productividad marginal superior a la que aparece en otros estudios similares. Aunque una posible explicación a este resultado pueda ser que las empresas de nuestra muestra disponen de Tecnologías de la Información más productivas que las empresas de otros estudios empíricos, nos decantamos más por explicar este resultado simplemente a la luz de distintas formas de medir la inversión en Tecnologías de la Información. El método más utilizado en el análisis a nivel de empresa (Brynjolfsson y Hitt, 1996; Dans, 2001) consiste en calcular el stock de inversión en *hardware* medido en unidades físicas para posteriormente transformarlo en unidades monetarias utilizando un precio medio. Nuestro método es sensiblemente distinto ya que preguntamos directamente a la empresa el valor monetario de su stock de inversión en *hardware* como porcentaje del inmovilizado neto. Además debemos recordar que una importante limitación de nuestro estudio es su carácter *cross section*, cuando los otros trabajos manejan paneles de datos. Por esta razón, es probable que posibles efectos fijos no estén siendo reflejados correctamente en nuestras estimaciones econométricas.

Una de las principales contribuciones de nuestro estudio es la confirmación del potencial productivo de Internet. La utilización de esta tecnología para mejorar la coordinación tanto interna de la empresa como externa de la cadena de suministro, y para reducir los costes de transacción, permite incrementar la productividad de la empresa. Se confirma que, como para otras tecnologías, la productividad marginal de la tecnología Internet es decreciente demostrando que en este campo hay un elevado margen de mejora en las empresas. De hecho, el nivel medio de utilización de Internet en las empresas es todavía muy bajo. A la luz de algunos resultados que hemos obtenido en este estudio, como el bajo nivel de formación a los empleados en TI y la posible falta de ajuste entre organización y tecnología, son necesarios numerosos cambios a nivel organizativo y competitivo para poder aprovechar el potencial productivo de Internet. Sin embargo, en función de los resultados arrojados por este estudio pensamos que a medida que la tecnología Internet vaya ganando protagonismo, en un futuro no demasiado lejano podríamos vivir una nueva aceleración del crecimiento de la productividad empresarial.

Referencias bibliográficas

- BLACK, S. E. y LYNCH, L. M. (2001), «How to compete: the impact of workplace practices and information technology on productivity», *Review of Economics and Statistics*, vol. 83, 3, págs. 434-445.
- BRESNAHAN, T. F. (1999), «Computerisation and wage dispersion: An analytical reinterpretation», *Economic Journal: The Journal of the Royal Economic Society*, vol.109, núm. 456, págs. 390 – 415.
- BRESNAHAN, T. F.; BRYNJOLFSSON, E. y HITT, L. (2002), «Information technology, workplace organization and the demand for skilled labor: firm level evidence», *Quarterly Journal of Economics*, vol. 117, núm. 1, págs. 339-376.

- BRYNJOLFSSON, E. y HITT, L. (1996), «Paradox lost? Firm-level evidence on the returns to information systems spending», *Management Science*, vol. 42, 4, págs. 541-558.
- (2000), «Beyond Computation: Information technology, organization transformation and business performance», *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, 4, págs. 23-48.
- (2003), «Computing Productivity: Firm-level evidence», *Review of Economics and Statistics*, vol.85, núm.4, págs. 793-808
- BRYNJOLFSSON, E. y YANG, S. (1996), «Information technology and productivity: A review of the literature», *Advances in Computers*, vol. 43, págs. 179-214.
- DAVIDSON, R. y MACKINNON, J. G. (1989): «Testing for Consistency using Artificial Regressions», *Econometric Theory*, vol 5; pp 363-384.
- (1993): *Estimation and Inference in Econometrics*, Oxford University Press.
- DANS, E. (2001), «IT investment in small and medium enterprises: paradoxically productive?» *The Electronic Journal of Information Systems Evaluation*, vol. 4, <http://www.iteva.rug.nl/ejise/>
- DEDRICK, J.; GURBAXANI, V. y KRAEMER, K. L. (2003), «Information technology and economic performance: A critical review of the empirical evidence», *ACM Computing Surveys*, vol. 35, 1, págs. 1-28
- DEWAN, S. y MIN, C. (1997), «The substitution of information technology for other factors of production: A firm level analysis», *Management Science*, vol. 43, 12, págs. 1660-1675.
- DRUCKER, P. F. (1988), «The Coming of the New Organization», *Harvard Business Review*, vol. 66, núm. 1, Enero-Febrero, págs. 45-53.
- FUENTEALSAZ, L.; MAICAS, J. P. y POLO, Y. (2005), «Hacia una gestión eficiente de las tecnologías de la información y las comunicaciones», *Universia Business Review*, núm. 6, segundo trimestre 2005, págs. 40-53.
- GARGALLO CASTEL, A. y GALVE GÓRRIZ, C. (2003): «Impacto de las Tecnologías de la Información en la productividad: Análisis para el caso español», *XIII Congreso Nacional de ACEDE*, Salamanca.
- GOSS, E. (2001), «The Internet's contribution to U.S. productivity growth», *Business Economics*, vol. 36, 4, págs. 32-42.
- GRILICHES, Z. (1979), «Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth», *Bell Journal of Economics*, vol. 10, no. 1, págs. 92-116.
- GUJARATI, D. N. (1995): *Basic Econometrics*, McGraw-Hill, Inc.
- HERNANDO, I. y NÚÑEZ, S. (2002), «The contribution of ICT to economic activity: A growth accounting exercise with Spanish firm-level data», *Documento de Trabajo* núm. 0203, Banco de España, Servicio de Estudios.
- JORGENSEN, D. W. y STIROH, K. J. (2000), «U.S. Economic Growth at the Industry Level», *American Economic Review*, vol. 90, no 2, págs. 161-167.
- KENNEDY, P. (1985): *A guide to Econometrics*. MIT Press, Cambridge, MA.
- LITAN, R. y RIVLIN, A. (2001), «Projecting the economic impact of the Internet» *The American Economic Review*, vol. 91, 2, págs. 313-317.
- LÓPEZ SÁNCHEZ, J. I.; MINGUELA RATA, B.; RODRÍGUEZ DUARTE, A. y SANDULLI, F. D. (2004), «¿Pueden las tecnologías de la información mejorar la productividad?», *Universia Business Review*, núm. 1, primer trimestre 2004, págs. 82-95.
- (2006), «Is the Internet productive? A firm-level analysis», *Technovation*, en prensa.
- MALONE, T. (1997), «Is Empowerment Just a Fad?», *Sloan Management Review*, vol. 38, núm. 2, invierno, págs. 53-64.
- MCAFEE, A. (2001), «Manufacturing: Lowering boundaries, improving productivity», en Litan, R. y A. Rivlin (eds.), *The Economic Payoff from the Internet Revolution*, Brookings Institutions Press, Washington D.C.

- MUHL, C. J. (2003), «Workplace e-mail and Internet use: employees and employers beware», *Monthly Labour Review*, vol. 126, 2, <http://www.bls.gov/opub/mlr/2003/02/contents.htm>
- OCDE (2001), *The new economy beyond the hype*, The OECD Growth Project, Paris.
- PRASAD, B. y HARKER, P. T. (1997), «Examining the contribution of information technology toward productivity and profitability in U.S. retail banking», Working Paper 97-09, Wharton Financial Institutions Center, Enero 1997.
- SOLOW, R. (1987), «We'd better watch out», *New York Times*, July 12, Book review, N. 36.
- STIROH, K. J. (2003), «Information technology and the U.S. productivity revival: What do the industry data say?» *The American Economic Review*, vol. 92, 5, págs. 1559-1576.
- TRUMAN, G. E. (2000), «Integration in electronic exchange environments», *Journal of Management Information Systems*, vol. 17, núm. 1, págs. 209 - 244.
- WOOLDRIDGE, J. M. (2000): *Introductory Econometrics. A Modern Approach*, Western College Publishing.