



fedea

Fundación de
Estudios de
Economía Aplicada

**Inversión en TICs y productividad:
Un breve panorama y una
primera aproximación al caso
de las regiones españolas**

Angel de la Fuente

Instituto de Análisis Económico (CSIC)

**Colección Estudios Económicos
02-09**

Serie Economía Regional
CÁTEDRA Fedea – Caja Madrid

ISSN 1988-785X
www.fedea.es

Inversión en TICs y productividad: un breve panorama y una primera aproximación al caso de las regiones españolas

Angel de la Fuente*
Instituto de Análisis Económico (CSIC)

Septiembre de 2008

Resumen

Tras un breve repaso de la experiencia internacional, en el presente trabajo se cuantifica la contribución de la inversión en las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) al crecimiento de España y sus regiones y a las disparidades de productividad entre estas últimas. Con este fin se estima una función de producción regional desagregando la dotación de capital en un componente TIC y otro no TIC. Una comparación de los resultados con los obtenidos a partir de la metodología habitual de contabilidad del crecimiento sugiere que la inversión en bienes TIC podría generar efectos indirectos internos y externos muy considerables.

* Este trabajo es fruto del proyecto "El impacto de los sistemas de información en el crecimiento económico", financiado por Microsoft Ibérica S.A. y coordinado por el Prof. José María O'Kean de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. Agradezco también la financiación de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía a través del proyecto SEJ 2005-06357.

1. Introducción

La impresionante mejora y rápida difusión de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs de aquí en adelante) constituye un fenómeno con enormes implicaciones económicas y sociales. Durante las últimas décadas, el rápido avance tecnológico que se ha producido en el sector ha permitido una fuerte y continuada reducción de los precios reales de los equipos informáticos y de las telecomunicaciones así como un enorme aumento en sus prestaciones. Estas circunstancias han hecho posible la incorporación generalizada de las nuevas tecnologías a los sistemas productivos de los países industriales así como un aumento muy notable en sus usos domésticos y administrativos.

Existe una amplia literatura que ha analizado las implicaciones económicas de la generalización de las TICs. En años recientes, una parte significativa de los análisis sobre el tema se han centrado en la cuantificación de la contribución de la inversión en este tipo de bienes al crecimiento económico utilizando técnicas de contabilidad del crecimiento. Especial atención ha recibido la experiencia reciente de los Estados Unidos, donde el fuerte *boom* inversor en TICs parece haber sido uno de los principales responsables del significativo repunte del crecimiento de la productividad registrado en la segunda mitad de los años noventa. Algunos trabajos también sugieren que el retraso europeo en este campo podría ayudar a explicar su decepcionante desempeño en relación a Estados Unidos durante los últimos años.

El presente trabajo toma como punto de partida esta literatura y extiende el análisis al caso español utilizando datos regionales de reciente elaboración. Su principal objetivo es el de cuantificar la contribución de la inversión en TICs al crecimiento de las regiones españolas y a las diferencias de productividad que existen entre ellas. A diferencia del grueso de los trabajos de referencia, sin embargo, el análisis que aquí se presenta no utiliza la metodología habitual de contabilidad del crecimiento sino que se basa en la estimación econométrica de una función de producción agregada. La principal ventaja de esta forma de proceder no exige la imposición a priori de una serie de hipótesis potencialmente muy restrictivas y permite en principio recoger mejor los posibles efectos indirectos de la inversión en bienes TIC sobre la productividad que la metodología habitual. Su coste es que el recurso a la estimación nos expone a los peligros siempre inherentes a cualquier ejercicio estadístico y en particular a la posible existencia de sesgos de diversos tipos que podrían ofrecer una imagen distorsionada de la contribución de las TICs a la productividad. Como veremos más adelante, los resultados son llamativos y sugieren que la contribución de la inversión en bienes TIC al crecimiento de la productividad podría ser sustancialmente mayor de lo que indican algunos trabajos anteriores. Sin embargo, los resultados han de interpretarse con considerable precaución a la espera de un análisis estadístico más cuidadoso que permita establecer su robustez. De aquí el cauteloso título del estudio.

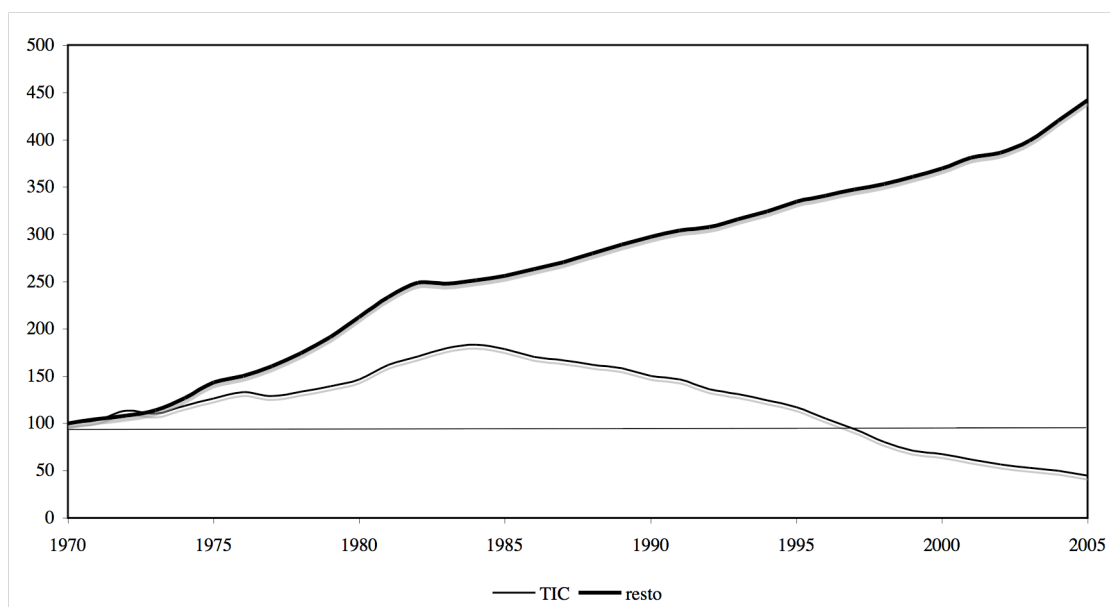
El trabajo está organizado como sigue. La sección 2 contiene un breve repaso de la experiencia comparada americana y europea en materia de inversión en TICs y de algunos trabajos en los que se analizan las implicaciones de la misma para el crecimiento económico. El resto del estudio se centra en el caso español. En la sección 3 se analiza la evolución de las dotaciones

regionales de capital TIC. En la sección 4 se estima una función de producción regional en la que el *stock* de capital físico no residencial se desagrega en un componente TIC y otro no TIC. Utilizando el modelo estimado, en la sección 5 se cuantifica la contribución de la inversión en bienes TIC al crecimiento de España y sus regiones y a las disparidades de productividad entre estas últimas. En ambas secciones, los resultados se comparan con los derivados de la utilización de técnicas de contabilidad del crecimiento. La sección 6 concluye el trabajo.

2. Inversión en TICs y productividad: un breve repaso de la experiencia comparada

Las mejoras tecnológicas en el sector de las TICs han hecho posible un rápido descenso en los precios relativos de este tipo de bienes. El Gráfico 1 resume la evolución de los precios de los bienes de inversión en Estados Unidos entre 1970 y 2005, distinguiendo entre los bienes TIC (ordenadores, programas informáticos y equipos de comunicaciones) y el resto de los activos productivos. Mientras que el precio medio de estos últimos se ha multiplicado por 4.5 durante el período analizado, los precios de los bienes TIC han caído en más de un 50% una vez se controla por su calidad.¹ El descenso de los precios de los bienes TIC comienza a mediados de los años ochenta. Entre 1984 y 2005, los precios de estos activos se han reducido en un 75% gracias fundamentalmente a la aceleración en el ritmo de innovación en el sector productor de semiconductores (Jorgenson, 2001).

Gráfico 1: Índices de precios de los bienes de inversión
(EE.UU. 1970 = 100)

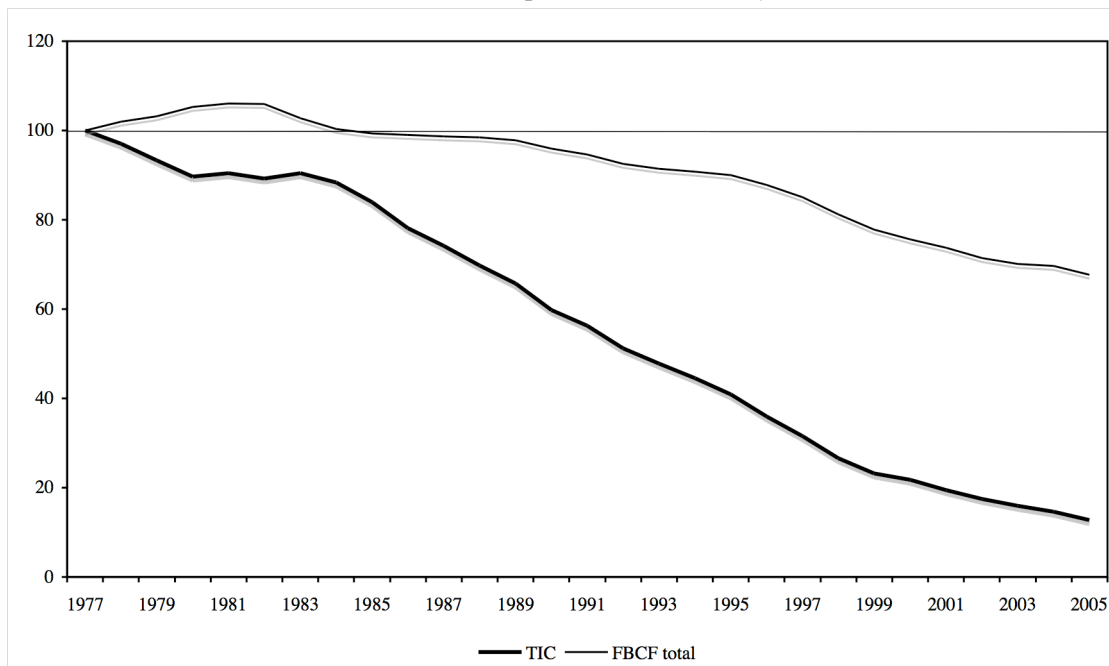


- Fuente: Base de datos KLEMS (United States – NAICS based). Timmer et al (2007)

¹ Los índices de precios de los bienes TIC que se utilizan en la contabilidad nacional de Estados Unidos y de algunos otros países corrigen por la mejora en las prestaciones de estos equipos (véase por ejemplo Cole et al, 1986). Intuitivamente, estos índices (conocidos como de *precios hedónicos*) no reflejan la evolución de los precios medios de los ordenadores per se, sino de los precios medios de una unidad de “poder de cálculo.”

En muchos otros países, incluyendo España, no existen índices oficiales de precios hedónicos por lo que la práctica habitual a efectos de análisis como el realizado en este trabajo consiste en intentar aproximarlos a partir de los datos americanos y de algunos supuestos auxiliares. Todas las bases de datos que he utilizado emplean este procedimiento para expresar en términos reales la inversión en bienes TIC y el *stock* de los mismos.

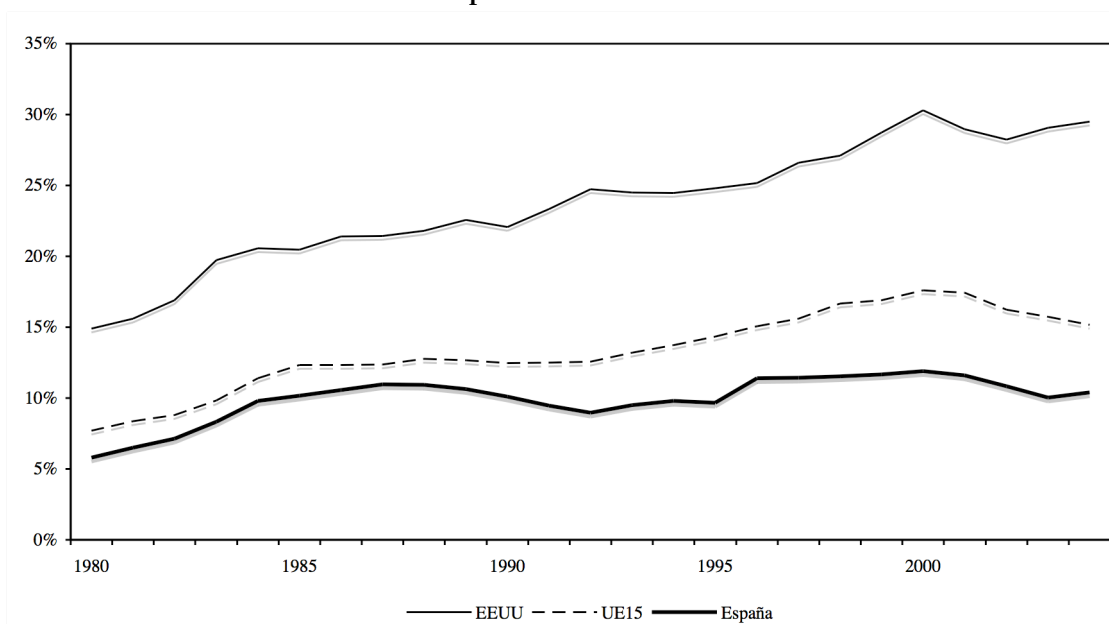
Gráfico 2: Precios de los bienes de capital en relación al *output*, EEUU (1977 = 100)



- Fuente: Base de datos KLEMS. (United States – NAICS based)

El descenso de los precios de los bienes TIC es aún más acusado cuando se considera su evolución en relación a los precios medios del *output* final. El Gráfico 2 resume la evolución de los precios del conjunto de los bienes de capital y de los bienes TIC en Estados Unidos en relación con el deflactor del Valor Añadido agregado. Desde esta perspectiva, los precios relativos de los bienes TIC han caído un 85% entre 1984 y 2005.

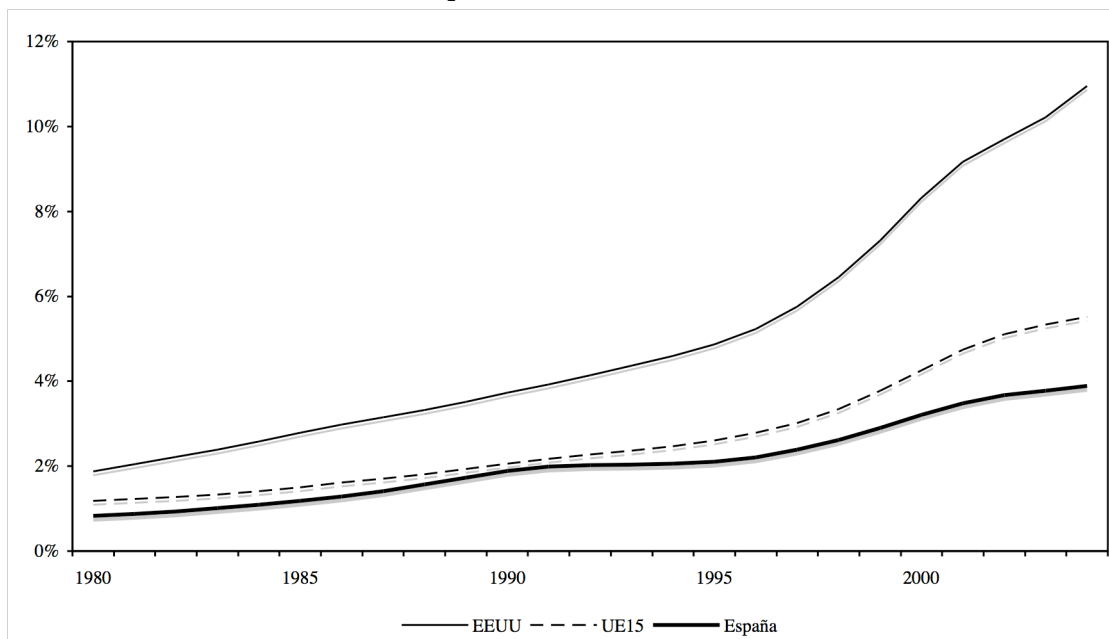
Gráfico 3: Peso de los bienes TIC en la inversión no residencial a precios corrientes



- Fuente: GGDC Total Economy Growth Accounting Database (Timmer et al, 2003, actualizada en 2005)

La reducción de los precios reales de los activos TIC los ha hecho cada vez más atractivos en relación a otros bienes de inversión. Como resultado, el peso de estos bienes en la inversión y en el *stock* de capital de los Estados Unidos ha aumentado espectacularmente desde los años ochenta hasta nuestros días tal como se observa en los Gráficos 3 y 4. A mediados de la década actual, los bienes TIC representaban casi un 30% de la inversión no residencial americana y más de un 10% del *stock* de capital no residencial del país medido a precios de 2000, lo que suponía multiplicar por 1.98 y por 5.84 respectivamente los valores de estos ratios en 1980.

Gráfico 4: Peso de los bienes TIC en el stock de capital no residencial a precios de 2000

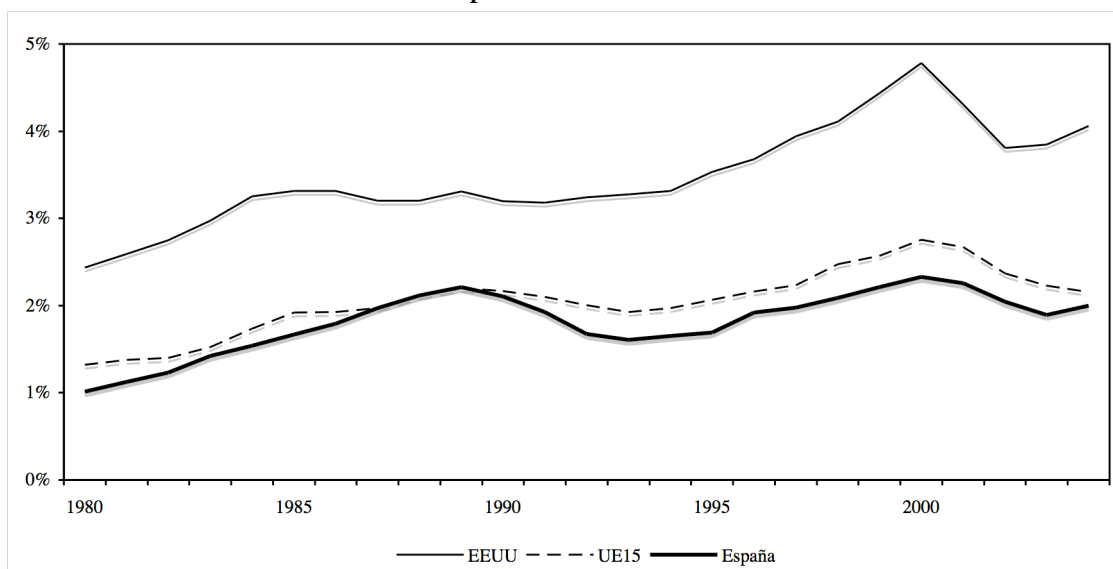


- Fuente: GGDC Total Economy Growth Accounting Database

En el caso europeo y español, el peso de los bienes TIC en la inversión y el *stock* de capital es muy inferior al americano, pero su aumento es también muy acusado. En 2004, los bienes TIC absorbían un 15% de la inversión no residencial de la UE15 y tenían un peso del 5.5% en su stock de capital (10.4% y 3.9% respectivamente para España). Comparando el comienzo con el final del período analizado, el incremento del peso de las TICs en la inversión europea es del 97% mientras que su peso en el *stock* de capital se ha multiplicado por 4.7 (79% y también 4.7 para España).

El Gráfico 5 muestra la evolución de la inversión en bienes TIC como fracción del PIB, con ambas magnitudes medidas a precios corrientes. Una vez más, la Unión Europea se sitúa muy por debajo de los Estados Unidos y España ligeramente por debajo de la media europea. En los tres casos, sin embargo, se observa un fuerte repunte de este indicador durante la segunda mitad de los años noventa, seguido de un apreciable descenso durante el quinquenio siguiente que resulta especialmente pronunciado en los Estados Unidos.

**Gráfico 5: Inversión en bienes TIC como fracción del PIB
(a precios corrientes)**



- Fuente: GGDC Total Economy Growth Accounting Database

Inversión en TICs y crecimiento de la productividad

Existe una extensa literatura que ha analizado el papel de la inversión en TICs en la evolución de la productividad americana y europea durante las últimas décadas. El Gráfico 6 resume algunos datos que han motivado buena parte de estos trabajos en años recientes. Durante la segunda mitad de la década de los noventa y el primer quinquenio de la década actual, el

Gráfico 6: Tasa de crecimiento anual del output por hora trabajada



- Fuente: Base de datos KLEMS

crecimiento de la productividad americana experimentó una notable aceleración en relación con el período precedente, pasando de una tasa media anual de crecimiento del *output* por hora trabajada del 1.8% entre 1981 y 1995 al 2.7% y al 2.4% en los dos quinquenios siguientes. Al mismo tiempo, la Unión Europea (y también España) experimentaba el fenómeno contrario,

pasando a situarse por debajo de los Estados Unidos en términos del crecimiento de la productividad, lo que constituye una situación muy poco frecuente en el período de posguerra.²

Diversos autores han avanzado la hipótesis de que el reciente repunte del crecimiento de la productividad americana podría deberse en buena parte al impacto de las nuevas tecnologías de la información.³ Puesto que los bienes TIC son a la vez parte del *output* y un *input* cada vez más importante, su producción y uso pueden incidir sobre la productividad agregada por varias vías. En primer lugar, la mejora en la eficiencia de los sectores productores de bienes TIC contribuye directamente al crecimiento de la productividad agregada. En segundo lugar, la inversión en estos bienes aumenta el *stock* de capital de los sector usuarios, contribuyendo también a la mejora de la productividad del trabajo. Finalmente, la inversión en nuevas tecnologías podría tener efectos indirectos y generar externalidades positivas que también ayudarían a aumentar la eficiencia de los sectores usuarios. Por ejemplo, existe evidencia microeconómica de que la incorporación de nuevas tecnologías tiende a generar innovaciones complementarias y permite cambios en la organización de las empresas y en su forma de operar que contribuyen a reducir costes y/o a elevar la calidad del producto o servicio.⁴ También resulta plausible que la inversión en este tipo de equipos genere externalidades de red: cuánto mayor sea la base instalada de los mismos, mayor será su rentabilidad para cualquier usuario.

La metodología de *contabilidad del crecimiento* que se ha utilizado generalmente en los estudios sobre el tema (véase la sección *a* del Anexo) permite cuantificar directamente el segundo de los efectos citados y también el primero de ellos siempre que se disponga de datos desagregados para aislar la productividad total de los factores (PTF)⁵ del sector productor de bienes TIC. Aunque el tercer efecto no es directamente cuantificable con esta metodología, la disponibilidad de datos desagregados también permite buscar evidencia indirecta del mismo en la forma de un mayor crecimiento de la PTF en los sectores que más invierten en bienes TIC.

El Cuadro 1, adaptado de Onliner, Sichel y Stiroh (2007), podría ser un resumen de consenso de las conclusiones de los trabajos que han analizado la contribución de las TICs a la evolución de la productividad norteamericana durante las últimas décadas. Las tres primeras columnas del cuadro muestran las fuentes del crecimiento de la productividad media del trabajo en el sector privado no agrícola de este país durante tres períodos: 1973-95, 1995-2000 y 2000-06, distinguiendo entre la aportación de las TICs y otros factores. Dentro del primer apartado se incluye el impacto directo de la acumulación de bienes de capital TIC y la aportación de los productores de estos bienes a la PTF agregada. Dentro del segundo, se distingue entre la

² El agregado europeo para el que se ofrece información en la base de datos KLEMS está formado por los diez países de la UE15 para los que se dispone de la información necesaria para realizar un análisis razonablemente completo de contabilidad del crecimiento a nivel sectorial. Estos países son, en particular, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Alemania, Italia, Holanda y el Reino Unido.

³ Además de los trabajos citados más adelante, véanse entre otros Jorgenson y Stiroh (1999 y 2000), Jorgenson (2001), Onliner y Sichel (2000 y 2003), Jorgenson, Ho y Stiroh (2005 y 2008) y Gordon (2003).

⁴ Véanse entre otros Breshnahan et al (2002) y Brynjolfsson y Hitt (2003).

⁵ La productividad total de los factores, o productividad multifactorial, es un indicador de eficiencia técnica que mide el *output* por unidad de *input* total, considerando el conjunto de los factores productivos utilizados. Sobre su cálculo, véase la sección *a* del Anexo. La PTF del conjunto de la economía es una media ponderada de las PTFs de sus distintos sectores. Si se dispone de datos desagregados, se puede calcular la contribución de cada industria a la PTF agregada o a su crecimiento.

aportación del resto de sectores al crecimiento de la PTF y “otros factores”, donde se incluyen entre otras cosas el aumento en la calidad de la fuerza de trabajo y la acumulación de capital no TIC. La contribución (directa) total de la producción e inversión en bienes TIC al crecimiento de la productividad del trabajo se recoge en la fila 6 del cuadro y el peso de este factor en el total se muestra en la fila 7. Las dos últimas columnas del cuadro recogen la diferencia entre los valores de cada variable en períodos sucesivos con el fin de facilitar el análisis de las fuentes directas de la aceleración del crecimiento de la productividad.

Cuadro 1: Fuentes del crecimiento del output por hora trabajada, EEUU, sector privado no agrícola (puntos porcentuales por año)

	1973-95	1995-2000	2000-06	aceleración	
	[1]	[2]	[3]	[2]-[1]	[3]-[2]
1. crecimiento de la productividad	1.48	2.48	2.81	1.00	0.33
contribuciones de:					
2. acumulación de capital TIC	0.41	1.11	0.69	0.70	-0.42
3. PTF de los productores de bienes TIC	0.29	0.79	0.54	0.50	-0.25
4. PTF de otros sectores	0.32	0.59	1.18	0.27	0.59
5. otros factores	0.46	-0.01	0.40	-0.47	0.41
6. contribución total de las TICs = 2+3	0.70	1.90	1.23	1.20	-0.67
7. % del crecimiento total (6/1)	47%	77%	44%	120%	-203%

- Fuente: Onliner, Sichel y Stiroh (2007), Table 1.

El cuadro sugiere varias conclusiones. La primera es que la aportación de las TICs al crecimiento de la productividad del trabajo en Estados Unidos es muy significativa en todos los períodos, siendo siempre superior al 40%. La segunda es que la aportación de las nuevas tecnologías parece, en efecto, ser la causa inmediata del repunte de la productividad americana a partir de 1995, pero únicamente hasta 2000. Reflejando el fuerte boom inversor registrado durante este período, la aportación de las TICs al crecimiento de la productividad durante el quinquenio 1995-2000 se elevó a 1.9 puntos porcentuales, lo que supone un incremento de 1.2 puntos en relación al período precedente que es más que suficiente para explicar por sí solo el repunte de la productividad. Durante el siguiente quinquenio, sin embargo, la aportación de las TICs a la productividad se redujo muy significativamente, pasando de 1.9 a 1.2 puntos anuales. Pese a ello, el crecimiento de la productividad del trabajo continuó acelerándose, gracias fundamentalmente a la mejora de la eficiencia en los sectores no productores de bienes TIC (especialmente en el sector de servicios destinados a la venta)⁶ y a una mayor contribución de la acumulación de otros tipos de capital.

Algunos autores han buscado también en el bajo nivel de inversión en bienes TIC una posible explicación para el deficiente desempeño de la economía europea en relación a la americana durante la última década. Una vez más, los estudios de contabilidad del crecimiento sugieren que las TICs son parte de la historia, pero no la historia completa.⁷

⁶ Bosworth y Triplett (2007) y Triplett y Bosworth (2006).

⁷ Véanse entre otros Colecchia y Schreyer (2002), Daveri (2000), Timmer et al (2003), Timmer y van Ark (2005) y van Ark et al (2008).

Cuadro 2: Fuentes del diferencial de crecimiento en output por hora trabajada entre la UE15 y EEUU (puntos porcentuales)

	1987-95	1995-2000	2000-04	aceleración	
	[1]	[2]	[3]	[2]-[1]	[3]-[2]
1. crecimiento de la productividad	1.1	-0.5	-1.7	-1.6	-1.2
contribuciones de:					
2. acumulación de capital TIC	-0.1	-0.4	-0.3	-0.3	0.1
3. PTF productores de bienes TIC	-0.2	-0.3	-0.1	-0.1	0.2
4. PTF otros sectores	0.7	0.0	-1.2	-0.7	-1.2
5. otros factores	0.7	0.2	-0.1	-0.5	-0.3
6. contribución total de las TICs = 2+3	-0.3	-0.7	-0.4	-0.4	0.3
7. % del diferencial total	-27%	140%	24%	25%	-25%
<i>nota: contribución de las TICs al crecimiento europeo (no a su diferencial con EEUU)</i>					
8. aportación directa total	0.6	1.0	0.5	0.4	-0.5
9. peso en el crecimiento observado	26%	56%	45%	-80%	71%

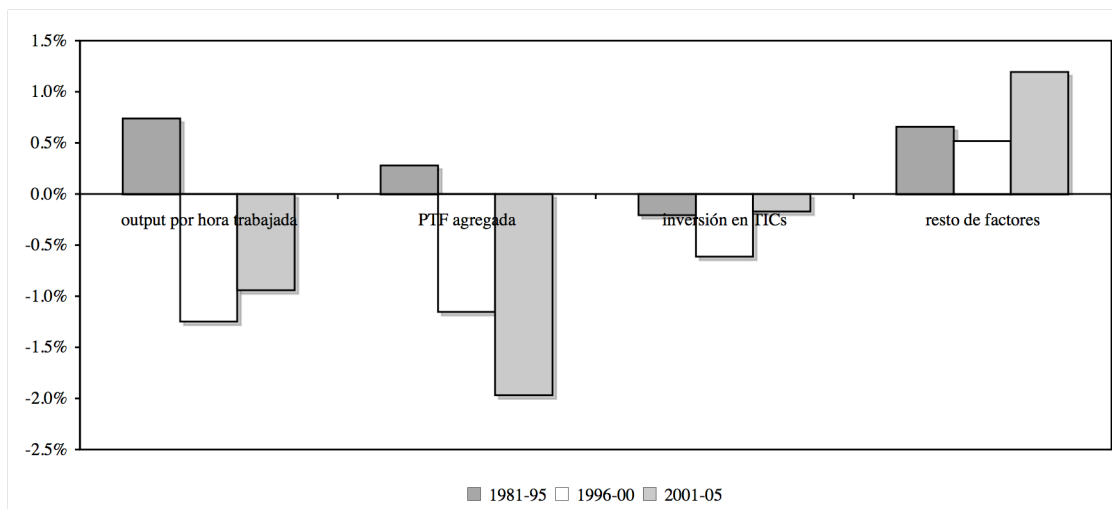
- Fuente: Van Ark e Inklaar (2005), Table 2.

Partiendo de los resultados de van Ark e Inklaar (2005), el Cuadro 2 reproduce el análisis del Cuadro 1. Aunque el Cuadro 2 se centra fundamentalmente en el análisis de las fuentes del diferencial de crecimiento de la productividad del trabajo entre la UE15 y los Estados Unidos, las filas 8 y 9 muestran la aportación de las TICs al crecimiento europeo (en vez de a su diferencial con EEUU como el resto del cuadro) y son por tanto directamente comparables con las filas 6 y 7 del Cuadro 1. Estas cifras muestran que la aportación de las TICs al crecimiento europeo ha sido también muy apreciable (entre medio punto y un punto anual, lo que supone entre un 26% y el 56% del total), pero significativamente menor que la observada en Estados Unidos (entre 0.7 y 1.9 puntos anuales).

Volviendo al diferencial de crecimiento entre la UE y EEUU, ya hemos visto que en ambos territorios se produce un fuerte aumento de la inversión en TICs durante la segunda mitad de los años noventa. El repunte americano, sin embargo, es significativamente más intenso y contribuye por tanto al deterioro del desempeño relativo europeo, pero no lo suficiente para explicarlo por sí solo. Sumando los efectos directos ligados a la producción de bienes TIC y a la inversión en los mismos. Las nuevas tecnologías aportan sólo cuatro décimas al descenso total de 1.6 puntos en el diferencial de crecimiento que se produce entre 1987-95 y 1995-2000. En el quinquenio siguiente las cosas son aún peores: mientras que la contribución de las TICs pasa a ser positiva (porque la inversión americana en estos bienes cae más que la europea), el diferencial de productividad en favor de Estados Unidos continúa ensanchándose. Como antes, la clave está en la evolución de la PTF en los sectores no productores de TIC, que aporta 0.7 y 1.2 puntos respectivamente a la desaceleración relativa de la productividad europea. Al igual que en el caso americano, la contribución de los servicios de mercado parece ser muy importante. Buena parte del incremento diferencial de la productividad del trabajo y de la PTF americanas tiene su origen en este sector (van Ark et al, 2008 y van Ark e Inklaar, 2005).

El Gráfico 7 muestra que la situación es parecida en el caso español.⁸ Aunque no he podido encontrar una descomposición de la PTF agregada española en las contribuciones de los sectores productores y no productores de TICs que sea consistente con la americana, la escasa entidad del primer grupo de sectores en nuestro país hace razonable pensar que la negativa evolución de la PTF agregada española es fundamentalmente un problema de los sectores usuarios.

Gráfico 7: Fuentes del diferencial de crecimiento en output por hora trabajada entre España y los EEUU



- Fuente: Base de datos KLEMS

Los resultados que acabo de resumir dejan abierta la cuestión clave de la contribución de las TICs al crecimiento de la PTF de los sectores usuarios. Aunque algunos autores han encontrado indicios de que este efecto indirecto podría ser importante, la evidencia está lejos de ser concluyente. Trabajando con datos americanos desagregados por industrias, Basu y Fernald (2007) encuentran que la aceleración en el crecimiento de la PTF entre la década de los noventa y la primera mitad de la década actual está positivamente correlacionada entre sectores con la inversión en capital TIC durante los años noventa, pero negativamente correlacionada con el valor contemporáneo de la misma variable. El efecto positivo de las TICs sobre la eficiencia de los sectores usuarios parece producirse, por tanto, con un retardo considerable tras un período en el que de hecho se observa el efecto contrario. Los autores interpretan este último resultado como evidencia de que la inversión en bienes TIC exige importantes inversiones complementarias (en aprendizaje y capital organizativo y humano) para poder extraer todos sus beneficios potenciales. Onliner et al (2007) obtienen resultados cualitativamente similares para el período 1995-2000 pero no para 2001-2006. Para este último período, estos autores, al igual que Gordon (2003), se inclinan más bien por la conclusión de que las mayores ganancias de eficiencia en sectores no productores de TIC se deben a los esfuerzos para reducir costes en industrias sometidas a una fuerte presión competitiva. Otros autores obtienen resultados

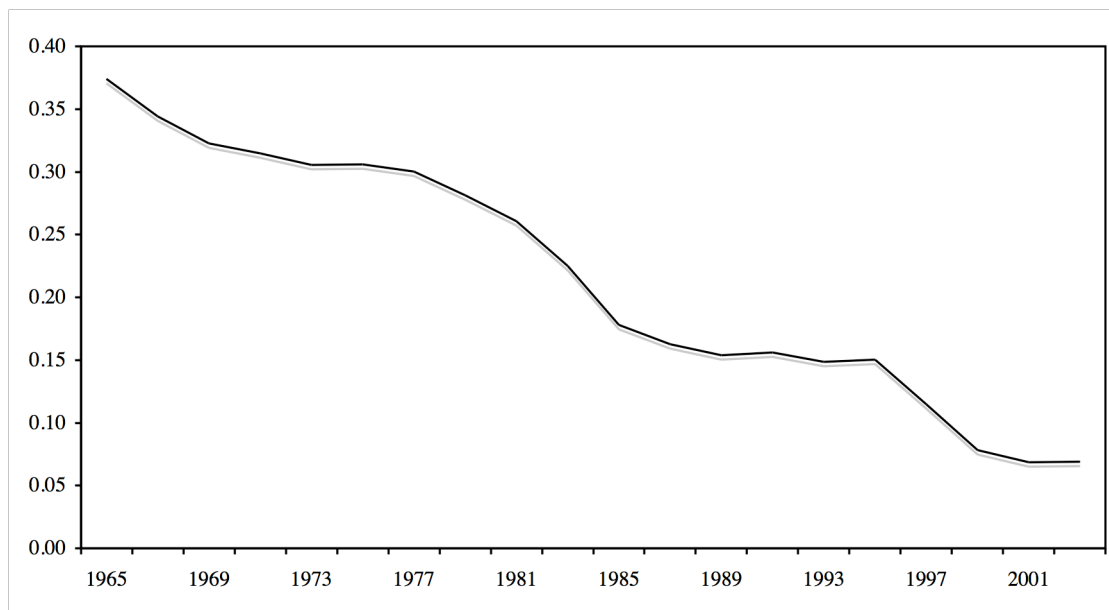
⁸ Sobre España véase Mas y Quesada (2005), que parece ser la fuente de las estimaciones recogidas en la base de datos KLEMS y, para el caso de Andalucía, Martínez y Rodríguez (2006) y Rodríguez y Villar (2007).

negativos utilizando una metodología similar a la indicada. Van Ark e Inklaar (2005) no encuentran evidencia alguna de externalidades positivas ligadas a la inversión en TICs con datos americanos y europeos y Bostworth y Triplett (2007) concluyen que los resultados son generalmente no significativos, especialmente cuando se excluye el sector productor de TICs, con series americanas más recientes que las utilizadas por Basu y Fernald.

3. Las dotaciones de capital TIC de las regiones españolas

El resto del trabajo se centrará en el análisis de la contribución de las TICs a la productividad de las regiones españolas utilizando la base de datos de flujos de inversión y dotaciones regionales de capital publicada recientemente por el IVIE y la Fundación BBVA (Mas et al, 2007). Esta fuente ofrece series de inversión a precios corrientes y constantes para las regiones españolas desagregadas por tipos de activos para el período 1964-2004. Entre los tipos de activos contemplados se incluyen tres que corresponden a bienes TIC: los equipos informáticos y de telecomunicaciones y el *software*. Acumulando los flujos de inversión, el IVIE construye series de *stocks netos de capital* y *stocks de capital productivo*. Intuitivamente, el primero de estos agregados recoge el valor de mercado del *stock* de capital, mientras que el segundo (que es el que utilizaré en el resto del trabajo) intenta aproximar el flujo de servicios productivos derivado del mismo, que depende no sólo de su valor sino también de su vida útil entre otros factores.

Gráfico 8: Coeficiente de variación de la dotación de capital TIC por empleo



Partiendo de estos datos, en esta sección se examina brevemente la evolución de las dotaciones de capital productivo TIC de las regiones españolas. Tanto al comienzo como al final del período muestral se observan diferencias significativas entre comunidades autónomas en términos de sus *stocks* de capital TIC por trabajador y del peso de las TICs en el *stock* total de capital no residencial (excluidas las infraestructuras). Con el paso del tiempo, sin embargo, las disparidades interregionales se han reducido muy significativamente, especialmente en lo que concierne al primero de estos indicadores (Gráfico 8). También ha descendido la correlación

entre las dotaciones de capital TIC y la renta per cápita regional (Gráfico 9). A comienzos de los años 70 muchas de las regiones más ricas disponían de dotaciones de capital TIC muy superiores al promedio nacional, mientras que en buena parte de las de menor renta se daba la situación contraria. A finales del período muestral, sin embargo las diferencias de dotaciones son mucho menores y la correlación con el nivel de renta es menos acusada.

Gráfico 9: Correlación entre la dotación de capital TICs por empleo y la renta per capita

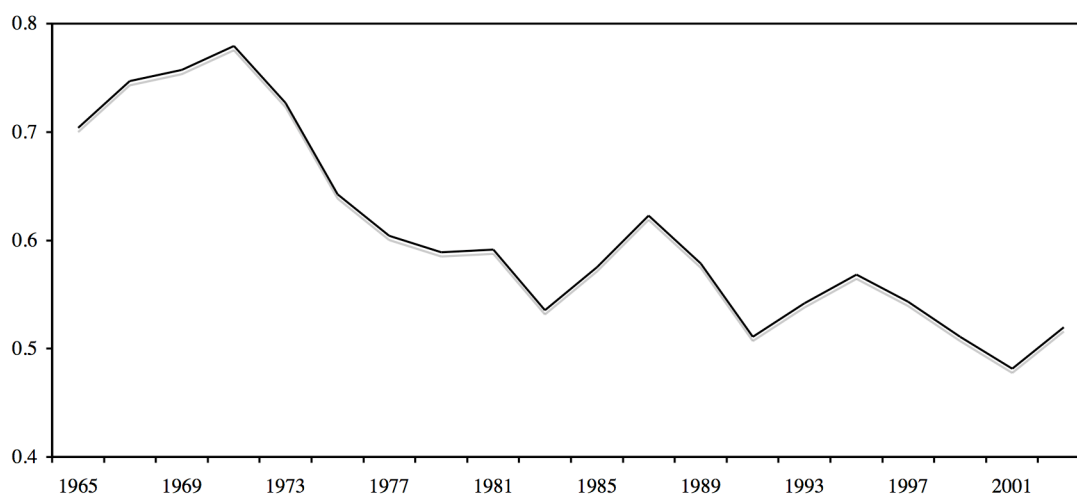
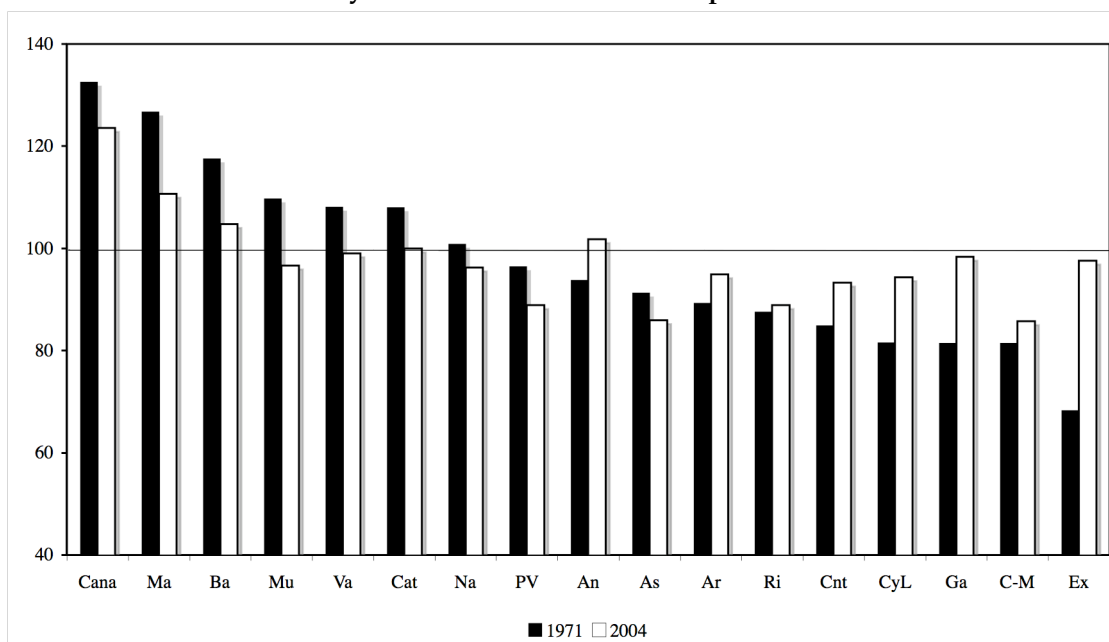


Gráfico 10: Peso de los bienes TIC en el stock de capital productivo no residencial excluyendo las infraestructuras (España = 100)

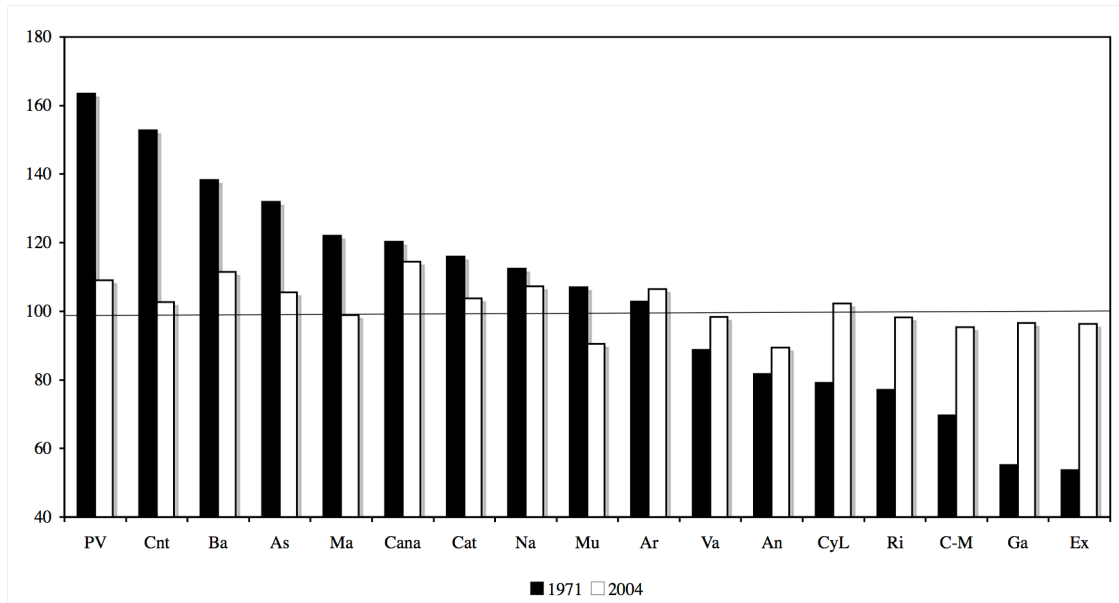


- Fuente: Mas et al (2007).

Los Gráficos 10 y 11 resumen la situación existente a comienzos de los años 70 y en el último año de la muestra. Algunos de los resultados resultan llamativos. Sorprende, por ejemplo, la baja correlación (0.28) que existe en el último año de la muestra entre los indicadores de

intensidad TIC del *stock* de capital y de dotación de bienes TIC por empleo. En 2004 sorprende también la posición de las comunidades insulares entre los primeros puestos del *ranking* de acuerdo con ambos indicadores y de Andalucía, Galicia y Extremadura en términos del primero de ellos, así como la relativamente reducida dotación por empleo de Madrid.

**Gráfico 11: Dotación de capital productivo TIC por empleo
(España = 100)**



- Fuente: Mas et al (2007) para el stock de capital TIC e INE (CRE) y Fundación BBVA para el empleo.

4. Estimación de una función de producción regional

Con el fin de cuantificar el impacto sobre la productividad de las diferencias regionales en dotaciones de bienes TIC, en esta sección se estima una función de producción regional que incluye el *stock* de este tipo de activos entre sus argumentos. Como se indica en mayor detalle en la sección *a* del Anexo, he optado por este procedimiento en vez de por la metodología más habitual de contabilidad del crecimiento porque esta última impone hipótesis restrictivas que impiden capturar las posibles externalidades ligadas a la acumulación de capital TIC. Como referencia, indicaré también los resultados que se obtienen con la metodología alternativa y discutiré las posibles implicaciones de las diferencias entre ellos.

En lo que sigue, supondré que el *output* de cada región (Y) puede expresarse como el producto de la productividad total de los factores (PTF), a la que denominaremos A , y del *input* total de factores (X) que viene dado a su vez por una función translogarítmica con rendimientos constantes a escala y tres argumentos: capital TIC (C), otro capital no residencial (K) y trabajo (L). Utilizando minúsculas para indicar que estamos trabajando con logaritmos, la función de producción regional adopta la forma siguiente:

$$(1) y = a + x$$

donde

$$(2) x = f(k, c, l) = \alpha_K k + \alpha_C c + \alpha_L l + \beta_{KL} kl + \beta_{KC} kc + \beta_{CL} cl + \frac{\beta_{KK}}{2} k^2 + \frac{\beta_{CC}}{2} c^2 + \frac{\beta_{LL}}{2} l^2$$

Supondré también que el *input* efectivo de trabajo viene dado por una función del número de trabajadores (o empleos), N , y del nivel medio de formación de la población medido en años de escolarización (H), de forma que

$$(3) L = NH^\theta$$

o, tomando logaritmos,

$$(4) l = n + \theta h$$

Substituyendo (4) en (2) y utilizando la hipótesis de rendimientos constantes a escala, el producto por trabajador ($Q = Y/L$) puede expresarse como una función de las dotaciones de capital TIC y de otro capital por trabajador (S y Z) y del nivel medio de escolarización (H). Definiendo

$$(5) z = k - n \quad y \quad s = c - n$$

tenemos, en particular, que el logaritmo del output por trabajador ($q = y - n$) viene dado por⁹

$$(6) q_{rt} = y_{rt} - n_{rt} = a_{rt} + \phi(z_{rt}, s_{rt}, \theta h_{rt}) \\ \equiv a_{rt} + (1 - \alpha_K - \alpha_C) \theta h_{rt} + \alpha_K z_{rt} + \alpha_C s_{rt} + \beta_{KL} \theta z_{rt} h_{rt} + \beta_{CL} \theta s_{rt} h_{rt} + \beta_{KC} z_{rt} s_{rt} \\ - \frac{\beta_{KL} + \beta_{KC}}{2} z_{rt}^2 - \frac{\beta_{KC} + \beta_{CL}}{2} s_{rt}^2 - \frac{\beta_{KL} + \beta_{CL}}{2} \theta^2 h_{rt}^2$$

donde he añadido subíndices regionales y temporales a las variables. Es fácil comprobar que las elasticidades output de los distintos factores se pueden calcular utilizando las fórmulas siguientes:

$$(7) \varepsilon_{Krt} = \alpha_K - \beta_{KL}(z_{rt} - \theta h_{rt}) - \beta_{KC}(z_{rt} - s_{rt})$$

$$(8) \varepsilon_{Crt} = \alpha_C + \beta_{KC}(z_{rt} - s_{rt}) - \beta_{CL}(s_{rt} - \theta h_{rt})$$

$$(9) \varepsilon_{Lrt} = 1 - \varepsilon_{Krt} - \varepsilon_{Crt}$$

La función translog puede considerarse como una aproximación cuadrática en logaritmos a una función de producción arbitraria. A la hora de estimarla, resulta conveniente construir esta aproximación en torno a un punto de referencia que esté cercano a la media muestral. En el presente caso, utilizaré como referencia el valor del *output* por trabajador y de las dotaciones de factores por trabajador correspondientes a España en su conjunto en 1979, que vendrá dado por

$$(10) q_o = a_o + \phi(z_o, s_o, h_o)$$

Utilizando tildes para indicar desviaciones sobre este punto de referencia, de modo que por ejemplo

$$\tilde{q}_{rt} = q_{rt} - q_o,$$

⁹ Los detalles de la derivación de la ecuación a estimar están en la sección b del Anexo.

es posible reescribir la ecuación (6) en la forma

$$(11) \quad \begin{aligned} \tilde{q}_t = & \tilde{a}_t + (1 - \varepsilon_C^o - \varepsilon_K^o) \theta \tilde{h}_t + \varepsilon_C^o \tilde{s}_t + \varepsilon_K^o \tilde{z}_t + \beta_{LC} \theta \tilde{h}_t \tilde{s}_t + \beta_{LK} \theta \tilde{h}_t \tilde{z}_t + \beta_{CK} \tilde{s}_t \tilde{z}_t \\ & - \frac{1}{2} \left((\beta_{LC} + \beta_{LK}) \theta^2 \tilde{h}_t^2 + (\beta_{LC} + \beta_{CK}) \tilde{s}_t^2 + (\beta_{LK} + \beta_{CK}) \tilde{z}_t^2 \right) \end{aligned}$$

donde ε_I^o es la elasticidad output del *input* I evaluada en el punto de referencia (q_o, z_o, s_o, h_o) .

Reagrupando términos,

$$(12) \quad \begin{aligned} \tilde{q}_t = & \tilde{a}_t + (1 - \varepsilon_C^o - \varepsilon_K^o) \theta \tilde{h}_t + \varepsilon_C^o \tilde{s}_t + \varepsilon_K^o \tilde{z}_t - \beta_{CK} \frac{1}{2} (\tilde{s}_t - \tilde{z}_t)^2 \\ & + \beta_{LC} \left(\theta \tilde{h}_t \tilde{s}_t - \frac{1}{2} \tilde{s}_t^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \tilde{h}_t^2 \right) + \beta_{LK} \left(\theta \tilde{h}_t \tilde{z}_t - \frac{1}{2} \tilde{z}_t^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \tilde{h}_t^2 \right) \equiv \tilde{a}_t + \varphi(\tilde{z}_t, \tilde{s}_t, \tilde{h}_t) \end{aligned}$$

y tomando diferencias, obtenemos

$$(13) \quad \begin{aligned} \Delta \tilde{q}_t = & \Delta \tilde{a}_t + (1 - \varepsilon_C^o - \varepsilon_K^o) \theta \Delta \tilde{h}_t + \varepsilon_C^o \Delta \tilde{s}_t + \varepsilon_K^o \Delta \tilde{z}_t - \beta_{CK} \frac{1}{2} \Delta (\tilde{s}_t - \tilde{z}_t)^2 \\ & + \beta_{LC} \left(\theta \Delta (\tilde{h}_t \tilde{s}_t) - \frac{1}{2} \Delta \tilde{s}_t^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \Delta \tilde{h}_t^2 \right) + \beta_{LK} \left(\theta \Delta (\tilde{h}_t \tilde{z}_t) - \frac{1}{2} \Delta \tilde{z}_t^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \Delta \tilde{h}_t^2 \right) \end{aligned}$$

donde, para cada variable v , Δv se define como

$$\Delta v_t = v_{t+1} - v_t$$

Para poder estimar la ecuación, es necesario hacer algún supuesto sobre la evolución del término de progreso técnico, $\Delta \tilde{a}_t$. Supondré en particular que este término es la suma de un efecto fijo temporal común a todas las comunidades y de un término de *catch-up* tecnológico proporcional a la brecha tecnológica entre cada territorio y la región líder (que identificaré con la comunidad de Madrid), de forma que

$$(14) \quad \Delta \tilde{a}_t = \gamma_t + \lambda (\tilde{a}_{Mt} - \tilde{a}_t) = \gamma_t + \lambda \left[(\tilde{q}_{Mt} - \varphi(\tilde{z}_{Mt}, \tilde{s}_{Mt}, \tilde{h}_{Mt})) - (\tilde{q}_t - \varphi(\tilde{z}_t, \tilde{s}_t, \tilde{h}_t)) \right]$$

donde el subíndice M corresponde a Madrid. Obsérvese que he invertido la función de producción para expresar el nivel de PTF (a) en función del nivel de *output* por trabajador (q) y de las dotaciones de factores productivos. Substituyendo (14) en (13), finalmente, se obtiene la forma más general de la ecuación a estimar.

El modelo se estima por mínimos cuadrados no lineales utilizando el panel de datos que se describe en la sección *c* del Anexo. Los resultados se resumen en el Cuadro 3. Según nos movemos hacia la derecha en el cuadro, las especificaciones se van complicando hasta llegar al “modelo completo” que se estima en las columnas [5] y [6]. En las columnas [1] y [2] se estima una función Cobb-Douglas en la que se omiten los términos de interacción entre los distintos *stocks* de factores productivos. En la ecuación [1] se omite también el término de *catch-up* tecnológico, que se recupera en la ecuación [2]. En la ecuación [3] se estima la función translog completa, incluyendo los términos de interacción, pero sin término de difusión tecnológica y en la [4] se utiliza la misma especificación aunque omitiendo los términos que no resultan

significativos en la ecuación anterior. Este procedimiento se repite en las columnas [5] y [6] incluyendo ahora el término de difusión tecnológica. La estimación del modelo completo se repite, finalmente, añadiendo *dummies* regionales que no resultan significativas. Los coeficientes del resto de las variables en esta última especificación (que no se incluye en el Cuadro) no cambian significativamente en relación a los que se muestran en las columnas [5] y [6].

Cuadro 3: Resultados de la estimación del modelo

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
ε_c^o	0.122 (2.72)	0.065 (1.38)	0.091 (1.97)	0.091 (1.97)	0.062 (1.30)	0.063 (1.35)
ε_k^o	0.277 (4.86)	0.291 (5.58)	0.288 (4.98)	0.286 (4.93)	0.251 (4.71)	0.249 (4.85)
θ	1.175 (2.58)	1.183 (3.23)	1.368 (3.78)	1.316 (3.63)	1.119 (3.00)	1.139 (3.09)
λ		0.0288 (7.00)			0.0358 (6.38)	0.0355 (7.61)
β_{CK}			0.185 (2.23)	0.152 (2.64)	-0.003 (0.03)	
β_{LC}			-0.022 (0.56)		-0.103 (2.38)	-0.100 (3.28)
β_{LK}			-0.151 (1.87)	-0.179 (2.91)	0.014 (0.16)	
R^2	0.9257	0.9339	0.9297	0.9296	0.9411	0.9411
β_{LL}			0.173	0.179	0.089	0.100
β_{CC}			-0.163	-0.152	0.106	0.100
β_{KK}			-0.034	0.027	-0.012	0.000
ε_L^o			0.620	0.623	0.688	0.688

Notas:

- Estadísticos *t* entre paréntesis debajo de cada coeficiente.
- Todas las ecuaciones incluyen *dummies* temporales.
- Los coeficientes que aparecen en las últimas cuatro filas del cuadro no se estiman directamente sino que se recuperan a partir de las restricciones que implica el supuesto de rendimientos constantes a escala.

El capital humano (θ), el stock de capital no TIC (ε_k^o) y el término de difusión tecnológica (λ) resultan significativos y tienen el signo esperado en todas las especificaciones. El único de los términos de interacción que resulta significativo en la especificación con difusión tecnológica es β_{LC} . Su signo negativo indica que el trabajo y el capital TIC son sustitutos en el sentido (no convencional) de que un aumento en el *stock* de cada uno de estos factores reduce la elasticidad output del otro (véanse las ecuaciones (8) y (9)).

La elasticidad output del capital TIC

Dados los objetivos del presente trabajo, el parámetro de mayor interés es la elasticidad output del capital TIC (ε_{Ct}), esto es, el coeficiente que nos dice en cuanto aumentaría el *output* con un incremento del 1% en el *stock* de bienes TIC destinado a la producción. El coeficiente de este factor en la ecuación (ε_c^o) tiene siempre el signo correcto pero no resulta significativo en las

columnas [5] y [6], donde se recoge la especificación preferida del modelo. Para interpretar este resultado, conviene recordar que ε_c^o es la elasticidad output del capital TIC en un punto determinado de la muestra (el que corresponde al conjunto de España en 1979) y que ε_{Crt} es una función de las dotaciones de factores y puede variar, por lo tanto, con el paso del tiempo y entre regiones.

**Gráfico 12: Evolución de la elasticidad output del capital TIC:
valor estimado para el conjunto de España y máximo y mínimo regionales**

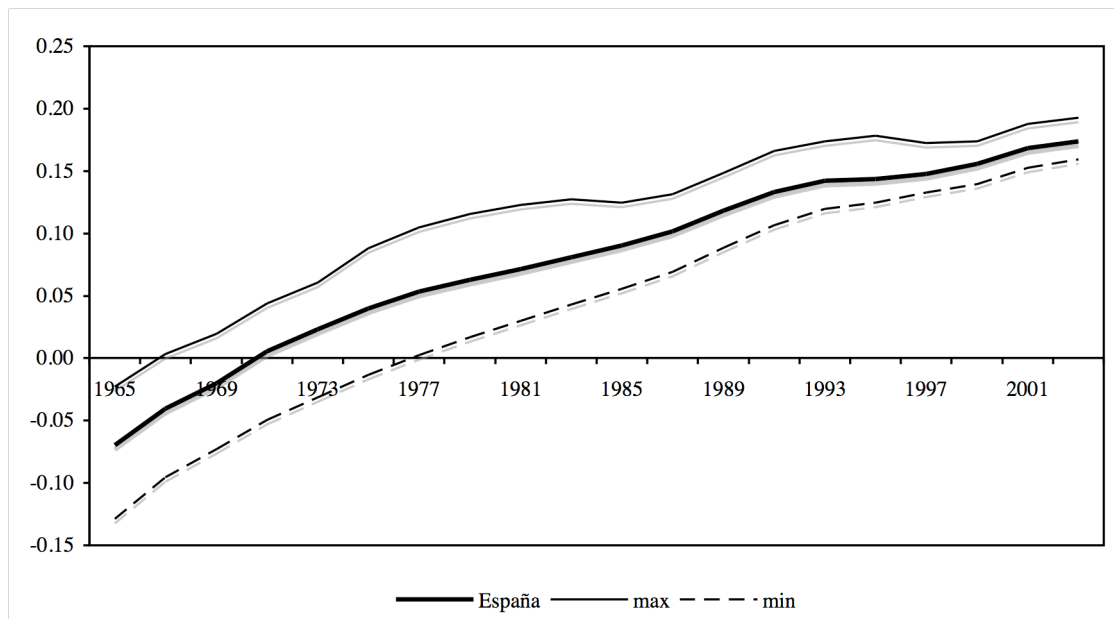
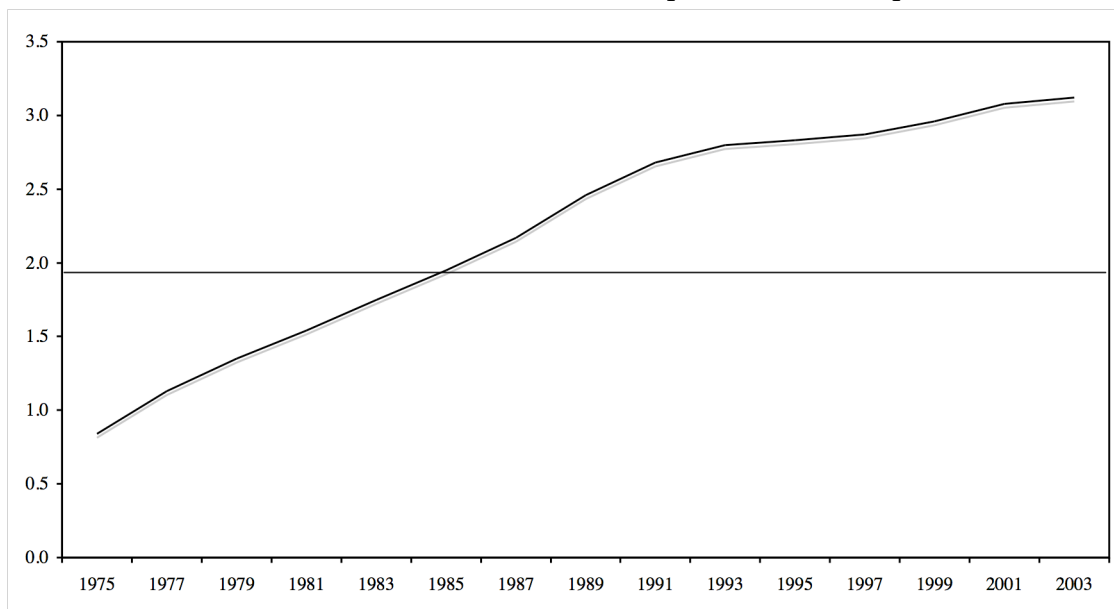


Gráfico 13: Estadístico t de la elasticidad output del stock de capital TIC



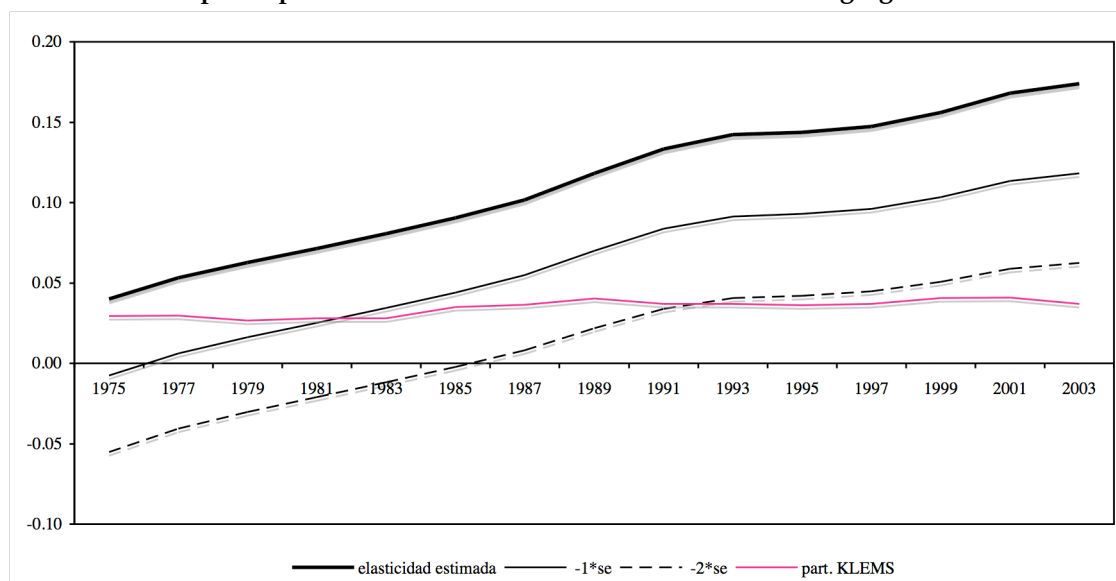
Utilizando la ecuación (8), los coeficientes estimados en la columna [6] del Cuadro 3 y las series de dotaciones de factores, he reconstruido la senda temporal de ε_{Crt} en el conjunto de España y en cada comunidad autónoma, así como los estadísticos t correspondientes a la elasticidad media nacional con los resultados que se resumen en los Gráficos 12 y 13. Como se puede

observar, la evolución de las dotaciones de factores y el valor de β_{LC} estimado en [6] implican un aumento continuado en el valor y significatividad de la elasticidad output del capital TIC hasta alcanzar en el último año de la muestra un valor de 0.174 con un t ratio de 3.12. El coeficiente nacional, finalmente, resulta significativo al 5% a partir de 1985.

En conclusión, la estimación del modelo indica que la inversión en bienes TIC tiene un impacto significativo y creciente sobre la productividad de España y sus regiones. Aunque esto es seguramente lo que cabría esperar, el valor de la elasticidad output de los bienes TIC estimado para la segunda mitad de la muestra resulta llamativamente elevado. La estimación ha de interpretarse con precaución por dos motivos. El primero es el peligro de un sesgo de endogeneidad que no es en absoluto descartable dada la técnica de estimación que he utilizado. El segundo es que el estimador no es tan preciso como sería deseable. Pero en cualquier caso, los resultados sugieren que la inversión en bienes TIC podría generar efectos externos que hacen que su impacto sobre el crecimiento sea considerablemente mayor de lo que implican los análisis basados en la contabilidad del crecimiento.

¿Hasta qué punto es fiable esta conclusión? Descartar la posibilidad de un sesgo positivo de endogeneidad es siempre difícil y en cualquier caso exigiría un análisis estadístico complicado que tendrá que quedar para investigaciones futuras. La respuesta a la pregunta que acabo de plantear sólo puede ser, por tanto, provisional. Con toda la cautela necesaria es, sin embargo, afirmativa: dado el valor estimado del parámetro de interés, y descartando por el momento los posibles sesgos, podemos estar razonablemente seguros de que la elasticidad output del capital TIC en España es, al menos en años recientes, superior a la participación de este factor en el valor añadido.

Gráfico 14: Elasticidad output del capital TIC en el conjunto de España, límites inferiores del intervalo de confianza y participación de los bienes TIC en el valor añadido agregado



- Nota: la participación de los bienes TIC en el valor añadido agregado se toma de la base de datos KLEMS.

La razón se resume en el Gráfico 14, donde se reproduce una vez más la senda del valor estimado de la elasticidad output de los bienes TIC en el conjunto de España, añadiendo también tres líneas de referencia. Las dos primeras ($-1*se$ y $-2*se$) son los límites inferiores de los intervalos de confianza al 66% y al 95% en torno al valor estimado del parámetro (que se obtienen restando uno y dos errores estándar del coeficiente de su valor estimado) y el tercero (*part. KLEMS*) es la participación de los bienes TIC en el VAB agregado español de acuerdo con la base de datos KLEMS.

Como se indica en la sección *a* del Anexo, la participación de cada factor en el valor añadido y su elasticidad output son iguales bajo una serie de supuestos que incluyen la ausencia de externalidades. La diferencia entre ambos, por tanto, puede interpretarse como un indicador de la importancia de tales externalidades, siempre y cuando la elasticidad esté correctamente estimada. El Gráfico sugiere la existencia de importantes efectos externos ligados a la acumulación de capital TIC con un patrón creciente en el tiempo que, pensando en posibles efectos de red, podría resultar plausible. Lo que no resulta plausible es el tamaño de estas externalidades si nos atenemos al estimador puntual de la elasticidad porque las mismas serían mucho mayores que el efecto directo de los bienes TIC sobre la productividad (medido por su participación en el VAB) durante buena parte de la muestra. Pero incluso si tomamos el límite inferior del intervalo de confianza más ancho, la elasticidad output de los bienes TIC es superior a su participación en el valor añadido a partir de 1993.

5. La contribución de las TICs a la productividad regional y a su crecimiento

Utilizando la función de producción estimada en el apartado anterior, podemos cuantificar la contribución del capital TIC a los diferenciales de productividad entre regiones y al crecimiento de la misma variable. Una herramienta básica para este ejercicio será la siguiente propiedad de la función de producción tranlogarítmica (véase la sección *a* del Anexo): dados dos vectores arbitrarios de inputs, $k_a = (z_a, s_a, \theta h_a)$ y $k_b = (z_b, s_b, \theta h_b)$ tenemos

$$(15) \phi(z_b, s_b, \theta h_b) - \phi(z_a, s_a, \theta h_a) = \bar{\epsilon}_K (z_b - z_a) + \bar{\epsilon}_C (s_b - s_a) + (1 - \bar{\epsilon}_K - \bar{\epsilon}_C) \theta (h_b - h_a)$$

donde $\phi()$ es la función de producción intensiva definida en (6) y, para cada input I ,

$$(16) \bar{\epsilon}_I = \frac{\epsilon_{Ia} + \epsilon_{Ib}}{2}$$

es el promedio de las elasticidades output correspondientes a cada una de las combinaciones de *inputs* que estamos considerando. Aplicando esta expresión a la misma economía en dos momentos en el tiempo, se obtiene una descomposición del crecimiento del *output* en las aportaciones de cada uno de los factores productivos y de la PTF. Aplicándola a dos territorios diferentes en un momento dado del tiempo se obtiene una descomposición análoga del diferencial de productividad observado entre ellos.¹⁰

¹⁰ Esta descomposición resulta muy conveniente pero es también un tanto engañosa porque asigna todas las diferencias de *output* a algún *input* en particular o la PTF. Sin embargo, las elasticidades mismas son funciones de los ratios factoriales, por lo que la contribución asignada a cada *input* depende en realidad de las dotaciones de otros factores.

La contribución de la inversión en TICs al crecimiento regional y nacional

Fijemos un territorio determinado y consideremos el crecimiento del output por trabajador en el mismo entre los períodos t y $t+1$. Tomando diferencias de la ecuación (6) y utilizando (16) tenemos

$$(17) \quad \Delta q_t = q_{t+1} - q_t = (a_{t+1} - a_t) + (x_{t+1} - x_t) = \Delta a_t + [\phi(z_{t+1}, s_{t+1}, \theta h_{t+1}) - \phi(z_t, s_t, \theta h_t)] \\ = \Delta a_t + \bar{\varepsilon}_{Kt}(z_{t+1} - z_t) + \bar{\varepsilon}_{Ct}(s_{t+1} - s_t) + (1 - \bar{\varepsilon}_{Kt} - \bar{\varepsilon}_{Ct})\theta(h_{t+1} - h_t)$$

donde

$$\bar{\varepsilon}_t = \frac{\varepsilon_{It} + \varepsilon_{It+1}}{2}$$

para cada *input* I . Por tanto, el crecimiento de la productividad se puede descomponer utilizando la expresión siguiente:

$$(18) \quad \Delta q_t = \Delta a_t + \bar{\varepsilon}_{Kt}\Delta z_t + \bar{\varepsilon}_{Ct}\Delta s_t + (1 - \bar{\varepsilon}_{Kt} - \bar{\varepsilon}_{Ct})\theta\Delta h_t$$

donde nos interesa en particular la contribución del capital TIC, que viene dada por

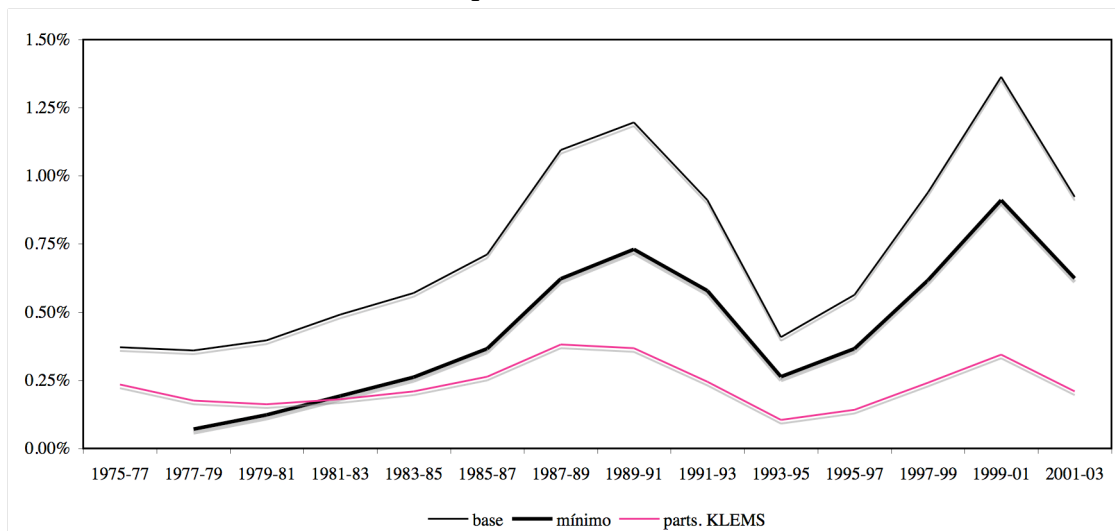
$$(19) \quad Cs_t = \bar{\varepsilon}_{Ct}\Delta s_t$$

Puesto que, como ya se ha dicho, los resultados de la estimación han de tomarse con considerable cautela, en lo que sigue calcularé la contribución del capital TIC al crecimiento nacional y regional bajo tres supuestos alternativos. En primer lugar, calcularé las elasticidades output trabajando directamente con los coeficientes estimados con la especificación preferida de la función de producción regional (ecuación [6] en el Cuadro 3). En segundo lugar, y con el fin de obtener una estimación más conservadora (“de mínimos”) del efecto buscado, restaré un error estándar de los valores estimados de las elasticidades correspondientes a España en su conjunto. Puesto que el cálculo de los errores estándar es laborioso, a la hora de calcular la contribución de las TICs para cada región y período, reduciré el valor estimado de la elasticidad correspondiente en la misma proporción que la elasticidad nacional del mismo período. Puesto que el valor estimado de la elasticidad output del capital TIC resulta ser negativa en los primeros años de la muestra, el análisis se restringe al período 1975-2003 en el escenario de base y a 1977-2003 en el de mínimos, donde ya no se produce este resultado tan poco plausible. Finalmente, recalcularé la aportación de las TICs al crecimiento de la productividad trabajando con el procedimiento estándar en la contabilidad del crecimiento, esto es, suponiendo que la elasticidad output del capital TIC es igual a su peso en el producto nacional, que tomaré de la base de datos KLEMS. Puesto que esta base de datos sólo ofrece datos nacionales, en este último caso he tenido que suponer que la elasticidad output del capital TIC es la misma en todas las regiones.

El Gráfico 15 muestra las tres estimaciones alternativas de la contribución de las TIC al crecimiento del producto por trabajador que se obtienen aplicando la ecuación (19) a una hipotética región promedio a la que he atribuido las dotaciones de factores por trabajador y el nivel medio de formación del conjunto del país. De acuerdo con la estimación “de mínimos”, la

contribución de la inversión en bienes TIC al crecimiento de la productividad agregada española se situaba en torno a una décima de punto a finales de los años setenta, elevándose gradualmente durante la década de los ochenta hasta alcanzar las siete décimas durante el bienio 1989-91. Seguidamente se observa una cierta desaceleración durante la primera mitad de los noventa y un nuevo repunte en la segunda parte de la década. En promedio, la contribución de este factor al crecimiento de la productividad entre 1977 y 2004 se sitúa en el 0.44% anual, lo que supone un 30% del crecimiento observado del *output* por trabajador durante el mismo período. Estas cifras son significativamente mayores que las que se desprenden de la estimación obtenida aplicando la metodología estándar de contabilidad del crecimiento. Con este procedimiento, la contribución media de las TICs al crecimiento durante el período indicado habría sido del 0.23% anual, un 16% del total. Finalmente, con la estimación “de base” la contribución de las TICs se elevaría hasta niveles poco plausibles: tres cuartos de punto anuales o la mitad del crecimiento observado

**Gráfico 15: Contribución de las TIC al crecimiento del producto por trabajador.
Promedio de España. Estimaciones alternativas**



El Cuadro 4 muestra la contribución media de la inversión en bienes TIC al crecimiento de la productividad de cada región entre 1977 y 2003 bajo los tres escenarios que estamos considerando. Bajo el escenario de mínimos, las contribuciones oscilan entre 0.37 puntos anuales en Madrid y 0.52 en Extremadura. Estas cifras se reducen aproximadamente a la mitad cuando se utilizan las participaciones de la base KLEMS y se incrementan en torno a un 70% en el escenario de base. Aunque la ordenación de las regiones no guarda una relación clara con su nivel de renta, algunas de las regiones más pobres se sitúan en las primeras posiciones del ranking y algunas de las más ricas en las últimas.

Cuadro 4: Contribución media de la acumulación de capital TIC al crecimiento de la productividad, 1977-2003

	<i>base</i>	<i>mínimos</i>	<i>part. KLEMS</i>
<i>Extremadura</i>	0.90%	0.52%	0.28%
<i>Castilla la Mancha</i>	0.89%	0.50%	0.26%
<i>Canarias</i>	0.84%	0.48%	0.22%
<i>Galicia</i>	0.80%	0.49%	0.30%
<i>Aragón</i>	0.79%	0.47%	0.24%
<i>Valencia</i>	0.79%	0.46%	0.24%
<i>Castilla y León</i>	0.79%	0.46%	0.26%
<i>Andalucía</i>	0.78%	0.44%	0.23%
<i>Rioja</i>	0.76%	0.45%	0.26%
<i>Baleares</i>	0.76%	0.42%	0.18%
<i>Cataluña</i>	0.75%	0.43%	0.22%
<i>Murcia</i>	0.74%	0.43%	0.23%
<i>Navarra</i>	0.74%	0.43%	0.22%
<i>Asturias</i>	0.73%	0.42%	0.20%
<i>Cantabria</i>	0.69%	0.40%	0.20%
<i>País Vasco</i>	0.68%	0.39%	0.19%
<i>Madrid</i>	0.63%	0.37%	0.22%
<i>España</i>	0.76%	0.44%	0.23%

- *Nota:* promedio de las contribuciones de los bienes TIC al crecimiento para cada bienio.

La contribución de las TICs a las diferencias de productividad entre regiones

Procediendo de la misma forma, pero comparando ahora a cada economía regional con el promedio nacional, podemos definir la productividad relativa de la región r como

$$\tilde{q}_r = q_r - \bar{q}$$

donde la barra indica que estamos tomando la productividad media del país en su conjunto. La descomposición análoga a la desarrollada arriba vendría dada por

$$(20) \tilde{q}_r = \tilde{a}_r + \bar{\varepsilon}_{K_r} \tilde{z}_r + \bar{\varepsilon}_{C_r} \tilde{s}_r + (1 - \bar{\varepsilon}_{K_r} - \bar{\varepsilon}_{C_r}) \theta \tilde{h}_r$$

donde

$$\tilde{z}_r = z_r - \bar{z}, \quad \tilde{s}_r = s_r - \bar{s} \quad \text{y} \quad \tilde{h}_r = h_r - \bar{h}$$

y

$$\bar{\varepsilon}_I = \frac{\varepsilon_{I_r} + \bar{\varepsilon}_I}{2}$$

donde $\bar{\varepsilon}_I$ es la elasticidad output del input I en el promedio de España. La contribución del capital TIC a la productividad relativa de la región r vendrá dada por:

$$(21) C\tilde{s}_r = \bar{\varepsilon}_{C_r} \tilde{s}_r$$

Como indicador de la importancia de las TICs como fuente de disparidades regionales de productividad, calcularé el *peso medio* del capital TIC en la productividad relativa. Para ello, estimaré para cada período una regresión de corte transversal de la forma

$$(22) \ C\tilde{s}_r = w_C \tilde{q}_r$$

El coeficiente w_C así obtenido representa la contribución porcentual de la dotación de bienes TIC al diferencial de productividad entre una región típica y el promedio nacional en el período de interés.¹¹

Al igual en el apartado anterior, el cálculo se repite bajo tres supuestos distintos sobre los valores de las elasticidades relevantes: utilizando directamente la función de producción estimada, reduciendo en un error estándar el coeficiente así obtenido y utilizando la participación de los bienes TIC en el VAB agregado español de acuerdo con la base de datos KLEMS.

Cuadro 5: Contribución del capital TIC a la productividad relativa regional en 2003

	<i>base</i>	<i>mínimos</i>	<i>part. KLEMS</i>
<i>Canarias</i>	2.68%	1.82%	0.54%
<i>Baleares</i>	2.22%	1.51%	0.45%
<i>País Vasco</i>	1.20%	0.82%	0.26%
<i>Navarra</i>	1.04%	0.71%	0.22%
<i>Aragón</i>	1.02%	0.69%	0.21%
<i>Asturias</i>	0.77%	0.52%	0.16%
<i>Cataluña</i>	0.68%	0.46%	0.14%
<i>Cantabria</i>	0.42%	0.28%	0.09%
<i>Cast. y León</i>	0.17%	0.11%	0.04%
<i>Madrid</i>	-0.18%	-0.12%	-0.04%
<i>Valencia</i>	-0.24%	-0.16%	-0.05%
<i>Rioja</i>	-0.28%	-0.19%	-0.06%
<i>Galicia</i>	-0.79%	-0.54%	-0.17%
<i>Cast.-Mancha</i>	-0.80%	-0.54%	-0.17%
<i>Extremadura</i>	-0.83%	-0.56%	-0.17%
<i>Murcia</i>	-1.69%	-1.15%	-0.36%
<i>Andalucía</i>	-1.79%	-1.22%	-0.38%

El Cuadro 5 muestra la contribución del capital TIC a la productividad relativa de cada región en 2003 bajo los tres supuestos habituales. Las regiones insulares, el País Vasco y el valle del Ebro se sitúan en las primeras posiciones, mientras que el sur del país copa las últimas. Bajo la estimación de mínimos, el abanico de valores de esta variable tiene una amplitud de 3 puntos porcentuales que se amplía a 4.4 bajo la estimación de base y se reduce a nueve décimas de punto cuando se utilizan las participaciones de la base de datos KLEMS como estimadores de la elasticidad output de los bienes TIC.

¹¹ Obsérvese que el ratio $C\tilde{s}_r / \tilde{q}_r$ será en general diferente para cada región. Lo que se hace en la ecuación (22) es imponer un valor único de este ratio y buscar, utilizando técnicas estadísticas, el valor que minimiza el error de aproximación cometido al actuar de esta forma.

Gráfico 16: Peso medio del capital TIC en la productividad relativa

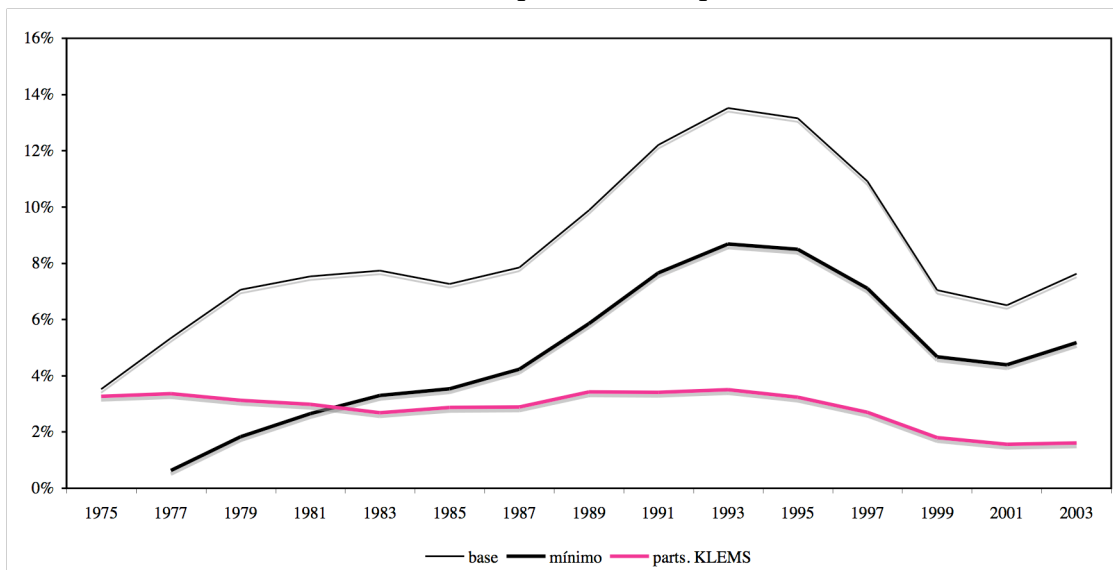
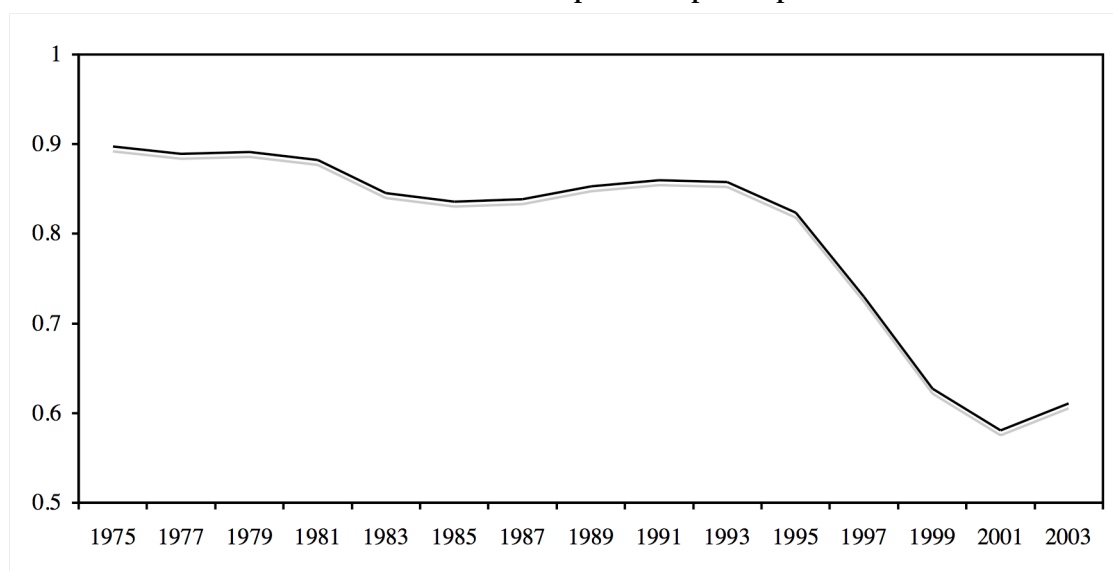


Gráfico 17: Correlación entre productividad relativa y dotación relativa de capital TIC por empleo



El Gráfico 16 muestra la evolución del peso medio de los bienes TIC en la productividad relativa regional. Es interesante observar que la contabilidad del crecimiento (*parts. KLEMS*) y la estimación econométrica (*base* y *mínimo*) generan sendas temporales muy diferentes de esta variable. Puesto que la participación de los bienes TIC en el VAB agregado ha sido relativamente estable, la senda del peso medio de las TICs en la productividad que se genera utilizando esta variable refleja aproximadamente el perfil de la correlación entre la productividad y la dotación relativa de bienes TIC que, como se observa en el Gráfico 17, muestra una tendencia generalmente decreciente. En los otros dos escenarios, sin embargo, el valor estimado de la elasticidad output de las TICs aumenta con el tiempo y esto hace que el peso de este factor en las disparidades regionales aumente durante buena parte del período a pesar del gradual acercamiento de las regiones pobres a las ricas en términos de dotaciones. Bajo el supuesto de mínimos, el peso de las TICs en la productividad relativa llegó a alcanzar

un valor nada despreciable del 8.5% a mediados de los años noventa antes de reducirse otra vez hasta valores en torno al 5%.

6. Conclusión

El rápido avance tecnológico de las últimas décadas ha hecho posible una fuerte y sostenida reducción en los precios reales de los equipos informáticos y de comunicaciones que han ido adquiriendo, como consecuencia, un peso creciente en la inversión productiva. El *boom* inversor en nuevas tecnologías ha sido especialmente intenso en los Estados Unidos pero ha sido también notable en Europa y en España.

Los estudios de contabilidad del crecimiento que han analizado las implicaciones económicas del tránsito hacia la sociedad de la información concluyen que las mejoras en la eficiencia de los productores de bienes TIC y el rápido incremento en el *stock* de estos equipos que se destina a la producción han contribuido de forma muy significativa al crecimiento de la productividad americana durante las últimas décadas y a su recuperación a partir de 1995. Entre 1973 y 2006, la contribución media de estos factores al crecimiento del *output* por hora trabajada ha sido de 1.1 puntos porcentuales anuales, lo que supone algo más de la mitad del crecimiento observado de esta magnitud. En el caso europeo el efecto estimado es menor pero todavía muy significativo. Entre 1987 y 2004, la aportación media de las TICs se cifra en 0.7 puntos anuales o un tercio del total.

Aunque la evidencia en este sentido es todavía muy preliminar, la literatura también sugiere que estas cifras podrían subestimar la contribución de las nuevas tecnologías al crecimiento económico porque sólo incluyen sus efectos directos e inmediatos. Hay indicaciones de que la inversión en bienes TIC puede generar importantes beneficios externos y rendimientos diferidos para las propias empresas compradoras, actuando como catalizador para otras innovaciones tecnológicas y organizativas.

En el presente trabajo se ofrecen algunas estimaciones de la contribución de la inversión en bienes TIC al crecimiento de España y sus regiones y a las disparidades internas en términos de productividad. Los cálculos realizados utilizando la metodología estándar de contabilidad de crecimiento apuntan a impactos modestos, en línea con el relativamente reducido esfuerzo inversor de nuestro país en este campo. Así, la contribución media de la inversión en bienes TIC al crecimiento del *output* por trabajador durante la última década sería de algo más de dos décimas, lo que nos sitúa en torno a la mitad de la media europea (una vez se substraen de la misma los efectos vía producción de bienes TIC, que no podemos cuantificar en el caso español).¹²

Como alternativa al método de contabilidad del crecimiento, he estimado también una función de producción regional desagregando el stock de capital en un componente TIC y otro no TIC. Los resultados de la estimación confirman que la inversión en bienes TIC tiene un impacto

¹² La comparación directa de mis resultados para España con los citados en la sección 2 para Europa es complicada porque la metodología utilizada para construir las series de capital es distinta en ambos casos y porque el trabajo se mide en un caso en horas y en otro en empleos. Sin embargo, una comparación basada en los datos homogéneos que proporcionan Timmer et al (2003) lleva a la misma conclusión.

significativo sobre la productividad e indican también que este impacto ha sido creciente en el tiempo. Finalmente, el tamaño de la aportación de las TICs al crecimiento estimado con esta metodología resulta ser sorprendentemente elevado (entre 0.5 y 0.8 puntos anuales durante la última década), lo que exige una considerable precaución a la hora de interpretar los resultados. En cualquier caso, y con la cautela necesaria, la estimación es consistente con otra evidencia existente en la literatura que sugiere que la inversión en bienes TIC podría tener efectos indirectos positivos sobre la productividad propia y ajena.

ANEXO

a. Una nota metodológica

Supongamos que el logaritmo del *output* agregado de un territorio, y , puede escribirse de la forma siguiente

$$(A.1) \ y = a + x = a + f(k)$$

donde a es el logaritmo de un indicador de eficiencia técnica (la *productividad total de los factores* o PTF), k es un vector de *inputs* productivos medidos en logaritmos y $x = f(k)$ es el logaritmo del *input* total, que viene dado por una función translogarítmica (Christensen, Jorgenson and Lau, 1973):

$$(A.2) \ f(k) = \alpha'k + \frac{1}{2}k'Bk = \sum_i \alpha_i k_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{ij} k_i k_j$$

donde α es un vector de coeficientes α_i y $B=[\beta_{ij}]$ una matriz simétrica.

Diferenciando (A.1) con respecto a k , obtenemos el vector de elasticidades del output con respecto a cada uno de los inputs (o, para abreviar, el vector de *elasticidades output* de los inputs), ε :

$$(A.3) \ \varepsilon = Df(k) = \alpha + Bk$$

Consideremos ahora dos vectores arbitrarios de inputs, k_a y k_b . Es sencillo demostrar que

$$(A.4) \ f(k_b) - f(k_a) = \frac{1}{2}(\varepsilon_a + \varepsilon_b)(k_b - k_a) = \bar{\varepsilon}(k_b - k_a) = \sum_i \bar{\varepsilon}_i(k_{ib} - k_{ia})$$

donde ε_a y ε_b son los vectores de elasticidades output correspondientes a los vectores de *inputs* k_a y k_b . Si identificamos a y b con dos períodos consecutivos, t y $t+1$, tomando diferencias temporales en (A.1) y utilizando (A.4) tenemos

$$(A.5) \ \begin{aligned} \Delta y_t \equiv y_{t+1} - y_t &= (a_{t+1} - a_t) + (x_{t+1} - x_t) = \Delta a_t + [f(k_{t+1}) - f(k_t)] \\ &= \Delta a_t + \sum_i \bar{\varepsilon}_i(k_{it+1} - k_{it}) = \Delta a_t + \sum_i \bar{\varepsilon}_i \Delta k_{it} \end{aligned}$$

Esta expresión nos dice que la tasa de crecimiento del producto (Δy) se puede expresar como la suma de la tasa de crecimiento de la PTF y de las contribuciones de los distintos factores productivos. Si disponemos de datos sobre el *output* de una economía dada y sobre sus dotaciones de factores productivos, la ecuación (A.5) nos permite calcular las contribuciones de los distintos factores al crecimiento del producto y la tasa de crecimiento de la PTF, obteniendo así una útil radiografía de las fuentes inmediatas del crecimiento de la renta. Las contribuciones de los distintos factores se obtienen multiplicando la tasa de crecimiento del *stock* de cada uno de ellos por su elasticidad output, tomando el valor medio de esta última en los dos períodos

considerados, mientras que el crecimiento de la PTF se obtiene como un residuo, restando del crecimiento del producto la suma de las contribuciones de los factores.

Para poder aplicar esta expresión necesitamos estimar los valores de las elasticidades output de los distintos factores productivos. Para ello existen básicamente dos opciones. La primera consiste en estimar económicamente la función de producción. La segunda parte de la observación de que, bajo una serie de supuestos que detallaré enseguida, la elasticidad output de cada *input* será igual a su participación en el producto agregado que, en principio, es una magnitud directamente observable.¹³ Para ello es necesario suponer que la función de producción presenta rendimientos constantes a escala, que hay competencia perfecta y que no existen externalidades o costes de ajuste derivados de la adquisición o instalación de los distintos bienes de capital. Bajo estas condiciones, el producto marginal de cada *input* (privado y social, pues ambos son idénticos) será igual a su precio, lo que nos permite inferir de este último la aportación de un incremento en el *stock* correspondiente al crecimiento de la productividad.

La metodología habitual de *contabilidad del crecimiento*, utilizada en la mayor parte de los trabajos de referencia en este campo utiliza el segundo de los procedimientos indicados. En este trabajo, sin embargo, he optado por estimar económicamente la función de producción porque esta metodología permite en principio recoger mejor los posibles efectos indirectos, internos y externos, de la inversión en TICs que ha identificado la literatura. Como hemos visto, la metodología de contabilidad del crecimiento asigna al capital TIC una contribución a la productividad basada en el “precio” que paga por él en el mercado su usuario directo. Este procedimiento podría subestimar la contribución total de los bienes TIC al crecimiento de la productividad por dos razones. La primera es que excluye la posibilidad de externalidades (que se recogerían por construcción en la PTF). La segunda es que supone implícitamente que las empresas han ajustado sus *stocks* de factores productivos de forma que todos ellos generan la misma rentabilidad neta. En el caso de las nuevas tecnologías parece arriesgado imponer el supuesto de que siempre existe una situación de equilibrio en este sentido. Si bien las empresas podrían invertir en ordenadores con usos específicos en mente de acuerdo con esta lógica, una vez que los tienen es muy posible que encuentren nuevos usos para los mismos o descubran oportunidades para reorganizar sus procesos productivos, sus compras o sus ventas de formas que mejoren la eficiencia.

b. Derivación de la ecuación a estimar

Como se indica en el texto, la función de producción regional es de la forma

$$(B.1) \quad y = a + x$$

donde

¹³ Aunque, en la práctica, sólo a medias. Las participaciones del trabajo y el capital, en su conjunto, son fácilmente obtenibles de las cuentas nacionales. El problema surge cuando el *stock* de capital se desagrega en varios componentes. Puesto que los bienes de capital a menudo se compran en vez de alquilarse, resulta necesario construir los “precios de alquiler” implícitos o *costes de uso* de los distintos tipos de activos con el fin de desagregar la participación del capital en la renta nacional. El ejercicio no es sencillo y exige una serie de supuestos adicionales que pueden ser discutibles.

$$(B.2) \quad x = f(k, c, l) = \alpha_k k + \alpha_c c + \alpha_l l + \beta_{kl} kl + \beta_{kc} kc + \beta_{cl} cl + \frac{\beta_{kk}}{2} k^2 + \frac{\beta_{cc}}{2} c^2 + \frac{\beta_{ll}}{2} l^2$$

y todas las variables están expresadas en logaritmos.

Diferenciando (B.1) con respecto a k , c y l , obtenemos la elasticidad del output respecto a cada uno de los factores de producción:

$$(B.3) \quad \varepsilon_k = \frac{\partial y}{\partial k} = \alpha_k + \beta_{kl} l + \beta_{kc} c + \beta_{kk} k$$

$$(B.4) \quad \varepsilon_c = \frac{\partial y}{\partial c} = \alpha_c + \beta_{kc} k + \beta_{cl} l + \beta_{cc} c$$

$$(B.5) \quad \varepsilon_l = \frac{\partial y}{\partial l} = \alpha_l + \beta_{kl} k + \beta_{cl} c + \beta_{ll} l$$

Bajo la hipótesis de rendimientos constantes a escala, las elasticidades output de los factores de producción han de sumar a la unidad, lo que implica

$$(B.6) \quad \varepsilon_k + \varepsilon_c + \varepsilon_l = (\alpha_k + \alpha_c + \alpha_l) + (\beta_{kl} + \beta_{cl} + \beta_{ll})l + (\beta_{kc} + \beta_{kl} + \beta_{kk})k + (\beta_{kc} + \beta_{cl} + \beta_{cc})c = 1$$

Para que esta expresión sea cierta para todo k , c y l , ha de cumplirse que

$$\begin{aligned} \alpha_k + \alpha_c + \alpha_l &= 1, & \beta_{kl} + \beta_{cl} + \beta_{ll} &= 0, \\ \beta_{kc} + \beta_{kl} + \beta_{kk} &= 0 & \text{y} & \quad \beta_{kc} + \beta_{cl} + \beta_{cc} = 0 \end{aligned}$$

o

$$(B.7) \quad \alpha_l = 1 - \alpha_k - \alpha_c, \quad \beta_{ll} = -(\beta_{kl} + \beta_{cl}), \quad \beta_{kk} = -(\beta_{kc} + \beta_{kl}) \quad \text{y} \quad \beta_{cc} = -(\beta_{kc} + \beta_{cl})$$

Podemos utilizar esta expresión para eliminar algunos de los parámetros que aparecen en las ecuaciones anteriores. Utilizando (B.7), $f()$ adopta la forma

$$\begin{aligned} f(k, c, l) &= \alpha_k k + \alpha_c c + (1 - \alpha_k - \alpha_c)l + \beta_{kl} kl + \beta_{kc} kc + \beta_{cl} cl - \frac{\beta_{kc} + \beta_{kl}}{2} k^2 - \frac{\beta_{kc} + \beta_{cl}}{2} c^2 - \frac{\beta_{kl} + \beta_{cl}}{2} l^2 \\ (B.8) \quad &= l + \alpha_k (k - l) + \alpha_c (c - l) - \frac{\beta_{kl}}{2} (k^2 + l^2 - 2kl) - \frac{\beta_{kc}}{2} (k^2 + c^2 - 2kc) - \frac{\beta_{cl}}{2} (c^2 + l^2 - 2cl) \\ &= l + \alpha_k (k - l) + \alpha_c (c - l) - \frac{\beta_{kl}}{2} (k - l)^2 - \frac{\beta_{kc}}{2} (k - c)^2 - \frac{\beta_{cl}}{2} (c - l)^2 \end{aligned}$$

y las elasticidades output se convierten en

$$(B.9) \quad \varepsilon_k = \alpha_k - \beta_{kl}(k - l) - \beta_{kc}(k - c)$$

$$(B.10) \quad \varepsilon_c = \alpha_c + \beta_{kc}(k - c) - \beta_{cl}(c - l)$$

$$(B.11) \quad \varepsilon_l = \alpha_l + \beta_{kl}(k - l) + \beta_{cl}(c - l)$$

Incorporación del capital humano

Supondremos que el *input* efectivo de trabajo viene dado por una función del número de trabajadores (o empleos), N , y del nivel medio de formación de la población medido en años de escolarización (H) de forma que

$$(B.12) \quad l = n + \theta h$$

donde todas las variables aparecen expresadas en logaritmos.

Substituyendo (B.12) en (B.8), la función de producción adopta la forma siguiente:

$$\begin{aligned}
 (B.13) \quad f(k, c, l) &= n + \theta h + \alpha_k [k - n - \theta h] + \alpha_c [c - n - \theta h] \\
 &\quad - \frac{\beta_{kl}}{2} (k - n - \theta h)^2 - \frac{\beta_{kc}}{2} (k - c)^2 - \frac{\beta_{cl}}{2} (c - n - \theta h)^2 \\
 &= n + (1 - \alpha_k - \alpha_c) \theta h + \alpha_k (k - n) + \alpha_c (c - n) \\
 &\quad - \frac{\beta_{kl}}{2} [(k - n)^2 - 2(k - n) \theta h + \theta^2 h^2] - \frac{\beta_{kc}}{2} (k - c)^2 - \frac{\beta_{cl}}{2} [(c - n)^2 - 2(c - n) \theta h + \theta^2 h^2] \\
 &= n + (1 - \alpha_k - \alpha_c) \theta h + \alpha_k (k - n) + \alpha_c (c - n) \\
 &\quad - \frac{\beta_{kl}}{2} (k - n)^2 - \frac{\beta_{kc}}{2} (k - c)^2 - \frac{\beta_{cl}}{2} (c - n)^2 + \frac{\beta_{kl}}{2} [2(k - n) \theta h - \theta^2 h^2] + \frac{\beta_{cl}}{2} [2(c - n) \theta h - \theta^2 h^2] \\
 &= n + (1 - \alpha_k - \alpha_c) \theta h + \alpha_k (k - n) + \alpha_c (c - n) + \beta_{kl} (k - n) \theta h + \beta_{cl} (c - n) \theta h \\
 &\quad - \frac{\beta_{kl}}{2} (k - n)^2 - \frac{\beta_{kc}}{2} (k - c)^2 - \frac{\beta_{cl}}{2} (c - n)^2 - \frac{\beta_{kl} + \beta_{cl}}{2} \theta^2 h^2
 \end{aligned}$$

y las elasticidades output se convierten en

$$(B.14) \quad \varepsilon_k = \alpha_k - \beta_{kl} (k - n) - \beta_{kc} (k - c) + \beta_{kl} \theta h$$

$$(B.15) \quad \varepsilon_c = \alpha_c + \beta_{kc} (k - c) - \beta_{cl} (c - n) + \beta_{cl} \theta h$$

$$(B.16) \quad \varepsilon_l = \alpha_l + \beta_{kl} (k - n) + \beta_{cl} (c - n) - (\beta_{kl} + \beta_{cl}) \theta h$$

Finalmente, reescribiré todas las ecuaciones de interés en términos de ratios factoriales.

Definiendo

$$(B.17) \quad z = k - n \quad y \quad s = c - n$$

de donde

$$(B.18) \quad k - c = z - s.$$

tenemos

$$\begin{aligned}
 f(k, c, l) &= n + (1 - \alpha_k - \alpha_c) \theta h + \alpha_k z + \alpha_c s + \beta_{kl} z \theta h + \beta_{cl} s \theta h \\
 &\quad - \frac{\beta_{kl}}{2} z^2 - \frac{\beta_{kc}}{2} (z - s)^2 - \frac{\beta_{cl}}{2} s^2 - \frac{\beta_{kl} + \beta_{cl}}{2} \theta^2 h^2
 \end{aligned}$$

donde

$$-\frac{\beta_{kc}}{2} (z - s)^2 = -\frac{\beta_{kc}}{2} (z^2 - 2zs + s^2) = -\frac{\beta_{kc}}{2} z^2 + \beta_{kc} z s - \frac{\beta_{kc}}{2} s^2$$

y por tanto

$$\begin{aligned}
f(k, c, l) &= n + (1 - \alpha_k - \alpha_c) \theta h + \alpha_k z + \alpha_c s + \beta_{kl} z \theta h + \beta_{cl} s \theta h \\
&\quad - \frac{\beta_{kl}}{2} z^2 - \frac{\beta_{kc}}{2} z^2 + \beta_{kc} z s - \frac{\beta_{kc}}{2} s^2 - \frac{\beta_{cl}}{2} s^2 - \frac{\beta_{kl} + \beta_{cl}}{2} \theta^2 h^2 \\
(B.19) \quad &= n + (1 - \alpha_k - \alpha_c) \theta h + \alpha_k z + \alpha_c s + \beta_{kl} \theta z h + \beta_{cl} \theta s h + \beta_{kc} z s \\
&\quad - \frac{\beta_{kl} + \beta_{kc}}{2} z^2 - \frac{\beta_{kc} + \beta_{cl}}{2} s^2 - \frac{\beta_{kl} + \beta_{cl}}{2} \theta^2 h^2 \\
&\equiv n + \phi(z, s, h)
\end{aligned}$$

El logaritmo del output por trabajador ($q = y - n$) vendrá entonces dado por

$$\begin{aligned}
(B.20) \quad q &= y - n = a + \phi(z, s, h) \\
&= a + (1 - \alpha_k - \alpha_c) \theta h + \alpha_k z + \alpha_c s + \beta_{kl} \theta z h + \beta_{cl} \theta s h + \beta_{kc} z s \\
&\quad - \frac{\beta_{kl} + \beta_{kc}}{2} z^2 - \frac{\beta_{kc} + \beta_{cl}}{2} s^2 - \frac{\beta_{kl} + \beta_{cl}}{2} \theta^2 h^2
\end{aligned}$$

y las elasticidades output por

$$(B.21) \quad \varepsilon_k = \alpha_k - \beta_{kl} z - \beta_{kc} (z - s) + \beta_{kl} \theta h$$

$$(B.22) \quad \varepsilon_c = \alpha_c + \beta_{kc} (z - s) - \beta_{cl} s + \beta_{cl} \theta h$$

$$(B.23) \quad \varepsilon_l = \alpha_l + \beta_{kl} z + \beta_{cl} s - (\beta_{kl} + \beta_{cl}) \theta h$$

donde se tiene que cumplir también que

$$\alpha_k + \alpha_c + \alpha_l = 1$$

Expresando (B.20) en diferencias con los valores correspondientes a la observación de referencia tal como se indica en el texto y añadiendo subíndices temporales y regionales, tenemos

$$\begin{aligned}
\tilde{q}_{rt} &= \tilde{a}_{rt} + (1 - \varepsilon_c^o - \varepsilon_k^o) \theta \tilde{h}_{rt} + \varepsilon_c^o \tilde{s}_{rt} + \varepsilon_k^o \tilde{z}_{rt} + \beta_{LC} \theta \tilde{h}_{rt} \tilde{s}_{rt} + \beta_{LK} \theta \tilde{h}_{rt} \tilde{z}_{rt} + \beta_{CK} \tilde{s}_{rt} \tilde{z}_{rt} \\
(B.24) \quad &\quad - \frac{1}{2} \left((\beta_{LC} + \beta_{LK}) \theta^2 \tilde{h}_{rt}^2 + (\beta_{LC} + \beta_{CK}) \tilde{s}_{rt}^2 + (\beta_{LK} + \beta_{CK}) \tilde{z}_{rt}^2 \right)
\end{aligned}$$

Operando con esta expresión, tenemos

$$\begin{aligned}
\tilde{q}_{rt} &= \tilde{a}_{rt} + (1 - \varepsilon_c^o - \varepsilon_k^o) \theta \tilde{h}_{rt} + \varepsilon_c^o \tilde{s}_{rt} + \varepsilon_k^o \tilde{z}_{rt} + \beta_{CK} \left(\tilde{s}_{rt} \tilde{z}_{rt} - \frac{1}{2} \tilde{s}_{rt}^2 - \frac{1}{2} \tilde{z}_{rt}^2 \right) \\
&\quad + \beta_{LC} \left(\theta \tilde{h}_{rt} \tilde{s}_{rt} - \frac{1}{2} \tilde{s}_{rt}^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \tilde{h}_{rt}^2 \right) + \beta_{LK} \left(\theta \tilde{h}_{rt} \tilde{z}_{rt} - \frac{1}{2} \tilde{z}_{rt}^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \tilde{h}_{rt}^2 \right) \\
&= \tilde{a}_{rt} + (1 - \varepsilon_c^o - \varepsilon_k^o) \theta \tilde{h}_{rt} + \varepsilon_c^o \tilde{s}_{rt} + \varepsilon_k^o \tilde{z}_{rt} - \beta_{CK} \frac{1}{2} (\tilde{s}_{rt}^2 + \tilde{z}_{rt}^2 - 2 \tilde{s}_{rt} \tilde{z}_{rt}) \\
&\quad + \beta_{LC} \left(\theta \tilde{h}_{rt} \tilde{s}_{rt} - \frac{1}{2} \tilde{s}_{rt}^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \tilde{h}_{rt}^2 \right) + \beta_{LK} \left(\theta \tilde{h}_{rt} \tilde{z}_{rt} - \frac{1}{2} \tilde{z}_{rt}^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \tilde{h}_{rt}^2 \right)
\end{aligned}$$

de donde

$$\begin{aligned}
\tilde{q}_{rt} &= \tilde{a}_{rt} + (1 - \varepsilon_c^o - \varepsilon_k^o) \theta \tilde{h}_{rt} + \varepsilon_c^o \tilde{s}_{rt} + \varepsilon_k^o \tilde{z}_{rt} - \beta_{CK} \frac{1}{2} (\tilde{s}_{rt} - \tilde{z}_{rt})^2 \\
(B.25) \quad &\quad + \beta_{LC} \left(\theta \tilde{h}_{rt} \tilde{s}_{rt} - \frac{1}{2} \tilde{s}_{rt}^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \tilde{h}_{rt}^2 \right) + \beta_{LK} \left(\theta \tilde{h}_{rt} \tilde{z}_{rt} - \frac{1}{2} \tilde{z}_{rt}^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \tilde{h}_{rt}^2 \right)
\end{aligned}$$

Finalmente, tomamos diferencias temporales para obtener la ecuación a estimar:

$$(B.26) \quad \Delta \tilde{q}_t = \Delta \tilde{a}_t + (1 - \varepsilon_C^o - \varepsilon_K^o) \theta \Delta \tilde{h}_t + \varepsilon_C^o \Delta \tilde{s}_t + \varepsilon_K^o \Delta \tilde{z}_t - \beta_{CK} \frac{1}{2} \Delta (\tilde{s}_t - \tilde{z}_t)^2 \\ + \beta_{LC} \left(\theta \Delta (\tilde{h}_t \tilde{s}_t) - \frac{1}{2} \Delta \tilde{s}_t^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \Delta \tilde{h}_t^2 \right) + \beta_{LK} \left(\theta \Delta (\tilde{h}_t \tilde{z}_t) - \frac{1}{2} \Delta \tilde{z}_t^2 - \frac{1}{2} \theta^2 \Delta \tilde{h}_t^2 \right)$$

c. Datos regionales

El Cuadro C.1 define las principales variables que han sido utilizadas en la parte de este trabajo dedicada a las regiones españolas y muestra sus fuentes.

Las series de renta, empleo y precios regionales están tomadas de de la Fuente (2008). En ese trabajo se elaboran series regionales de estos agregados que cubren el período 1955-2005 a intervalos bienales enlazando la serie más reciente de Contabilidad Regional de España (CRE) en base 2000 que proporciona el INE (2008) con otras series anteriores del propio INE y, fundamentalmente, con las series históricas regionales elaboradas por Julio Alcaide y sus colaboradores para la Fundación BBVA y sus antecesores (FBBV 1999).

Cuadro C.1: Definición y fuente de las principales variables utilizadas en el análisis

<i>variable</i>	<i>descripción</i>	<i>fuentes</i>
<i>Población</i>	Población residente a 1 de julio	de la Fuente (2008)
<i>Renta nominal</i>	Valor añadido bruto a coste de los factores/precios básicos, medido a precios corrientes.	de la Fuente (2008)
<i>Renta real</i>	Valor añadido bruto a coste de los factores/precios básicos, medido a precios constantes de 2000.	de la Fuente (2008)
<i>Precios</i>	Deflactor del VAB	de la Fuente (2008)
<i>Empleo</i>	Número de puestos de trabajo	de la Fuente (2008)
<i>Stock de capital TIC</i>	Stock de capital productivo a mitad de año a precios constantes de 2000. Incluye los equipos y programas informáticos y de telecomunicaciones	Mas et al (2007)
<i>Stock de otro capital físico no residencial</i>	Stock de capital productivo a mitad de año a precios constantes de 2000. Incluye las infraestructuras productivas	Mas et al (2007)
<i>Nivel educativo de la población adulta</i>	Años medios de escolarización de la población 25+	de la Fuente y Doménech (2006)

De forma muy resumida, el procedimiento utilizado para elaborar las series enlazadas es el siguiente. En primer lugar, se construye una serie “homogénea” de población para el conjunto del período analizado. Esto no plantea dificultades puesto que las distintas series consideradas coinciden de forma casi exacta durante sus períodos de solapamiento. En segundo lugar, las series de renta (VAB) a precios corrientes y empleo regional de la CRE-2000 se extienden hacia atrás enlazándolas con las proporcionadas por otras fuentes para las mismas magnitudes. Para realizar el enlace, cada una de las series disponibles se expresa en términos per cápita (empleos per cápita y VAB nominal por habitante) utilizando en cada caso la serie de población que proporciona la propia fuente, y se transforma en índices relativos al promedio nacional que se

normaliza a 100 en cada período. Seguidamente, se calculan las tasas de crecimiento bianuales de cada serie durante los períodos de solapamiento y se estiman sus respectivos *ratios de fiabilidad*.¹⁴ Utilizando este indicador, se selecciona en cada caso la serie que parece más fiable y sus tasas de crecimiento se utilizan para extender hacia atrás las series de contabilidad regional. Con alguna excepción, este procedimiento lleva a utilizar las series de la Fundación BBVA para 1995 y años anteriores. Obsérvese que el enlace se realiza en primera instancia con las series expresadas en términos per cápita y normalizadas por el promedio nacional. El resultado de este cálculo preliminar se renormaliza de forma que el promedio nacional calculado a partir de las nuevas series regionales sea exactamente igual a 100 en cada período. Luego se recuperan la renta por habitante para el conjunto de España extendiendo hacia atrás la serie nacional de CRE con las tasas de crecimiento de las series seleccionadas para períodos anteriores. Multiplicando la serie resultante por la población nacional se obtienen el VAB y el empleo totales para España y a partir de ellos, el empleo y el VAB totales de cada región.

En tercer lugar se enlazan las series de precios regionales a la producción. El procedimiento es similar al descrito en el párrafo anterior pero se recuperan índices “absolutos” de precios con base 2000 (=100) para cada región. Estos son los que se utilizan, finalmente, para deflactar las series de VABs nominales regionales y estimar el VAB a precios de 2000. Sumando a las regiones, se recupera el VAB real nacional.

El indicador de capital humano que se utiliza en la estimación del modelo son los años medios de escolarización de la población adulta (generalmente 25+) que se ofrecen en de la Fuente y Doménech (2006). Esta serie se construye originalmente a intervalos quinquenales a partir de datos censales y patronales. Después se interpola para obtener datos bienales. Desde 2001 a 2005 se extrapola usando información sobre niveles de escolarización desagregadas por grupos de edad.

Para las dotaciones de capital he utilizado las series de *stocks* de capital productivo elaboradas por Mas et al (2007) siguiendo las propuestas metodológicas de la OCDE. Tras excluir el capital residencial, el stock de capital se desagrega en dos componentes: capital TIC (que comprende el hardware y software informático y los equipos de telecomunicaciones) y otro capital no residencial, donde se incluye la dotación de infraestructuras productivas además de los *stocks* de maquinaria y equipos y las estructuras no residenciales.

¹⁴ El ratio de fiabilidad es un indicador estadístico del contenido informativo de una serie que se define como el cociente entre la información contenida en la misma y la suma de información y ruido debido a la existencia de errores de medición. Cuando se dispone de varias estimaciones alternativas de la misma variable de interés, los ratios de fiabilidad de cada una de ellas pueden estimarse regresando unas series sobre otras. Para más detalles véase de la Fuente y Doménech (2006).

Bibliografía

- Basu, S. y J. Fernald (2007). "Information and communications technology as a general-purpose technology: Evidence from U.S. industry data." *German Economic Review*, May, 8(2), pp. 146 – 173.
- Bostworth, B. y J. Triplett (2007). "The early 21st century US productivity expansion is *still* in services." *International Productivity Monitor* 14, pp. 3-19.
- Breshnahan, T., E. Brynjolfsson y L. Hitt (2002). "Information technology, workplace organization and the demand for skilled labor: firm-level evidence." *Quarterly Journal of Economics* pp. 339-76.
- Brynjolfsson, E. y L. Hitt (2003). "Computing productivity: firm-level evidence." *Review of Economics and Statistics* 85(4), pp. 793-808.
- Christensen, L., D. Jorgenson and L. Lau (1973). "Transcendental Logarithmic Production Frontiers." *Review of Economics and Statistics* 55, February, pp. 28-45.
- Cole, R., C. Chen, J. Barquin-Stolleman, E. Dullberger, N. Helvacian y J. Hodge (1986). "Quality-adjusted price indexes for computer processors and selected peripheral equipment." *Survey of Current Business* 66, January, pp. 41-50.
- Colecchia, A. y P. Schereyer (2002). "ICT investment and economic growth in the 1990s: is the United States a unique case?" *Review of Economic Dynamics* 5, pp. 408-42.
- Daveri, F. (2000). "Is growth and information technology story in Europe too?" Mimeo, Università di Parma.
- de la Fuente, A. (2008). "La evolución de algunos agregados económicos regionales entre 1995 y 2005: comparación de diversas fuentes y un intento de homogeneización. Versión 1.0." Mimeo, Instituto de Análisis Económico (CSIC), Barcelona.
- de la Fuente, A. y R. Doménech (2006). "Capital humano, crecimiento y desigualdad en las regiones españolas." *Moneda y Crédito* 222, pp. 13-56.
- Fundación BBV (FBBV, 1999). *Renta nacional de España y su distribución provincial. Serie homogénea. Años 1955 a 1993 y avances 1994 a 1997*. Bilbao.
- Fundación BBVA (FBBVA, 2000). *Renta nacional de España y su distribución provincial. Año 1995 y avances 1996-1999*. Bilbao.
- Gordon, R. (2003). "Exploding productivity growth: context, causes and implications." *Brookings Papers on Economic Activity* 2, pp. 207-79.
- Instituto Nacional de Estadística (INE, 2008). Contabilidad Regional de España. En Base de datos electrónica INEbase. Economía: Cuentas Económicas. Madrid. <http://www.ine.es/inebase/cgi/um?M=%2Ft35%2Fp010&O=inebase&N=&L=>
- Jorgenson, D. (1963). "Capital Theory and Investment Behavior." *American Economic Review* 53(2), May, pp. 247-259.
- Jorgenson, D. (2001). "Information technology and the US economy." *American Economic Review* 91(1), pp. 1-32.
- Jorgenson, D. y Z. Griliches (1967). "The Explanation of Productivity Change." *Review of Economic Studies* 34(3), pp. 249 – 83.
- Jorgenson, D., M. Ho y K. Stiroh (2008). "A Retrospective Look at the U.S. Productivity Growth Resurgence." *Journal of Economic Perspectives* 22(1) Winter, pp. 3–24.
- Jorgenson, D., M. Ho y K. Stiroh (2005). *Information technology and the American growth resurgence*. Cambridge, MIT Press.
- Jorgenson, D. y K. Stiroh (1999). "Information technology and growth." *American Economic Review, Papers and Proceedings* 89(2), pp. 109-15.
- Jorgenson, D. y K. Stiroh (2000). "Raising the speed limit: US economic growth in the Information Age." *Brookings Papers on Economic Activity* 1, pp. 125-211.
- Martínez, D. y J. Rodríguez (2006). "The role of new technologies in the economic growth of Andalucía." Documento de trabajo E2006/19. Centro de Estudios Andaluces.

- Mas, M. y J. Quesada (2005). "ICT and economic growth in Spain, 1985-2002." EU KLEMS Working Paper Series no. 1.
- Mas, M., F. Pérez, E. Uriel, V. Cucarella, J. C. Robledo y L. Serrano (2007). *El stock y los servicios del capital en España y su distribución territorial (1964-2005). Nueva metodología*. Fundación BBVA, Bilbao..
- Onliner, S. y D. Sichel (2000). "The resurgence of growth in the late 1990s: is information technology the story?" *Journal of Economic Perspectives* 14, pp. 3-22.
- Onliner, S. y D. Sichel (2003). "Information technology and productivity: where are we now and where are we going?" *Journal of Policy Modeling* 25, pp. 477-503.
- Onliner, S., D. Sichel y K. Stiroh (2007). "Explaining a productive decade." Mimeo.
- Rodríguez, J. y A. Villar (2007). "Desarrollo económico y sociedad de la información." Mimeo, Universidad Pablo de Olavide.
- Timmer, M., M. O'Mahony y B. van Ark (2007). "EU KLEMS Growth and Productivity Accounts: An Overview." http://www.euklems.net/data/overview_07I.pdf.
- Timmer, M., G. Ypma y B. van Ark (2003). "IT in the European Union: driving productivity divergence?" GGDC Research Memorandum GD-67. University of Groningen. Appendix tables, updated june 2005. <http://www.ggdc.net/dseries/growth-accounting.shtml>
- Timmer, M. y B. van Ark (2005). "Does information and communication technology drive EU-US productivity growth differentials?" *Oxford Economic Papers* 57, pp. 693-716.
- Triplett, J. y B. Bosworth (2006). "Baumol's disease has been cured: IT and multifactor productivity in U.S. service industries." In D. Jansen, editor, *The new economy and beyond: past, present and future*. Edward Elgar, Cheltenham.
- van Ark, B., M. O'Mahony y M. Timmer (2008). "The productivity gap between Europe and the United States: trends and causes." *Journal of Economic Perspectives* 22(1) Winter, pp. 25– 44.
- van Ark, B. y R. Inklaar (2005). "Catching up or getting stuck? Europe's troubles to exploit ICT's productivity potential." Mimeo, University of Groningen.