
TIC, CONOCIMIENTO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO. UN ANÁLISIS EMPÍRICO, AGREGADO E INTERNACIONAL, SOBRE LAS FUENTES DE LA PRODUCTIVIDAD

JORDI VILASECA I REQUENA

JOAN TORRENT I SELLENS

Estudios de Economía y Empresa e Instituto
Interdisciplinario de Internet (IN3)
Universitat Oberta de Catalunya.

Un conjunto creciente de investigaciones en el ámbito de las ciencias sociales corroboran que, durante las últimas dos décadas del siglo XX, se ha ido consolidando un profundo proceso de transformación tecnológica, económica y social (Kranzberg, 1985; Mokyr, 1990; David; 1990; Freeman y Pérez, 1988; Castells, 1996, 2000; Vilaseca y Torrent, 2005a). A grandes

rasgos, esta profunda dinámica de transformación se fundamenta en una revolución tecnológica, el proceso de digitalización, se consolida sobre la base de una dinámica de ampliación temporal y espacial de los mercados, el proceso de globalización, y se retroalimenta a partir de los cambios en los patrones de demanda de familias y empresas.

En efecto, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que comprenden el conjunto convergente de aplicaciones de microelectrónica, informática, telecomunicaciones, optoelectrónica y los recientes progresos de la biotecnología y la nanotecnología, son aplicadas masivamente en la esfera económica y utilizadas por una gran cantidad

de usos sociales. En este sentido, la generalización económica de este fondo social de conocimiento nos permite afirmar que las TIC se constituyen en la base material de un nuevo paradigma tecnicoeconómico (Dosi *et al.*, 1988) sobre el cual se fundamenta un nuevo proceso de revolución industrial (Crafts, 2000; De Long, 2001; Atkeson y Kehoe, 2001).

Este proceso interactivo e interrelacionado de cambio económico y transformación social nos conduce hacia un nuevo tipo de economía y de sociedad: la economía y la sociedad del conocimiento (Pérez, 2002; Stehr, 2002; Rodrigues, 2003; Torrent, 2004; Vilaseca y Torrent, 2005b).

En efecto, todo parece indicar que la confluencia de los procesos de globalización, digitalización y los cambios en los patrones de demanda confluyen en una masiva presencia del conocimiento en la esfera económica. Básicamente, por tres razones. En primer lugar, porque el proceso de globalización modifica las relaciones económicas de base nacional, con una constante evolución hacia una base mundial. Esta creciente integración de los mercados de factores y productos nos dirige hacia una progresiva intangibilización de la actividad económica, con una presencia en aumento de los flujos de información y de conocimiento, imprescindibles para dar respuesta a las mayores complejidades de una producción y una demanda globales, heterogéneas y cambiantes. En segundo lugar, porque el desarrollo capitalista de base mundial ha aumentado la renta disponible de una parte importante de la población mundial, lo que permite un gasto creciente en mercancías intensivas en conocimiento, como ocio, educación y cultura, en detrimento de otros bienes y servicios, como los productos alimenticios o el vestido y calzado. Y, en tercer lugar, y como resultado del proceso de innovación, las TIC aumentan y transforman la creación y la aplicación económica del conocimiento. Sin duda, con la irrupción y aplicación productiva de las tecnologías digitales, la producción y el *stock* accesible de conocimiento científico y tecnológico ha aumentado considerablemente, del mismo modo que el conocimiento técnico y las capacidades de los agentes económicos se han transformado con la inversión y el uso de las TIC.

En este sentido, cabe destacar que la confluencia y las interrelaciones de estos tres elementos generan un círculo virtuoso que va desde la demanda de nuevos bienes y servicios hasta su producción, de su producción a la innovación y de la innovación, de nuevo, a la demanda, lo que se traduce en forma de importantes aumentos de productividad y competitividad de algunas economías, sectores, empresas o agentes económicos (Greenspan, 1999).

Así pues, podemos afirmar que el esquema económico mundial avanza hacia un nuevo tipo de configuración, basada en el uso creciente de flujos de información y conocimiento, de los cuales las TIC son su infraestructura básica. El análisis económico de la innovación nos sugiere que cualquier tecnología aplicada a la producción es conocimiento en la medida que un *stock* de saber es utilizado para la reproducción productiva (David, 1990). Las TIC, como tecnologías de tratamiento de la información y la comunicación, no son una excepción. Pero, adicionalmente a esta propiedad tan característica de todas las tecnologías utilizadas por el hombre a lo largo de su historia productiva, cabe destacar una idea nueva que nos vincula directamente a las tecnologías digitales con el conocimiento. Se trata del hecho de que, en la actualidad, disponemos de una base tec-

nológica que no sólo sustituye al trabajo manual — principal característica de las tecnologías manufactureras de la economía industrial—, sino que también ayuda al hombre en el proceso de generación y difusión del saber —o, trabajo mental—.

Por lo tanto, el análisis de los efectos productivos de las TIC nos conduce al estudio económico del conocimiento, bien como recurso, bien como mercancía sujeta a intercambio (Vilaseca y Torrent, 2003). Por otra parte, cabe destacar que esto no significa que, tradicionalmente, la actividad económica no haya contado entre sus recursos productivos con el conocimiento. Todo lo contrario. Los ejemplos del empresario innovador (Schumpeter, 1934) y del capital humano (Schultz, 1961) así lo desmienten. Sin embargo, en la actualidad podemos desarrollar el concepto de economía del conocimiento porque disponemos de unas tecnologías que sitúan al conocimiento y a las capacidades de aprendizaje —y de desaprendizaje— de los agentes económicos en el centro del escenario del crecimiento y el desarrollo económico.

La economía del conocimiento es, pues, el análisis del comportamiento y los hechos derivados de la aplicación económica del saber (Torrent, 2002). Y esto no significa únicamente que la actividad económica incorpore el conocimiento científico y tecnológico, sino que también abarca al conocimiento técnico y a las habilidades, fácilmente transmisibles o no, de los agentes económicos. Además, la economía del conocimiento no es el análisis de un sector o de un recurso económico en concreto. Es mucho más. Cabe insistir en la transversalidad y profundidad del concepto. La aplicación económica del conocimiento transforma tanto las actividades de oferta como las de demanda. Precisamente, en este sentido más amplio, de nuevo marco analítico, es en el que hemos de interpretar a la economía del conocimiento.

Desde el punto de vista del análisis económico, la generalización de la economía del conocimiento plantea nuevos objetivos y retos de estudio. A la lógica investigación sobre el conocimiento como factor productivo y como mercancía sujeta a intercambio debemos añadir otros focos de interés. En primer lugar, el análisis de las modificaciones en el comportamiento de los agentes económicos, tanto si son empresas, consumidores, como si se trata del sector público. Esta visión nos lleva al análisis sectorial de las ramas productivas intensivas en conocimiento y al estudio de las conexiones de éstas con el resto de las ramas de actividad. En segundo lugar, el análisis de las transformaciones que el uso intensivo del conocimiento genera sobre las fuentes del crecimiento económico, y también las vinculaciones con los otros dos recursos productivos básicos: el capital y el trabajo. Finalmente, no podemos olvidar que este recurso estratégico e intangible transforma algunas de las condiciones de análisis del desarrollo económico.

Efectivamente, la economía del conocimiento añade nuevas dicotomías y contradicciones a las desigualdades típicas del capitalismo: las personas, la empresa, el sector o las economías conectadas o insertadas en la red del conocimiento global en contraposición con las personas, las empresas, los sectores o las economías que permanecen desconectadas.

Dicho de otra manera, si el conocimiento, vinculado por definición al factor trabajo, representa una oportunidad de desarrollo económico, también constituye una nueva forma de exclusión del sistema para las personas, comunidades o instituciones que no dispongan de los mecanismos de inserción en la economía global del conocimiento.

Precisamente, en este artículo vamos a tratar uno de estos focos de análisis. Desde una perspectiva internacional, vamos a analizar las vinculaciones entre las TIC, el conocimiento y el crecimiento económico. Para ello, y después de esta breve introducción conceptual, pasaremos revista a la ya abundante literatura relativa a la contribución de la tecnología en general y de las TIC en particular sobre el crecimiento económico, para más adelante presentar un modelo empírico, agregado e internacional, que determine la contribución del capital conocimiento sobre el nivel y los avances de la renta *per cápita* de un amplio conjunto de países. Finalmente, presentaremos unas breves conclusiones y futuras líneas de investigación, así como la bibliografía utilizada.

TECNOLOGÍA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: UN ESTADO DE LA CUESTIÓN †

Sobre la base de las significativas aportaciones de Marx (1867-1883) y Schumpeter (1934), el análisis económico ha vinculado estrechamente el crecimiento económico a largo plazo con la innovación tecnológica. De hecho, esta vinculación se constituye en el marco analítico de origen para la investigación sobre las relaciones entre conocimiento y crecimiento económico. Aunque esta asociación de ideas responde al bagaje teórico y empírico que los economistas clásicos y modernos nos han dejado sobre la cuestión, el punto de encuentro entre las diferentes corrientes de pensamiento sobre el crecimiento económico con presencia de innovación tecnológica nos dice, lógicamente, que éste presenta una doble base: la acumulación de factores productivos, como el capital y el trabajo, y la innovación en la actividad económica, es decir, el progreso tecnológico.

Las fuentes de estos hechos son dos. Primera, la inversión y su rentabilidad son el fundamento de la acumulación de factores. Segunda, la inversión y la difusión del conocimiento son el fundamento del progreso tecnológico. Ahora bien, no siempre ha existido consenso en la explicación de las fuentes del

crecimiento económico. Más bien lo contrario. El papel de la innovación tecnológica en los modelos de crecimiento económico ha sido objeto de un intenso debate académico, que se ha prolongado durante gran parte de la segunda mitad del siglo XX y que con la irrupción de las tecnologías digitales ha tomado un renovado impulso.

El punto de partida obligado de la teoría moderna del crecimiento económico lo determinan dos trabajos seminales de Robert M. Solow. En el primero de estos trabajos (Solow, 1956), el autor propone un modelo explícitamente dinámico sobre la evolución de una economía, que acabó estableciendo las bases del marco analítico para el desarrollo de la teoría neoclásica del crecimiento y, por qué no decirlo, de una buena parte de la macroeconomía moderna. El mismo año Swan (1956) presentó un trabajo similar, por lo que este modelo de crecimiento se conoce como el modelo de Solow-Swan. En el segundo trabajo (Solow, 1957), el autor utiliza una función de producción agregada para evaluar los registros del crecimiento económico de Estados Unidos. La hipótesis básica de estos modelos es que sólo se producen aumentos sostenidos de la actividad económica con presencia de progreso tecnológico. Sin este progreso, la acumulación de capital se enfrenta a rendimientos decrecientes, con lo cual cae la productividad.

En cambio, con presencia de cambio técnico, las mejoras de la tecnología contrarrestan la acumulación de los rendimientos decrecientes del capital con los incrementos del producto *per cápita*, causados por las propias mejoras tecnológicas y por la acumulación adicional del capital que lo hacen posible. Incluso antes de que se hicieran públicos los resultados de los trabajos seminales de Solow, los economistas ya habían comenzado a acumular evidencia empírica que sugería que la experiencia del crecimiento económico durante los últimos años del siglo XIX y la primera mitad del siglo XX no podía leerse únicamente a partir de un aumento de la dotación de factores productivos utilizados.

Estos resultados ponían claramente en crisis la visión tradicional sobre el papel central del capital, físico y humano, en el crecimiento económico (Abramovitz, 1956). Además, motivaron gran cantidad de trabajo empírico y teórico, que pretendía aclarar la naturaleza y cuantificar la importancia de los factores explicativos del aumento del producto *per cápita*. Con estos precedentes, Solow parte de una función de producción agregada, que cumple los supuestos clásicos de concavidad (productos marginales crecientes y productividad marginal decreciente), rendimientos constantes a escala y sin factores productivos no hay producción y es del tipo Cobb-Douglas. Es decir, $Y = A(t) K^\alpha L^{(1-\alpha)}$, donde $A(t)$ es la medida de los efectos acumulados del cambio técnico en el tiempo, K es el capital y L el trabajo.

Si sacamos logaritmos y diferenciamos y tenemos en cuenta que la elasticidad del capital y el trabajo en relación con la producción es, en el supuesto competitivo, la participación de estos factores en la renta nacional, llegamos a la expresión básica de la contabilidad del crecimiento. Es decir, $(\dot{Y}/Y) = \alpha (\dot{K}/K) + (1-\alpha) (\dot{L}/L) + (\dot{A}/A)$, que tiene, a través de la hipótesis de rendimientos constantes a escala, su traslación en términos intensivos, es decir: $(\dot{y}/y) = \alpha (\dot{k}/k) + (\dot{A}/A)$. La única magnitud no observable de esta expresión es (\dot{A}/A) , de manera que, por diferencia, podemos calcular la contribución del progreso técnico al aumento de la renta *per capita*.

Este ejercicio es el que hizo Solow a partir de la economía de Estados Unidos en el período 1909-1949. Dado que el capital por hora trabajada en el sector privado no agrario aumentó a una tasa media anual, durante este periodo del 0,68%, y que el producto por hora trabajada lo hizo a un ritmo anual del 1,8%, un cálculo sencillo, con α (es decir, la participación del capital en la renta nacional) igual a 0,33, muestra que la contribución del progreso técnico al crecimiento de la renta per capita de la economía de Estados Unidos entre los años 1909 y 1949 fue del 87,5% del total. La ecuación nos dice que el crecimiento de la producción es igual a una media ponderada del crecimiento del capital y el trabajo más la tasa de crecimiento del progreso tecnológico. De hecho, el término (\dot{A}/A) se conoce normalmente como el crecimiento de la productividad total de los factores (PTF, o también el crecimiento de la productividad múltiple de los factores).

Estos sorprendentes resultados y otros similares plantearon el interrogante a los investigadores de cuáles eran las bases de A . Por construcción, este factor residual era muy amplio. El consenso se situó en torno al hecho de que lo que capturaba básicamente este factor residual, A , eran los efectos del progreso tecnológico. De hecho, la corroboración empírica de la importancia del factor residual en la explicación del crecimiento económico, en detrimento de la dotación de factores (Abramovitz, 1956), pasaría a denominarse la paradoja de la productividad.

Sin embargo, muy pronto surgieron otras interpretaciones de este factor residual que volvieron a destacar la importancia de la acumulación de los factores (o su mala medida) y, en consecuencia, el papel primordial del proceso de ahorro y de inversión como motor del crecimiento económico (Salter, 1960). Una de las aportaciones más relevantes fue la de Hicks (1965), con un modelo que, rechazando las hipótesis neoclásicas, tenía en cuenta los rendimientos crecientes y la competencia monopolística. La conclusión fundamental de su modelo era que los supuestos neoclásicos infravaloraban la impor-

tancia del remanente de capital en el crecimiento económico.

Otra aportación a tener en cuenta es la de Schultz (1961), que por primera vez destacó la importancia de la inversión en capital humano. Según este autor, la infravaloración de los factores productivos en la explicación del crecimiento económico se explica por el hecho de que cuando se mide el trabajo por horas trabajadas o por el volumen de la fuerza de trabajo, no se considera la calidad del esfuerzo humano, que va aumentando progresivamente en relación directa con la inversión en educación y sanidad.

Estas diferentes interpretaciones del factor residual, A , establecieron las bases de lo que más tarde se denominaría la teoría del crecimiento económico endógeno, aparte de preguntarse, por primera vez, por las fuentes del progreso tecnológico, que ya no era considerado como un «maná caído del cielo». La respuesta, que pasa, entre otros, por la inversión en I+D y la importación de tecnologías y, por lo tanto, que permite considerar este progreso como un proceso inversor más, conciliaría las dos tendencias interpretativas del crecimiento económico: la explicación neoclásica de la dotación de factores y la explicación del factor residual.

En conclusión, en los modelos exógenos de crecimiento económico, la tasa de crecimiento de la renta *per cápita* en un equilibrio a largo plazo está determinada por el ritmo de avance del progreso tecnológico, independientemente de los otros parámetros del sistema. Esta conclusión supone dos implicaciones importantes. Los cambios en la política económica, mediante las variables que determinan el modelo, aumentan las tasas de crecimiento del producto *per cápita* pero sólo de manera temporal, es decir, a lo largo de la trayectoria de equilibrio hasta el nuevo estado estacionario. Cambios en la política económica pueden dar lugar a efectos de nivel; es decir, incidir repetidamente en algunas de las variables que determinan el modelo puede elevar/disminuir permanentemente el nivel de producción *per cápita*. En efecto, los cambios derivados de la política económica sólo pueden generar efectos de nivel, ya que los efectos sobre la tasa de crecimiento son transitorios, por el hecho de que la pendiente sólo está determinada por el progreso tecnológico.

Otras conclusiones importantes son que los incrementos de la inversión y la moderación de las tasas de crecimiento de la población permiten una acumulación de capital por trabajador más elevada y, por lo tanto, incrementos del nivel de la productividad. Por otra parte, el progreso tecnológico puede contrarrestar la tendencia a la disminución del producto marginal del trabajo, lo que explica el crecimiento sostenido de algunas economías.

Acabamos de ver cómo las teorías sobre el crecimiento económico de cariz neoclásico presentan una modelización del progreso tecnológico como algo exógeno y no costoso que conduce a conclusiones difíciles de asumir. Su interpretación implica la ruptura de las conexiones entre el proceso de ahorro e inversión y el crecimiento económico, al mismo tiempo que pone de relieve las dificultades de encontrar instrumentos de política económica con los que influir en la tasa de crecimiento a largo plazo. Sin embargo, los investigadores de esta rama de las teorías del crecimiento enseguida fueron conscientes de que la consideración de exogeneidad no era nada más que una simplificación, muy notable, de la realidad. Para acercarnos a los factores relevantes de la determinación del crecimiento económico es necesario cambiar la hipótesis de la determinación exógena del progreso tecnológico por la consideración de una tasa de progreso tecnológico que se determina de forma endógena. La especificación del progreso tecnológico en los modelos endógenos de crecimiento económico se expresa a menudo a partir de una función de producción agregada aumentada por un índice de eficiencia tecnológica, del tipo: $Y = F(K, L, A)$; $Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha}$, donde la única diferencia con los modelos exógenos es el hecho de que A se determina dentro del modelo, habitualmente vinculada al factor trabajo; es decir, es endógena.

A grandes rasgos, podemos afirmar que existen dos grandes familias de modelos de crecimiento endógeno, que agrupamos bajo la denominación de modelos de *learning by doing* y modelos de capital humano. Formalmente, una buena parte de estos modelos no son nada más que modificaciones de algunas de las hipótesis del modelo de Solow-Swan, por lo cual algunos autores los consideran precisamente como extensiones del modelo neoclásico de crecimiento exógeno. Sin embargo, la importancia y el reconocimiento adquiridos por estos modelos, y la obtención de conclusiones claramente diferenciadas de los anteriores, justifican su tratamiento diferenciado (De la Fuente, 1992).

Los modelos de *learning by doing* se caracterizan por el hecho de que los incrementos de productividad son un resultado derivado de otras actividades. Dicho de otra manera, el progreso técnico es el resultado casi accidental de otras acciones económicas, por lo que no nos planteamos ni la financiación ni la distribución de sus beneficios.

Este hecho tiene una doble motivación: los rendimientos crecientes generados por el uso intensivo del conocimiento y la experiencia acumulada en las actividades normales de producción y de inversión. En cambio, en los modelos de capital humano el progreso tecnológico es el resultado directo de la inversión de los agentes económicos en formación e

investigación, por lo que es un proceso costoso. En este contexto, el crecimiento económico tiene como principales fuentes la dotación actual de conocimiento y el volumen de recursos invertidos en formación y/o en investigación y desarrollo. Una diferencia importante de estas dos familias de modelos endógenos es el hecho de que el progreso tecnológico y la acumulación de capital son complementarios en los modelos de *learning by doing* y, en cambio, son sustitutivos en los modelos de capital humano. De hecho, en los modelos de aprendizaje basado en la práctica se presenta el problema de la dificultad de separación entre la acumulación de capital físico y el progreso tecnológico que ya teníamos en los modelos exógenos. Por el contrario, en los modelos de capital humano, la adquisición de conocimientos compete con la acumulación de capital para los recursos disponibles, de manera que se genera un *trade-off* entre tipologías alternativas de inversión. En este sentido, se podría decir que esta familia de modelos de tipo endógeno añade a la lista tradicional de factores productivos otros *inputs*, como el capital humano y tecnológico, al mismo tiempo que rebaja algunos de los supuestos de la teoría neoclásica, como la asunción de rendimientos crecientes; a pesar de que también insisten en el papel central del ahorro y la necesidad de evaluar las decisiones individuales de inversión que se establecen sobre el proceso de acumulación de factores.

Si nos centramos en la primera familia de modelos endógenos, el progreso tecnológico aparece como un residuo de las actividades normales de producción y de inversión. La idea que subyace detrás de esta interpretación es la siguiente: el aprendizaje hace crecer la productividad; o, dicho de otra manera, la familiarización con un proceso productivo por parte de la fuerza de trabajo mediante el aprendizaje lleva, a la larga, a un incremento de productividad. Como consecuencia de esta idea, su traslación a los modelos de crecimiento se vehicula a través del hecho de que el stock de saber útil (o tecnología) ya no es función únicamente del tiempo, sino que también depende de la adquisición de conocimientos, del aprendizaje basado en la práctica y de la experiencia acumulada (Arrow, 1962). En este sentido, un índice de experiencia podría ser la inversión acumulada o, dicho de otra manera, el *stock* de capital.

Un segundo supuesto importante es el hecho de que el *stock* de conocimientos tiene características de bien público. Es decir, que una vez desarrollada una nueva tecnología, esta se extiende al conjunto de la actividad económica (*knowledge spillovers*). De hecho, esta literatura amplía los resultados anteriores y llega a la conclusión siguiente: en el modelo de economías de escala del aprendizaje en la práctica, la tasa de crecimiento en el estado estacionario depende, entre otros, de un elemento nuevo: la población. Es decir, aumentos de población superiores,

con igualdad de otras variables, provocarían incrementos superiores del crecimiento de la renta *per cápita*.

En este contexto, y con la intención de acercarse más a la realidad, existe un conjunto de modelos endógenos que han incorporado a la función de producción la hipótesis de rendimientos crecientes. Este nuevo planteamiento tecnológico determina, al menos, dos inconvenientes importantes. El primero, que ya no es posible pagar a cada factor productivo su producto marginal; de hecho, se rompe la hipótesis de la distribución de la renta según la productividad marginal. El segundo, que con presencia de rendimientos crecientes, las empresas tienen claros incentivos para afrontar una guerra de precios, con el objetivo de expulsar a los rivales. Como destaca la literatura de la competencia monopolística, los rendimientos crecientes son una de sus principales motivaciones. Por lo tanto, los rendimientos crecientes y la condición de agentes económicos precio aceptantes no son consistentes, lo que requiere modelizaciones más complicadas, difíciles de insertar en el análisis de sistemas dinámicos con trayectoria de equilibrio.

El punto de partida de estos modelos es la suposición de que los rendimientos crecientes aparecen mediante los efectos externos —externalidades— asociados a la acumulación de capital físico o humano. En este contexto, la tecnología percibida por cada agente económico privado todavía presenta rendimientos constantes, lo que no sucede con la tecnología en el ámbito agregado. De esta manera, es posible analizar la hipótesis de rendimientos crecientes sin incluir dificultades adicionales. La idea es añadir al modelo tradicional de Solow con presencia de tecnología la suposición de que la acumulación de capital genera una externalidad positiva, que se traduce en un incremento de la productividad. La función de producción agregada tiene esta forma funcional: $Y = \theta K^\alpha (AL)^{1-\alpha} = \theta AL k^\alpha$, donde k ($= K/AL$) es la relación capital/trabajo en unidades de eficiencia.

Como en el modelo exógeno con presencia de tecnología, A es un índice tecnológico que aumenta con el tiempo a una tasa constante y exógena $A/A = g_A > 0$. La variable θ recoge la externalidad positiva asociada al capital. De hecho, supondremos que cada agente económico percibe θ como una constante exógena y, por lo tanto, que no influye en las acciones, si bien depende del *ratio* agregado entre el capital y el trabajo mediante una función que mide el grado de externalidad (μ) del capital por trabajador eficiente. Esta relación la propuso uno de los padres de la teoría endógena del crecimiento, Paul M. Romer (1986), y tiene la forma $\theta = k^\mu$. Si combinamos las dos expresiones obtenidas de este modelo y lo expresamos en términos de trabajador ef-

ciente, tenemos una forma funcional: $y = A k^{\alpha+\mu}$. Es decir, que el producto *per cápita* eficiente depende de un índice de tecnología y del capital por trabajador eficiente elevado a $\alpha + \mu$, que mide el grado de rendimiento a escala en el capital, teniendo en cuenta el efecto externo. En estos supuestos, el equilibrio competitivo resulta factible, ya que cada agente económico toma θ como dado.

Dicho de otro modo, las empresas no pueden utilizar el recurso basado en prácticas de competencia monopolística, ya que los rendimientos crecientes se dan en el ámbito agregado, de manera que se encuentran bajo situación competitiva y un aumento de escala no se puede trasladar a los precios finales. Además, en el equilibrio cada factor productivo recibe su producto marginal, de manera que el interés y el salario se igualan a las derivadas parciales de la producción agregada en relación con capital y trabajo, considerando θ como una constante.

Una conclusión importante de este tipo de modelos es que con rendimientos crecientes del capital puede darse crecimiento sostenido, aunque no haya progreso tecnológico, lo que no era posible en los modelos exógenos, donde el crecimiento económico estaba vinculado a la presencia de progreso tecnológico. De hecho, el argumento según el cual, una vez alcanzada una cierta dotación de capital, la caída de la rentabilidad de la inversión representa un volumen de recursos insuficientes para reponer la depreciación, desaparece con rendimientos crecientes o constantes en el capital. Otra conclusión importante, aunque no es nuestro objeto de estudio, es el hecho de que la convergencia entre países depende de manera significativa de la existencia o no de rendimientos crecientes en el capital.

De hecho, y en contraposición a los modelos neoclásicos de rendimientos decrecientes del capital por trabajador eficiente, donde la renta tendía a igualarse, en los modelos con rendimientos crecientes, la ventaja de un país inicialmente más rico tenderá a aumentar, ya que la renta *per cápita* es función del *stock* de capital por trabajador acumulado. Endogeneizando la tasa de ahorro o permitiendo los flujos de factores, esta divergencia todavía podría ser más amplia.

Por otra parte, y como hemos señalado, existe otra familia de modelos endógenos de crecimiento que, bajo la tipología de modelos de capital humano, endogeneizan el progreso tecnológico como una actividad con características económicas particulares. El punto de partida de esta tipología de modelos lo encontramos en un influyente trabajo de otro de los padres del crecimiento económico endógeno, Robert E. Lucas (1988). La base de su modelo es la consideración de que el factor trabajo puede incorporar diferentes niveles de educación y requerir diferentes

habilidades. De hecho, este modelo no hace nada más que extender el modelo de Solow con la incorporación del capital humano o el trabajo cualificado. La función de producción planteada combina el capital físico, K , con el trabajo cualificado, H , y es del tipo Cobb-Douglas con rendimientos constantes. Es decir, $Y = K^\alpha (AH)^{1-\alpha}$, donde A representa la tecnología del incremento del trabajo, que crece a una tasa exógena, g . Supongamos, además, que τ representa la parte del tiempo que una persona dedica al aprendizaje y L representa, como siempre, la cantidad total de trabajo empleado en la actividad económica. Si P representa la población total de una economía, entonces es fácil ver que la cantidad de *input* trabajo de esta economía se determina mediante $L = (1 - \tau)P$. Adicionalmente, la formación de la fuerza de trabajo no cualificada durante el tiempo τ genera el trabajo capacitado H , de acuerdo con $H = e^{\psi\tau} L$, donde ψ es una constante positiva. Según esta expresión, si $\tau = 0$, entonces $H = L$, de manera que si los agentes económicos no dedican parte del tiempo a formación, todo el trabajo es no cualificado. En cambio, si τ aumenta, significa que una unidad de trabajo no cualificado incrementa las unidades efectivas de trabajo cualificado H .

Si tomamos logaritmos y diferenciamos la expresión que vincula el trabajo capacitado con el total del trabajo, obtenemos que la derivada parcial del trabajo cualificado en relación con el tiempo es ψ . Esta relación incremental nos confirma que un pequeño aumento de τ , es decir, del tiempo dedicado a la formación, incrementa el trabajo cualificado, H , en un porcentaje exponencial ψ . Para determinar la solución del modelo expresamos la función de producción en términos *per cápita*, es decir, ponderamos por el trabajo, L , y obtenemos que: $y = k^\alpha (Ah)^{1-\alpha}$ y $h = e^{\psi\tau}$. Por último, es destacable que en este modelo la tasa de crecimiento de la renta *per cápita* depende, básicamente, de la inversión en capital físico, en capital humano y del progreso tecnológico.

Una extensión importante de los modelos que hemos visto anteriormente es la de Paul Romer que en 1990 publicó un influyente artículo, donde se extendía al conjunto de la economía la visión del progreso tecnológico endógeno. Este modelo tiene dos puntos de partida. El primero es la consideración de la tecnología como un bien no rival, es decir, como un bien que puede ser utilizado por mucha gente al mismo tiempo. Además, en un esquema que ya se ha hecho clásico, Romer distingue entre el concepto de rivalidad y el concepto de capacidad de exclusión, es decir, la capacidad de evitar que alguien utilice un determinado producto. Si se puede evitar, entonces se dice que el bien es exclusivo, mientras que si no se puede evitar, se dice que el bien es no exclusivo. De esta manera, y a diferencia de los bienes tradicionales, se definen las ideas como bienes no rivales y con diferentes grados de exclusión.

El segundo punto de partida es la consideración de que los bienes no rivales sólo se deben producir una vez: coste fijo elevado. En consecuencia, con costes medios siempre superiores a los marginales y en una situación de competencia perfecta, donde el precio se iguala al coste marginal, la empresa competitiva incurrirá en pérdidas si quiere producir tecnología. De esta manera, los bienes tecnológicos tenderán a ser producidos por empresas que dispongan de un cierto poder de mercado, lo que les permitirá rentabilizar la fuerte inversión inicial en I+D.

Con la combinación de una visión de la tecnología como bien no rival que presenta rendimientos crecientes y las hipótesis de competencia imperfecta, Romer plantea un modelo con tres tipos de agentes económicos. En primer lugar, están los productores de bienes finales, que utilizan una tecnología que incorpora trabajo y un conjunto de bienes intermedios que deben adquirir en las empresas que los han desarrollado. En segundo lugar, están los inventores de los bienes de capital, que invierten una cantidad en I+D para crear nuevos productos que, una vez desarrollados, tienen una patente que les garantiza la explotación de la propiedad intelectual. Finalmente, tenemos a los consumidores, que eligen la cantidad que se debe consumir y ahorrar para maximizar una función de utilidad intertemporal. Los productores de bienes finales se enfrentan a una función de producción agregada: $Y = A K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$, donde A es un parámetro que mide la eficiencia de la empresa, L_t es el trabajo y K_t es un compuesto de bienes intermedios agregados, que depende del sumatorio, desde el primer momento, hasta el número de bienes intermedios inventados a día de hoy, de la cantidad de bienes intermedios que las empresas demandan.

Es decir, la producción de bienes finales de esta economía depende del parámetro de eficiencia, A , del trabajo, L_t y de la cantidad utilizada, x_{jt} , de bienes intermedios, N_t , inventados hasta el momento t . Una propiedad importante de esta función es que presenta rendimientos decrecientes respecto de cada bien de capital, x_{jt} , aunque presenta rendimientos constantes del capital en relación con la cantidad total de estos bienes. De hecho, si suponemos que a cada momento del tiempo la cantidad de estos bienes de capital es la misma ($x_j = x$) para todas las empresas, j , entonces la función de producción puede reescribirse como: $Y = A L_t^{1-\alpha} [N_t x_j]^\alpha N_t^{1-\alpha}$. Si a esta función de producción de los bienes finales añadimos la expresión de la producción de bienes de capital y el programa maximizador del consumo, llegamos a la presentación del sistema de ecuaciones de este modelo. Con respecto a las empresas inventoras, el modelo representa que existe un sistema legal que garantiza los derechos de la propiedad de la invención y permite la explotación del gasto en I+D realizada inicialmente.

La empresa productora de bienes de capital, pues, se enfrenta a dos decisiones importantes: la primera, si debe participar o no en el juego de la creación de I+D. Para tomar esta decisión deberá comparar los costes y los beneficios de la innovación. La segunda hace referencia al precio del bien de capital una vez inventado. Para determinar este precio, la empresa productora del invento maximiza el valor presente de todos los beneficios futuros, los cuales son iguales a la cantidad producida multiplicada por el precio de venta, menos la cantidad producida multiplicada por el coste marginal de cada unidad.

Con respecto al programa del consumo, los consumidores se enfrentan a una función de utilidad intertemporal sujeta a una restricción de acumulación de renta. En síntesis, los rasgos característicos de este modelo son que el crecimiento económico depende, entre otros, inversamente del gasto de las actividades de I+D, y también, positivamente, de la dimensión de la población; es decir, presenta un efecto de escala.

TIC, PRODUCTIVIDAD Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: BREVE HISTORIA DE UNA CONTROVERSIA †

En el contexto de los modelos de análisis de las vinculaciones entre tecnología y crecimiento del producto *per cápita* desarrolladas por las aproximaciones exógenas y endógenas, en la actualidad se acumula ya una abundante literatura relativa al impacto de las TIC sobre la productividad y el crecimiento económico agregado. En efecto, ya hemos señalado que uno de los indicadores económicos más relevantes en la explicación del crecimiento económico a largo plazo es la productividad, entendida como el producto por persona ocupada o, preferiblemente, por hora trabajada. La productividad puede aumentar como resultado de un incremento del capital disponible por hora trabajada (o, intensificación del uso del capital) o por un mayor grado de eficiencia económica, medido por los incrementos de la productividad total de los factores.

De hecho, este último elemento, la aceleración de la PTF, corroboraría la existencia de un proceso substancial de cambio económico ya que, en la práctica, supondría un salto significativo en la eficiencia del sistema económico. Sin embargo, y a diferencia de la productividad del trabajo, en el nivel macroeconómico, la PTF presenta importantes problemas de cálculo y su estimación resulta compleja. Para la estimación de este indicador, habitualmente, la literatura empírica internacional utiliza la estimación econométrica del coeficiente de cambio tecnológico a partir de una representación estándar y neoclásica del crecimiento de la productividad del trabajo, entendida como el cambio en el *output* por unidad de *input* trabajo. Ya hemos visto que, habitualmente, es-

ta relación suele representarse bajo la forma funcional: $(\dot{Y}/L) = \alpha (\dot{K}/L) + \dot{A}$, donde Y es el *output*, L es el trabajo, K es el capital, α es la participación del capital en la renta nacional, A es el nivel de productividad total de los factores y \bullet representa el cambio porcentual. En este modelo, la dependencia del capital (\dot{K}/L) representa los cambios en la productividad atribuibles a niveles más elevados de capital por trabajador, mientras que la PTF (\dot{A}) representa las mejoras de eficiencia general del sistema económico, derivadas de las combinaciones entre capital y trabajo para la producción del *output*.

El punto de partida del análisis de las vinculaciones entre la inversión y los usos digitales y la productividad debemos buscarlo en los intentos de explicación del fuerte ritmo de crecimiento económico de Estados Unidos durante la última fase expansiva del ciclo, en particular a partir de la segunda mitad de la década de los noventa. Este notable ritmo de crecimiento económico se ha basado principalmente en la expansión de las ramas productivas vinculadas con el uso intensivo del conocimiento (Torrent, 2002). Esta constatación, desde el punto de vista de la producción, confirma la evidencia según la cual el conocimiento va adquiriendo una importancia creciente en la explicación de uno de los pilares de la actividad macroeconómica: el crecimiento económico.

No siempre ha sido así. De hecho, el análisis del impacto de las TIC sobre otra de las variables macroeconómicas relevantes, la productividad, ha sido objeto de una importante controversia académica. En efecto, el punto de partida de los trabajos empíricos vinculados con el análisis de la contribución de las TIC al crecimiento de la productividad, se ha basado en la constatación del hecho de que la economía de Estados Unidos ha presentado un notable repunte al alza del producto por hora trabajada a partir de la segunda mitad de la década de 1990. Efectivamente, la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo del sector privado no agrario de Estados Unidos ha presentado un salto significativo, ya que ha pasado de crecer a tasas próximas al 1,5% por término medio entre 1990 y 1995, a un 2,7% por término medio entre 1996 y 2000.

Datos más actualizados (Departamento de Trabajo de los Estados Unidos, 2005) confirman que este importante repunte al alza esconde tendencias claramente diferenciadas: un notable incremento entre 1995 y 2000 (del 2,6% por término medio entre el cuarto trimestre de 1995 y el segundo trimestre de 2000), un importante debilitamiento en el 2000 y a principios del 2001 (0,7% por término medio entre el tercer trimestre de 2000 y el tercer trimestre de 2001), y un espectacular rebrote al alza desde finales del 2001 hasta la actualidad (con progresos próximos al 3% por término medio entre el cuarto trimestre de

2001 y el tercer trimestre de 2005 y con avances medios del 3,9% en el 2003 y del 3,4% en el 2004).

En este contexto, y a partir de las aportaciones iniciales de Jorgenson y Stiroh (2000; 2001), Oliner y Sichel (2000) y Whelan (2000), que atribuyen una importancia significativa de las TIC en la aceleración del crecimiento de la productividad del trabajo en Estados Unidos, Gordon (1999; 2000) profundizó en este análisis y destacó que la aceleración de la productividad de Estados Unidos era atribuible casi exclusivamente al sector TIC, lo que desmontaba los argumentos de los efectos sinérgicos hacia el conjunto de la actividad económica y, en consecuencia, que hubiera una nueva economía. Sin embargo, otro reconocido investigador de la productividad, Nordhaus (2001; 2002), utilizando datos actualizados y mejores medidas del *output* llega, precisamente, a la conclusión contraria: casi la mitad de la aceleración de la productividad del trabajo de Estados Unidos es consecuencia de la utilización de las TIC por el resto de las ramas productivas de la economía no vinculadas al sector de la producción de bienes y servicios digitales.

En efecto, a partir de los nuevos datos homogéneos de productividad del trabajo y utilizando tres fuentes distintas de medidas de la productividad: el PIB desde la renta, el *output* del sector privado desde la renta y una nueva medida denominada *output* correctamente medido, que incluye los sectores productivos donde el cálculo del *output* es consistente, es decir, toda la economía, excepto la construcción y los servicios financieros y públicos, el autor descompone el aumento de la productividad del trabajo en tres componentes. Primero, el efecto de productividad pura, una variación compuesta del crecimiento de la productividad en todos los sectores productivos. Segundo, el efecto Denison, que captura el efecto de los cambios de la participación de la ocupación en la productividad agregada. Y tercero, el efecto Baumol, que capta la interacción entre las diferencias del crecimiento de la productividad y el cambio de las horas trabajadas en las diferentes industrias.

Los resultados son concluyentes, ya que con los tres indicadores utilizados para la medida del *output*, el efecto relevante en la explicación de la aceleración de la productividad del trabajo de Estados Unidos es el efecto productividad pura, lo que nos permite corroborar los efectos sinérgicos de las TIC hacia el resto del aparato productivo. De hecho, este conjunto de trabajos, que parten de una función de producción agregada con presencia de innovación tecnológica para la explicación de la productividad del trabajo, distinguen tanto la acumulación de capital como la PTF en dos componentes: el asociado al sector TIC y el del resto de la economía. Pues bien, se ha alcanzado un cierto consenso acerca de que el principal elemento explicativo de la intensificación

del capital en Estados Unidos ha sido la inversión en TIC. Aún más, también se ha llegado a un cierto acuerdo académico sobre que una buena parte de las mejoras de eficiencia del sistema económico de Estados Unidos, o dicho de otra manera, la PTF, es atribuible a la producción del sector TIC. Ahora bien, las discordancias están en el otro componente de la PTF, los efectos sinérgicos de este tipo de conocimiento hacia el resto de las ramas de la economía.

En este sentido, podemos afirmar que la aceleración de la productividad del trabajo en el sector privado no agrario de Estados Unidos durante la segunda mitad de la década de 1990 es atribuible, dependiendo de las investigaciones, entre un 25% y un 50%, a la intensificación del capital TIC, y cerca de un 25%, a la PTF vinculada directamente a la producción TIC. En cambio, no existe en esta literatura un consenso claro con relación a los efectos que las TIC generan sobre la eficiencia del conjunto del sistema. Llegados a este punto, hemos de distinguir dos posiciones.

La primera, que llamaremos escéptica, liderada por el profesor Gordon (2000), considera que la aceleración de la PTF durante la segunda mitad de la década de 1990 en Estados Unidos se debe atribuir, en gran medida, a los efectos cíclicos vinculados con el espectacular incremento de la inversión en las tecnologías digitales. El debilitamiento de la productividad del trabajo a finales del año 2000 y principios de 2001 y los primeros resultados empíricos en el nivel microeconómico, que atribuían casi la totalidad del aumento de la productividad al sector de los ordenadores, de los semiconductores, del software y de las comunicaciones, daban credibilidad a esta visión. Sin embargo, estudios sectoriales y empíricos posteriores (Stiroh, 2001; Baily y Lawrence, 2001) amplían esta visión e indican que una importante aceleración de la productividad en los sectores que utilizan más intensivamente las TIC, en especial el sector de las finanzas, el comercio al por mayor y al detalle y algunas industrias manufactureras.

En concreto, la idea de estos trabajos es la siguiente: los sectores que han invertido más en las tecnologías digitales durante la década de 1990 son los que han presentado un incremento de la productividad del trabajo más sustancial. Esta aproximación, que llamaremos favorable, considera que una parte sustancial del aumento de la productividad del trabajo en Estados Unidos es estructural y se expande progresivamente al conjunto de ramas de actividad, especialmente a las intensivas en el uso de TIC. Ahora bien, la pregunta fundamental es si estos efectos son cíclicos o estructurales, o, dicho de otra manera, si están relacionados con el espectacular aumento de la inversión en equipamientos y software, o bien si estos efectos sinérgicos serán persistentes en el tiempo (FMI, 2001).

Por último, cabe destacar que un nuevo y reciente conjunto de investigaciones sobre el impacto de las TIC en el crecimiento de la productividad del trabajo en los EE UU han confirmado la aproximación favorable en el sentido de que la inversión y el uso de las tecnologías digitales suponen una indudable mejora de la intensificación del capital, tanto del sector TIC como de los sectores intensivos en el uso de estas tecnologías, y también y más relevante, un incremento de la PTF, igualmente del sector TIC y de los sectores intensivos en la inversión y el uso digital. En este sentido, Gordon (2003) acaba reconsiderando su visión inicial y afirma que el análisis del impacto de la revolución tecnológica digital sobre el crecimiento de la productividad proporciona buenas y malas noticias.

Las malas noticias están relacionadas con la confluencia inusual de un período de crecimiento extraordinario de esta inversión con choques macroeconómicos (crecimiento de los mercados bursátiles, inflación baja y desempleo reducido) y microeconómicos (crecimiento espectacular de la demanda de TIC, explosión de Internet y ley de Moore) extraordinariamente positivos. Por tanto, la coincidencia en el tiempo de todas estas implicaciones hace excepcional la segunda mitad de la década de 1990, por lo que respecta a los incrementos de la productividad de Estados Unidos y sus fuentes.

Sin embargo, también hay buenas noticias, que están vinculadas con una cierta extensión de los efectos sinérgicos de la inversión en TIC hacia otras ramas de producción, como los nuevos comercios al detalle, los servicios financieros y algunas industrias manufactureras. En este sentido, el autor acaba concluyendo que es muy difícil que se puedan mantener en los próximos años ritmos de crecimiento de la inversión en tecnologías digitales próximos al 30%, si bien hay que tener en cuenta en la explicación del crecimiento económico de Estados Unidos otros tipos de inversión y mejoras organizativas, más vinculadas al marco institucional y a las capacidades de los agentes económicos, que no están directamente relacionadas con la inversión en TIC.

De esta manera, podríamos afirmar que Gordon ha matizado su escepticismo inicial, básicamente en tres direcciones. Primera, las recientes investigaciones sobre el impacto de las TIC en el crecimiento de la productividad del trabajo sugieren una vinculación favorable si esta relación se combina con el impulso de las instituciones (Gordon, 2004c). Segunda, las TIC hacen más eficiente la producción de algunos factores productivos. El impacto de Internet y del software y los servicios informáticos sobre las empresas se ha evidenciado recientemente, sobre todo en los servicios financieros y comerciales (Gordon, 2004b). Y tercera, la compa-

ración histórica nos muestra una clara similitud entre los incrementos actuales de la productividad del trabajo de los EE UU en la actualidad con lo acontecido en la década de los años veinte. Las dos son el resultado de un proceso acumulativo y dinámico de inversión y uso de nuevas tecnologías (Gordon, 2004a).

En la misma dirección favorable, cabe destacar un reciente trabajo de Jorgenson, Ho y Stiroh (2005), que analiza las fuentes del crecimiento económico, de la productividad del trabajo y de la PTF en los EE UU, durante un largo período. Los principales resultados de este trabajo, recogidos en el cuadro 1, confirman la creciente aportación de la inversión en TIC en la explicación de los fundamentos de la economía de los EE UU. En efecto, por lo que se refiere al crecimiento económico, y en el período 1995-2002, la inversión en tecnologías digitales ha explicado 0,64 puntos porcentuales del aumento del PIB, lo que representa un 17,8% del crecimiento económico en el período, frente a una participación del 15,2% en el período 1989-1995, del 11,8% en el período 1973-1989 y del 2,8% en el período 1948-1973.

En lo referente a las fuentes de la productividad del trabajo, la investigación corrobora la importancia de las TIC no sólo en la intensificación del capital, sino también en la PTF. En efecto, la inversión y el uso de las tecnologías digitales se ha convertido en un elemento explicativo fundamental de la aceleración de la productividad del trabajo en los EE UU a partir de la segunda mitad de la década de los noventa. Así, del incremento medio de la productividad del trabajo en el período 1995-2002, cifrado en un 2,4%, la contribución registrada de las TIC ha sido del 55,5%, 0,88 puntos en la dependencia del capital y 0,47 puntos en la PTF.

Finalmente, cabe destacar que la importante aceleración de la PTF en el período 1995-2002, cifrada en un 0,71% (frente al 0,26% del período 1989-1995) es en gran parte atribuible al impacto de las TIC, que explican dos terceras partes de la mejora de eficiencia de la economía de los EE UU. Podemos afirmar, pues, que la evidencia empírica internacional confirma la notable incorporación de las TIC en la explicación del crecimiento económico y de la productividad del trabajo no sólo en la intensificación del capital, sino, y más importante, en el desarrollo de la eficiencia del sistema económico.

Por otra parte, y ante la creciente importancia de los datos del impacto digital para la economía de los EE.UU., un conjunto creciente de investigaciones han extendido el análisis para otras economías del mundo. En base a los trabajos iniciales de los economistas vinculados a la OCDE (Schreyer, 2000; Scarpetta, Bassanini, Pilar y Schreyer, 2000), el análisis interna-

CUADRO 1
LAS FUENTES DE CRECIMIENTO ECONÓMICO, DE LA PRODUCTIVIDAD DEL TRABAJO
Y DE LA PTF EN EE UU, 1948-2002

| | 1948-2002 | 1948-1973 | 1973-1989 | 1989-1995 | 1995-2002 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Puntos porcentuales de crecimiento económico | | | | | |
| PIB | 3,46 | 3,99 | 2,97 | 2,43 | 3,59 |
| Contribución de las TIC | 0,28 | 0,11 | 0,35 | 0,37 | 0,64 |
| Ordenadores | 0,13 | 0,03 | 0,18 | 0,15 | 0,34 |
| Software | 0,07 | 0,02 | 0,08 | 0,15 | 0,19 |
| Equipos de comunicación | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,08 | 0,11 |
| Contribución de otras tecnologías | 3,18 | 3,88 | 2,62 | 2,05 | 2,95 |
| Inversión en tecnologías no digitales | 0,69 | 1,05 | 0,44 | 0,21 | 0,41 |
| Consumo en tecnologías no digitales | 2,49 | 2,82 | 2,18 | 1,85 | 2,54 |
| Puntos porcentuales de productividad del trabajo | | | | | |
| PIB | 3,46 | 3,99 | 2,97 | 2,43 | 3,59 |
| Horas trabajadas | 12,3 | 1,06 | 1,60 | 1,02 | 1,16 |
| Productividad en el trabajo | 2,23 | 2,93 | 1,36 | 1,40 | 2,43 |
| Dependencia del capital | 1,23 | 1,49 | 0,85 | 0,78 | 1,52 |
| TIC | 0,33 | 0,14 | 0,34 | 0,44 | 0,88 |
| Tecnologías no digitales | 0,90 | 1,35 | 0,51 | 0,34 | 0,64 |
| Calidad del trabajo | 0,33 | 0,43 | 0,23 | 0,36 | 0,20 |
| PTF | 0,67 | 1,00 | 0,29 | 0,26 | 0,71 |
| TIC | 0,17 | 0,05 | 0,20 | 0,23 | 0,47 |
| Tecnologías no digitales | 0,50 | 0,95 | 0,09 | 0,03 | 0,24 |
| Puntos porcentuales de productividad total de los factores | | | | | |
| PTF | 0,67 | 1,00 | 0,29 | 0,26 | 0,71 |
| TIC | 0,17 | 0,05 | 0,20 | 0,23 | 0,47 |
| Ordenadores | 0,10 | 0,02 | 0,13 | 0,13 | 0,33 |
| Software | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,06 |
| Equipos de comunicación | 0,04 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,08 |
| Tecnologías no digitales | 0,50 | 0,95 | 0,09 | 0,03 | 0,24 |

FUENTE: Elaboración propia a partir de Jorgenson, Ho i Stiroh (2005).

cional del impacto de las TIC sobre el crecimiento de la productividad se ha enfocado, básicamente, desde dos perspectivas: un primer conjunto de estudios estima la contribución de las TIC a la dependencia del capital utilizando la teoría convencional sobre la contabilización del crecimiento económico (Schreyer, 2000; Colecchia, 2001; Colecchia y Schreyer, 2001; Daveri, 2001; Roeger, 2001), mientras que otro foco de análisis estudia el papel de los sectores productivos, tanto el sector TIC como los sectores que utilizan las TIC, en la explicación del progreso del crecimiento económico (Pilat y Lee, 2001; Van Ark, 2001; Banco Central Europeo, 2001; Van Ark, Inklaar, y McGuckin, 2002).

La primera aproximación nos muestra cómo la inversión en las tecnologías digitales (dependencia del capital basada en las TIC) ha realizado una destacada contribución al crecimiento económico de un importante grupo de países. En efecto, podemos señalar que Estados Unidos no es el único país que se ha beneficiado de los efectos positivos sobre el crecimiento económico de la inversión en TIC. En particular debemos citar los casos de Canadá, Australia y Finlandia, aunque los otros grandes países analizados, en especial los cuatro grandes países de la

Unión Europea, han presentado una contribución del sector TIC menos importante, pero también creciente en el tiempo. Esto nos lleva a afirmar que la consolidación de un sector productivo TIC importante es una condición necesaria, pero no suficiente, para el impacto de las tecnologías digitales sobre el crecimiento económico. Los casos de Australia y Canadá sugieren que la difusión de las TIC tiene un papel importante en la contribución al crecimiento económico de estas tecnologías, sin que ello vaya acompañado de un sector productivo TIC muy desarrollado.

La segunda familia de trabajos nos aproxima a la contribución del sector TIC y de los sectores intensivos en los usos digitales al crecimiento de la productividad y del PIB para un conjunto de países. Siguiendo la clasificaciones de la OCDE (1999; 2000a; 2000b), estos trabajos integran en el sector TIC la maquinaria de oficina, de cálculo y los ordenadores, el equipamiento de radio, televisión y comunicaciones, los servicios postales y de telecomunicaciones, y el software y los servicios informáticos. En el trabajo de Van Ark (2001), los sectores intensivos en los usos de TIC son la industria manufacturera de productos químicos, la maquinaria eléctrica y aparatos, y los instrumentos

médicos, ópticos y de precisión, así como también los servicios de intermediación financiera, los seguros, los alquileres de maquinaria y equipo, y la investigación, el desarrollo y las otras actividades empresariales que incluyen los servicios en las áreas funcionales de las empresas. En el trabajo de Pilat y Lee (2001) se consideran actividades intensivas en el uso de TIC el comercio al por mayor y al detalle, los servicios financieros y los seguros, los servicios en las áreas funcionales en la empresa y la investigación y el desarrollo. Además, para el conjunto de países del G7, la contribución de los sectores intensivos en los usos de TIC ha sido más relevante que el propio sector TIC.

Con respecto al incremento de la productividad del trabajo (Pilat y Lee, 2001), la contribución del sector TIC y de las ramas productivas intensivas en su uso también ha sido relevante en los países analizados durante la segunda mitad de la década de 1990, bien por una importante contribución del sector productivo de las tecnologías digitales (en especial Finlandia), o bien por la notable aportación de los usos intensivos de las TIC (Estados Unidos, Dinamarca y Gran Bretaña). Con respecto a la PTF, la evidencia que se ha encontrado es mixta. Por una parte, países con un importante peso relativo del sector TIC, como Finlandia, Irlanda y Estados Unidos, han presentado un importante repunte al alza de este indicador de eficiencia económica durante la segunda mitad de los noventa, aunque otros países con un sector TIC representativo, como Japón y los grandes países de la Unión Europea, han presentado progresos prácticamente imperceptibles de la PTF. Sin embargo, otros países con un peso relativo del sector TIC bajo, como Australia, han mostrado una notable aceleración de la PTF, lo que sugiere que el hecho de que exista un sector TIC desarrollado no es necesario para acelerar la PTF.

A modo de resumen, podemos concluir esta revisión de la evidencia empírica internacional relativa a la contribución de las TIC al crecimiento económico y de la productividad a partir de cuatro afirmaciones básicas.

Primera, el fuerte incremento de la inversión en equipamientos y software en Estados Unidos explica buena parte del repunte al alza del crecimiento económico y de la productividad en este país. En efecto, la dependencia del capital y la PTF, relacionada con la inversión y la producción TIC, ha sido el elemento subyacente en las mejoras tendenciales de la productividad en Estados Unidos. Además, también se han acumulado evidencias, desde la perspectiva sectorial, con relación a que las mejoras de la productividad se extienden progresivamente al resto de las ramas de actividad, en especial al sector financiero, el comercial, el del transporte, el de los servicios a las empresas y algunas industrias manufactureras.

Segunda, a partir de la segunda mitad de la década de 1990 un conjunto de países de la OCDE también ha presentado mejoras significativas en el progreso tendencial de la productividad. De hecho, se han encontrado evidencias concluyentes en relación con el hecho de que la inversión en TIC explica buena parte del crecimiento económico de los países analizados, en especial de Australia, Finlandia y Canadá. Las aproximaciones sectoriales también certifican la importancia del sector TIC en el crecimiento del PIB y de la productividad, a la vez que evidencian la progresiva importancia de los efectos sinérgicos del uso intensivo de estas tecnologías (en especial en Dinamarca y en Gran Bretaña).

Tercera, la evidencia relativa a las mejoras en la eficiencia global del sistema económico (PTF), como resultado de la utilización intensiva de las TIC, es mixta. Algunos países, como Finlandia, Noruega, Suecia, Irlanda y Australia, han presentado notables mejoras de eficiencia durante la segunda mitad de la década de 1990, aunque en Japón y en los cuatro grandes países del área del euro no se aprecian progresos, más bien al contrario, en este indicador de eficiencia.

Y cuarta, los problemas de medida, sobre todo las diferencias de interpretación contable de la inversión en TIC, el cálculo de los deflatores de precios y la falta de estadísticas recientes, así como también la vinculación entre las TIC y las habilidades de la fuerza de trabajo y la consideración residual del indicador habitual de eficiencia económica, podrían subestimar algunos de los resultados obtenidos con respecto a los modestos progresos de la PTF en algunos países.

En síntesis, podemos concluir esta revisión de la literatura empírica internacional afirmando lo siguiente: se acumula una evidencia concluyente con relación a que la inversión en las tecnologías digitales explica buena parte del incremento de la productividad y del crecimiento económico de algunos países. Además, la aproximación sectorial confirma un cierto efecto sinérgico en el uso intensivo de estas tecnologías hacia el resto del aparato productivo, lo que nos lleva a afirmar que existe algún elemento nuevo tras la reciente aceleración de la PTF a partir de la segunda mitad de la década de 1990.

Sin embargo, todavía quedan por responder dos cuestiones clave.

Primera, ¿el repunte al alza de los componentes de la PTF no vinculados físicamente con los *inputs*, tiene su origen en los efectos sinérgicos y las externalidades de red derivados de la inversión en TIC?

Segunda, ¿esta aceleración es cíclica o estructural? Dicho de otra manera, la literatura empírica internacional nos ha evidenciado que se dan unos claros

efectos macroeconómicos de la inversión en TIC sobre el progreso de la productividad y el crecimiento económico, así como también sobre la eficiencia del sistema económico. Ahora bien, esta literatura no nos explica definitivamente las causas de estos efectos ni tampoco si esta evidencia es estructural o coyuntural. Seguramente, la solución a estos dos interrogantes pasa por la incorporación, como instrumentos de análisis, de otros factores, como los institucionales o las capacidades de los agentes económicos, y por esperar que la revolución digital extienda sus efectos sinérgicos hacia un número creciente de ramas productivas.

Aun así, algo es seguro: la innovación, de la que la inversión digital es una parte fundamental, será la pieza clave en la explicación del crecimiento económico y de la productividad en los próximos años. En este sentido, un conjunto, todavía más reciente de investigaciones (Greenan, Horty y Mairesse, 2002; Timmer, Ypma y Van Ark, 2003; OCDE, 2003; Jorgenson, Ho y Stiroh, 2005), confirman, utilizando nuevas medidas comparables de *output* y de precios e igual como ha sucedido para el caso de los EE UU, la importancia creciente de la inversión digital en la explicación de la productividad agregada y sectorial, tanto en el componente de intensificación del capital como en la PTF.

A título de ilustración de este nuevo conjunto de investigaciones, cabe destacar el trabajo de Jorgenson, Ho y Stiroh (2005), elaborado para los países del G7. En efecto, como se recoge en el cuadro 2, aunque en el período 1995-2001 la productividad del trabajo sólo ha presentado una aceleración de su crecimiento, con relación al período 1989-1995, en EE.UU., Canadá y Japón, las TIC se han convertido en un claro impulsor de la intensificación en el uso de los factores productivos en todos los países de la muestra, con una participación sobre el crecimiento de la productividad cifrada entre los 0,49 puntos porcentuales de Francia y los 0,92 puntos porcentuales de los EE UU.

Además, todavía es más remarcable el importante papel desempeñado por las TIC en las mejoras de la eficiencia global de las economías del G7. En efecto, el componente TIC de la PTF ha aumentado significativamente su participación en el período 1995-2001 con relación al período 1989-1995, explicando desde los 0,82 puntos porcentuales del aumento de la productividad del trabajo en Gran Bretaña a los 0,17 puntos de Canadá. En síntesis, este trabajo pone claramente de relieve la creciente y significativa participación de las TIC en la explicación del crecimiento de la productividad en los países del G7. Así, si agregamos la participación de las TIC, tanto en lo referente a la intensificación del capital como a las mejoras de eficiencia, encontramos una significativa presencia de la inversión y el uso digital en la expli-

cación del crecimiento de la productividad del trabajo en el período 1995-2001 (un 62,8% en EE UU, un 68,1% en Canadá, un 89,5% en Gran Bretaña, un 66,4% en Francia, un 86% en Alemania, un 122,8% en Italia y un 42,2% en Japón).

CONOCIMIENTO, PRODUCTIVIDAD Y CRECIMIENTO ECONÓMICO: UNA CONTRIBUCIÓN AGREGADA, EMPÍRICA E INTERNACIONAL †

Una vez revisado el aparato formal y la literatura empírica internacional sobre el impacto de las TIC en el crecimiento económico y de la productividad, a continuación realizaremos una contribución empírica para un amplio conjunto de países de la OCDE. El modelo presentado supone una ampliación de países respecto a los trabajos revisados en el apartado anterior, además de combinar los tres fundamentos básicos en la explicación del crecimiento económico, como el capital físico, el capital humano y el capital conocimiento, que, básicamente incorpora los efectos sinérgicos de las TIC. En efecto, para parametrizar la contribución del conocimiento sobre el crecimiento económico consideramos un modelo de crecimiento económico neoclásico aumentado con presencia de innovación tecnológica, en base al trabajo de Mankiw, Romer i Well (1992). En concreto, la inversión en capital físico se extiende al capital humano y al capital conocimiento como *inputs* explicativos de la producción agregada. Como evidencia el trabajo de Nonneman y Vandhout (1996), el modelo de Solow (1957) se puede extender para cubrir m tipos de capital, de manera que una función de producción del tipo Cobb-Douglas se puede escribir, como hacen Antonelli (1997), De la Fuente (1999) y Pohjola (2001), de la manera siguiente:

$$Y(t) = K_1(t)^{\alpha_1} K_2(t)^{\alpha_2} \dots K_m(t)^{\alpha_m} [A(t)L(t)]^{(1-\sum_{i=1}^m \alpha_i)}$$

(donde K_i son los diferentes tipos de capital ($i = 1, 2 \dots m$), L es el trabajo, A es el estado de la tecnología y α_i son los coeficientes que miden la elasticidad de las distintas dotaciones de capital con relación al producto final).

Por ejemplo, si suponemos que $K_1(t)$ representa el stock de capital físico; entonces un incremento del 1% en la dotación de este *input* se traduciría, manteniendo constantes las otras dotaciones de capital y el nivel de eficiencia técnica, en un incremento del $\alpha_1\%$ en el producto agregado. Además, el modelo considera que una fracción (s_i) es invertida para cada tipo de capital y define $k_i (=K_i/AL)$ como el stock de cada tipo de capital por unidad efectiva de trabajo e $y (=Y/AL)$ como el nivel de *output* por unidad efectiva de trabajo. Estas especificaciones, siguiendo la modelización típica de los ejercicios de contabilidad del crecimiento, nos conducen hacia un sistema de ecuaciones diferenciales de la forma:

**CUADRO 2
LAS FUENTES DE LA PRODUCTIVIDAD DEL TRABAJO EN LOS PAÍSES DEL G7. 1980-2001**

| Puntos porcentuales de crecimiento y porcentajes de variación | | | | | | | |
|---|-------|--------|------------|---------|----------|--------|-------|
| | EE UU | Canadá | G. Bretaña | Francia | Alemania | Italia | Japón |
| PIB | | | | | | | |
| 1980-1989 | 3,38 | 3,10 | 2,69 | 2,38 | 1,99 | 2,51 | 3,98 |
| 1989-1995 | 2,43 | 1,39 | 1,62 | 1,30 | 2,34 | 1,52 | 2,39 |
| 1995-2001 | 3,76 | 3,34 | 2,74 | 2,34 | 1,18 | 1,90 | 1,89 |
| Horas trabajadas | | | | | | | |
| 1980-1989 | 1,79 | 1,87 | 0,82 | -0,66 | 0,11 | 0,15 | 0,95 |
| 1989-1995 | 10,2 | 0,20 | -1,17 | -0,41 | -0,71 | -0,57 | -0,51 |
| 1995-2001 | 1,53 | 1,93 | 1,03 | 0,91 | 0,11 | 0,99 | 1,14 |
| Productividad del trabajo | | | | | | | |
| 1980-1989 | 1,58 | 1,23 | 1,87 | 3,04 | 1,88 | 2,36 | 3,04 |
| 1989-1995 | 1,40 | 1,19 | 2,79 | 1,71 | 3,05 | 2,09 | 2,90 |
| 1995-2001 | 2,23 | 1,41 | 1,71 | 1,43 | 1,29 | 0,92 | 3,03 |
| Dependencia del capital TIC | | | | | | | |
| 1980-1989 | 0,40 | 0,35 | 0,22 | 0,19 | 0,19 | 0,23 | 0,45 |
| 1989-1995 | 0,44 | 0,48 | 0,29 | 0,20 | 0,28 | 0,28 | 0,39 |
| 1995-2001 | 0,92 | 0,79 | 0,71 | 0,39 | 0,46 | 0,45 | 0,85 |
| Dependencia del capital no TIC | | | | | | | |
| 1980-1989 | 0,37 | 0,42 | 1,20 | 2,29 | 1,20 | 2,25 | 0,86 |
| 1989-1995 | 0,34 | 0,16 | 2,11 | 1,15 | 1,33 | 1,06 | 1,37 |
| 1995-2001 | 0,55 | -0,14 | -0,21 | 0,25 | 0,70 | 0,61 | 0,96 |
| Calidad de trabajo | | | | | | | |
| 1980-1989 | 0,30 | 0,40 | 0,12 | 0,24 | 0,26 | 0,23 | 0,72 |
| 1989-1995 | 0,36 | 0,55 | 0,49 | 0,61 | 0,33 | 0,38 | 0,31 |
| 1995-2001 | 0,23 | -0,18 | 0,30 | 0,19 | 0,23 | 0,35 | 0,37 |
| PTF TIC | | | | | | | |
| 1980-1989 | 0,23 | 0,14 | 0,23 | 0,29 | 0,28 | 0,32 | 0,19 |
| 1989-1995 | 0,36 | 0,14 | 0,32 | 0,29 | 0,43 | 0,38 | 0,20 |
| 1995-2001 | 0,48 | -0,17 | 0,82 | 0,56 | 0,65 | 0,68 | 0,43 |
| PTF no TIC | | | | | | | |
| 1980-1989 | 0,29 | -0,08 | 0,11 | 0,03 | -0,05 | -0,68 | 0,82 |
| 1989-1995 | 0,36 | 0,14 | 0,32 | 0,29 | 0,69 | 0,01 | 0,63 |
| 1995-2001 | 0,06 | 0,41 | 0,09 | 0,04 | -0,75 | 1,17 | 0,42 |
| PTF no TIC | | | | | | | |
| 1980-1989 | 39,9% | 39,8% | 24,1% | 15,8% | 25,0% | 23,3% | 21,1% |
| 1989-1995 | 47,9% | 52,1% | 21,9% | 28,7% | 23,3% | 31,6% | 20,3% |
| 1995-2001 | 62,8% | 68,1% | 89,5% | 66,4% | 86,0% | 122,8% | 42,2% |

FUENTE: Elaboración propia a partir de Jorgenson, Ho i Stiroh (2005).

$$K_i(t) = S_i y(t) - (\alpha + n + \delta_i) K_i(t); \quad \forall i = 1, 2, \dots, m$$

(donde δ_i son las tasas de depreciación para cada tipo de capital, α es la tasa de crecimiento del progreso tecnológico y n el avance de la población). Reescribiendo la función de producción inicial de nuestro modelo en su forma intensiva obtenemos:

$$y(t) = k_1(t)^{\alpha_1} k_2(t)^{\alpha_2} \dots k_m(t)^{\alpha_m}$$

Substituyendo la expresión anterior en la ecuación básica de contabilidad del crecimiento y tomando logaritmos, el valor del *output* por trabajo efectivo en el estado estacionario puede expresarse como:

$$\ln \tilde{y}^* = \frac{\alpha_1}{1 - \sum \alpha_i} [\ln s_1 - \ln(\alpha + n + \delta_i)] + \dots$$

$$+ \frac{\alpha_m}{1 - \sum \alpha_i} [\ln s_m - (\alpha + n + \delta_i)]$$

En este sentido, en el estado estacionario el nivel de *output* por trabajador, esto es, la productividad del trabajo, viene positivamente explicada por las tasas de ahorro de cada uno de los tipos de capital y se vincula negativamente con las tasas de crecimiento de la población y la depreciación del capital. Atendiendo a nuestro foco de interés, esto es, el estudio del impacto del capital conocimiento sobre el nivel y el crecimiento de la productividad del trabajo, el número de capitales incorporados a la función agregada de producción se reduce a tres: el capital físico (K_f), el capital humano (K_h) y el capital conocimiento (K_k). Si asumimos, como señala Pohjola (2001), que el nivel tecnológico es el mismo para todos los países de la muestra, excepto una especificidad tecnológica característica de cada país, recogida en el término de error ϵ_j , la especificación empírica obtenida para el nivel observable de *output* por trabajador en el país j presenta la forma siguiente (ecuación a estimar 1):

$$\ln (Y/L)_j = \alpha_0 + \frac{\alpha_f}{1-\beta} \ln s_{fj} + \frac{\alpha_h}{1-\beta} \ln s_{hj} + \frac{\alpha_k}{1-\beta} \ln s_{kj} - \frac{\alpha_f + \alpha_h + \alpha_k}{1-\beta} \ln (\alpha + n_j + \delta_j) + \epsilon_j$$

(dónde $\alpha_0 = \ln A(0) + \alpha t$, $\beta = \alpha_f + \alpha_h + \alpha_k$ y $\beta \leq 1$ por asunción).

El término de error refleja las diferencias entre países, no sólo las tecnológicas, sino también otros elementos como los atributos de los recursos y los determinantes institucionales. Llegados a este punto, es importante señalar que la especificación presentada asume una tasa de depreciación d igual para todos los países y para todos los tipos de capital. Esta importante restricción al modelo es resultado de la inexistencia de datos específicos por países que nos permitan establecer diferentes tasas de depreciación. Además, como señala Temple (1998), existe una elevada correlación entre las distintas tasas de depreciación del capital, lo que nos conduce a afirmar que el impacto sobre los parámetros de interés, es decir, el análisis de las elasticidades de la inversión para un conjunto de países, es relativamente pequeño. También cabe señalar que, debido a la especificación del modelo, nuestra aproximación se inscribe en la familia de modelos de análisis de impacto de las TIC sobre la productividad focalizados en la intensificación del capital. Resta para aproximaciones posteriores el análisis del papel de las TIC en la PTF. Por otra parte, este modelo predice que los países alcanzan el estado estacionario en función de los elementos especificados en la ecuación anterior. En este sentido, y siguiendo la aportación de Mankiw, Romer y Weil (1992), hemos incorporado una aproximación a la convergencia entre países que presenta la forma:

$$\ln y_j(t) = (1 - e^{-\lambda t}) \ln y_j^* + e^{-\lambda t} \ln y_j(0)$$

(donde $\lambda = \beta (\alpha + n + \delta)$).

Esta medida de la velocidad de convergencia no nos dice más que la convergencia en niveles de productividad entre países está en función del estado estacionario, es decir, de los *stocks* de capital, y del nivel inicial de productividad. De hecho, los valores del estado estacionario de nuestra ecuación básica para el nivel de productividad se pueden interpretar nuevamente en función de este indicador de convergencia. Como resultado obtenemos una especificación para el análisis empírico de los avances del nivel de productividad del tipo (ecuación a estimar 2):

$$\ln [y(t)/L(t)] - \ln [y(0)/L(0)] = \theta \ln A(0) + \alpha t + \theta \frac{\alpha_f}{1-\beta} \ln s_{fj} + \theta \frac{\alpha_h}{1-\beta} \ln s_{hj} + \theta \frac{\alpha_k}{1-\beta}$$

En consecuencia, ya estamos en disposición de estimar tanto el nivel (ecuación a estimar 1) como la variación (ecuación a estimar 2) de la productividad, en función de las tres tipologías de capital especificadas para un conjunto de países. Pero antes de presentar los resultados debemos presentar los indicadores seleccionados para la estimación. Por lo que se refiere a la variable dependiente (Y/L), el indicador de productividad del trabajo utilizado ha sido el PIB *per cápita* en edad de trabajar (es decir, entre 15 y 64 años), en términos reales y de paridad de poder de compra para los años 1980, 1995 y 2000 (Banco Mundial, 1998; Maddison, 2001). Los indicadores escogidos para las variables independientes son la tasa de crecimiento de la población en edad de trabajar (n), como *proxy* al crecimiento de la población activa, para el período 1980-2000 (Banco Mundial, 1998; OCDE, 2000c), la participación de la formación bruta de capital fijo sobre el PIB real, como indicador del capital físico para el período 1980-2000 (Banco Mundial, 1998; ITU, 2001), el porcentaje de población con formación secundaria sobre la población en edad de trabajar como *proxy* del capital humano para el período 1980-2000 (UNESCO, 2001) y el gasto en TIC sobre el PIB en términos reales como indicador del capital conocimiento (OCDE, 2001). La muestran los 23 países que en 1995 eran miembros de la OCDE. Es decir, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Japón, México, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Turquía, Gran Bretaña y EE UU.

En lo referente a las estimaciones del modelo planteado, el cuadro 3, recoge los principales resultados del modelo en niveles (ecuación a estimar 1), mientras que el cuadro 4 recoge los principales registros

CUADRO 3
UN MODELO DE DESCOMPOSICIÓN DEL NIVEL DE PRODUCTIVIDAD DEL TRABAJO
EN 23 PAÍSES DE LA OCDE 1995-2000

Elasticidad del capital. Entre paréntesis, valor del estadístico *t* para un nivel de confianza del 95%

| | (Y/L) 1995 | | | (Y/L) 2000 | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| Regresión no restringida | | | | | | |
| Constante | 4,97 (3,4) | 6,55 (4,5) | 7,68 (5,7) | 7,02 (6,1) | 6,54 (4,5) | 6,35 (4,8) |
| Capital físico (ln <i>s_i</i>) | 0,48 (1,6) | 0,42 (1,7) | 0,35 (1,5) | 0,37 (1,0) | 0,42 (1,0) | 0,22 (0,6) |
| Capital humano (ln <i>s_h</i>) | - | 0,68 (2,5) | 0,49 (2,0) | - | - | 0,55 (2,1) |
| Capital conocimiento (ln <i>s_k</i>) | - | - | 0,16 (2,6) | - | - | 0,55 (2,1) |
| ln (α+n+δ) | -1,99 (-4,4) | -1,89 (-4,6) | -1,58 (-4,2) | -1,22 (-3,9) | -1,19 (-3,7) | -1,02 (-3,3) |
| R ² ajustado | 0,53 | 0,62 | 0,72 | 0,42 | 0,40 | 0,63 |
| Error standard | 0,23 | 0,20 | 0,18 | 0,28 | 0,28 | 0,21 |
| Regresión restringida | | | | | | |
| Constante | 8,57 (25,8) | 8,39 (30,7) | 9,04 (27,5) | 8,76 (25,6) | 8,76 (25,1) | 6,72 (8,3) |
| <i>m_i</i> = ln <i>s_i</i> - ln (α+n+δ) | 0,98 (4,3) | 0,62 (2,8) | 0,48 (2,5) | 0,88 (3,8) | 0,77 (2,2) | 0,27 (0,8) |
| <i>m_h</i> = ln <i>s_h</i> - ln (α+n+δ) | - | 0,84 (3,5) | 0,59 (2,6) | - | 0,18 (0,4) | 0,10 (0,2) |
| <i>m_k</i> = ln <i>s_k</i> - ln (α+n+δ) | - | - | 0,18 (2,8) | - | - | 0,60 (2,7) |
| R ² ajustado | 0,42 | 0,62 | 0,72 | 0,38 | 0,36 | 0,52 |
| Error Standard | 0,27 | 0,21 | 0,18 | 0,29 | 0,29 | 0,25 |
| Test F restricción: p-valor | 0,05 | 0,19 | 0,62 | 0,09 | 0,21 | 0,81 |
| α _i implícito | 0,49 | 0,25 | 0,24 | 0,47 | 0,44 | 0,18 |
| α _h implícito | - | 0,34 | 0,26 | - | 0,09 | 0,05 |
| α _k implícito | - | - | 0,09 | - | - | 0,29 |

FUENTE: Elaboración propia. Países de la muestra: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Japón, México, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Turquía, Gran Bretaña, EE UU.

del modelo en diferencias (ecuación a estimar 2).

$$\ln s_{ij} - \theta \frac{\alpha_f + \alpha_h + \alpha_k}{1-\beta} \ln (\alpha + n_j + \delta) - \theta \ln [Y (0) / L (0)] + \varepsilon_j$$

Donde $\theta = (1 - e^{-\lambda t})$

Ya hemos señalado que el modelo estimado es una versión aumentada del modelo de Solow, que asume que los niveles de PIC *per cápita* en edad de trabajar se encuentran en el estado estacionario (regresión no restringida), mientras que la regresión restringida impone la restricción que la suma de coeficientes de los tamaños de las participaciones logarítmicas del capital se iguale al negativo del coeficiente de la suma de logaritmos del crecimiento de la población, la depreciación y el cambio técnico. En este sentido, es de mención que esta restricción se impone para la corroboración de la hipótesis de rendimientos constantes a escala. En nuestra aproximación, y siguiendo a Mankiw, Romer y Weil (1992), se supone que la tasa de crecimiento del progreso tecnológico (α) más el crecimiento de la depreciación (δ) es igual a 0,05. Como se puede observar en los resultados de la estimación restringida del modelo en niveles (cuadro 3), el valor crítico del test de la F, que contrasta la hipótesis de significatividad de la restricción impuesta, es mayor que 0,05 en todas las ecuaciones presentadas, lo que nos sugiere que no se rechaza la restricción impuesta en

ninguna de las versiones estimadas del modelo.

Por lo que se refiere a las diferentes ecuaciones estimadas, la columna (1) presenta para el período en cuestión los resultados del modelo tradicional de Solow, que sólo incorpora un *stock* de capital, el capital físico. La columna (2) contrasta el modelo de Solow ampliado con el capital humano, mientras que en la columna (3) se incorpora a la estimación el indicador de capital conocimiento. Los resultados de la columna (2) del modelo restringido para 1995 son plenamente consistentes con la estimación de Mankiw, Romer y Weil (1992), ya que la elasticidad conjunta, cercana a 0,6 puntos porcentuales, es muy similar a la obtenida por estos autores. En esta aproximación, cabe destacar la importancia del capital humano en la explicación del nivel de productividad (0,34 puntos), que, incluso es superior a la contribución del capital físico (0,25 puntos). La introducción del capital conocimiento en este modelo confirma una cierta importancia de este indicador en la explicación del nivel de productividad, con una elasticidad ligeramente inferior a 0,1 puntos porcentuales para 1995 en un conjunto de 23 países de la OCDE. Sin embargo, la ampliación del modelo para el año 2000 nos evidencia una importante contribución del indicador de capital conocimiento en la explicación del nivel de productividad. En efecto, con una elasticidad de 0,29 puntos porcentuales, supera la aportación del capital físico (0,18 puntos) y la menor contribución del capital humano (0,05 puntos). Así pues, esta aproximación nos permite señalar el papel creciente del capital co-

nocimiento, medido en términos de inversión en TIC, sobre la profundización del capital del nivel de productividad del trabajo, para un amplio conjunto de países de la OCDE.

La versión dinámica de estos modelos, es decir, la descomposición del crecimiento de la productividad para algunos de los países de la OCDE es la que encontramos representada en el cuadro 4. De este modelo en diferencias destaca que el capital físico, el capital conocimiento y el nivel inicial de productividad son los elementos explicativos del crecimiento del producto *per cápita* en los países seleccionados, mientras que el capital humano presenta valores poco relevantes. De hecho, la ampliación del modelo inicial (1995) para el año 2000 no pone de relieve que el capital conocimiento, con un coeficiente de 0,29 puntos, explica una gran parte del crecimiento de la productividad en una muestra conjunta de 18 países de la OCDE. Este coeficiente, que para el año 1995 sólo era de 0,07 puntos, rivaliza con la elasticidad del capital físico, cifrada en 0,26 puntos. Además, la aceleración de la inversión en conocimiento ha mejorado la velocidad de convergencia entre los países seleccionados, que, por otra parte, tienen niveles de productividad similares. En síntesis, la parametrización de los avances de productividad para un conjunto de 18 países de la OCDE nos permite encontrar en el capital conocimiento, medido a través de la inversión en TIC, un impulsor, junto con el capital físico, de la intensificación del capital en el crecimiento de la pro-

ductividad del trabajo.

CONCLUSIONES ↓

Una de las principales manifestaciones del proceso de transición hacia una economía del conocimiento, que basa su funcionamiento en la incorporación masiva del saber en la actividad económica, son los importantes aumentos de productividad que, primero en Estados Unidos y después en otras economías occidentales, se han apreciado a partir de la segunda mitad de la década de 1990. Este repunte al alza del crecimiento del producto *per cápita* ha ido acompañado de un intenso debate académico sobre las fuentes y la sostenibilidad de este crecimiento. Aunque, desde un punto de vista teórico, la comunidad científica ha llegado a un consenso en la consideración de las fuentes del crecimiento económico, que se basa en la dotación de factores y el progreso tecnológico, en la práctica, los problemas para medir correctamente la productividad continúan siendo importantes.

Esta dificultad es consecuencia, como mínimo, de tres razones.

Primera, el elevado porcentaje de ocupación en los servicios. No es ningún secreto que la estadística oficial funciona bien cuando la mercancía que se debe medir es un producto de mercado tangible, tanto en unidades físicas como en unidades monetarias. Ahora bien, la métrica oficial de la productividad em-

CUADRO 4
UN MODELO DE DESCOMPOSICIÓN DEL CRECIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD
EN 18 PAÍSES DE LA OCDE. 1995-2000

Elasticidad del capital. Entre paréntesis, valor del estadístico *t* para un nivel de confianza del 95%

| | (Y/L) 1995 (Y/L) 1980 | | | (Y/L) 2000 (Y/L) 1980 | | |
|---|-----------------------|-------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|
| | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| Regresión no restringida | | | | | | |
| Constante | 0,23 (0,3) | 0,48 (0,5) | 1,34 (1,2) | 0,57 (0,5) | 0,37 (0,3) | 1,88 (1,8) |
| Capital físico (ln s_t) | 0,24 (1,9) | 0,24 (1,9) | 0,23 (1,9) | 0,15 (1,8) | 0,16 (1,8) | 0,16 (1,9) |
| Capital humano (ln s_h) | - | 0,06 (0,4) | 0,05 (0,4) | - | 0,16 (0,5) | 0,02 (0,2) |
| Capital conocimiento (ln s_k) | - | - | 0,05 (1,4) | - | - | 0,19 (2,0) |
| ln ($\alpha+n+\delta$) | 0,81 (3,7) | 0,83 (-3,6) | -0,82 (-3,7) | 0,29 (-1,0) | 0,23 (-0,8) | -0,31 (-1,7) |
| Productividad inicial (y80) | -0,20 (-2,6) | 0,22 (-2,4) | -0,29 (-2,8) | -0,09 (-1,2) | -0,08 (-1,1) | -0,24 (-2,2) |
| R ² ajustado | 0,42 | 0,39 | 0,42 | 0,20 | 0,26 | 0,44 |
| Error standard | 0,18 | 0,10 | 0,10 | 0,06 | 0,05 | 0,06 |
| Regresión restringida | | | | | | |
| Constante | 1,06 (1,5) | 1,56 (1,8) | 2,43 (2,4) | 1,03 (1,3) | 1,10 (1,4) | 1,62 (2,2) |
| $m_t = \ln s_t - \ln (\alpha+n+\delta)$ | 0,38 (3,5) | 0,36 (3,2) | 0,34 (3,1) | 0,15 (1,8) | 0,16 (1,8) | 0,16 (1,8) |
| $m_h = \ln s_h - \ln (\alpha+n+\delta)$ | - | 0,15 (1,1) | 0,13 (1,0) | - | 0,12 (0,8) | 0,05 (0,5) |
| $m_k = \ln s_k - \ln (\alpha+n+\delta)$ | - | - | 0,06 (1,8) | - | - | 0,18 (2,2) |
| Productividad inicial (y80) | -0,14 (1,9) | 0,20 (-2,1) | -0,28 (2,6) | -0,09 (1,8) | -0,09 (-1,2) | -0,23 (2,5) |
| R ² ajustado | 0,31 | 0,32 | 0,37 | 0,19 | 0,22 | 0,44 |
| Error Standard | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,06 | 0,05 |
| Test F restricción: p-valor | 0,08 | 0,15 | 0,14 | 0,63 | 0,30 | 0,08 |
| α_t implícito | 0,73 | 0,22 | 0,42 | - | 0,24 | 0,26 |
| α_h implícito | - | 0,12 | 0,16 | - | 0,12 | 0,08 |
| α_k implícito | - | - | 0,07 | - | - | 0,29 |
| λ implícito | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |

FUENTE: Elaboración propia. Países de la muestra: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Italia, Japón, México, Holanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Gran Bretaña, EE UU.

pieza a tambalearse cuando se hace más difícil medir el *output*, como sucede en los servicios, en general, y en los servicios públicos, en particular, y ya no digamos cuando esta terciarización de la economía se combina con una intangibilización progresiva de las mercancías sujetas a transacción económica.

Segunda, a medida que las empresas avanzan en la configuración del trabajo en red, la dificultad para captar los aumentos de productividad en toda la cadena de valor de unas organizaciones reticulares y globalizadas es cada vez más difícil.

Y tercera, el *missmatch* (o, desfase temporal) entre las revoluciones tecnológicas y su impacto productivo. La historia de la tecnología nos ha demostrado reiteradamente que el salto temporal entre el descubrimiento de un invento, su generalización productiva y el consiguiente aumento de productividad puede ser elevado. En el caso concreto de las tecnologías digitales, todo parece indicar que estamos bajo los efectos de la primera de un conjunto de varias oleadas inversoras, que establecerán las bases de importantes crecimientos futuros de la productividad. Sin embargo, las mejoras estadísticas y de la medida oficial en Estados Unidos, y también en otros países occidentales, sugieren un salto cuantitativo en el incremento de la productividad a partir de la segunda mitad de la década de 1990, salto que estaría vinculado con la inversión masiva en TIC y con un cambio organizativo basado en la flexibilidad y la producción en red.

A partir de la revisión del aparato formal y la literatura empírica internacional sobre el impacto de las TIC en el crecimiento económico y de la productividad que, por cierto, apunta en la clara dirección de una decisiva importancia de la inversión y el uso digital en la explicación de la dependencia del capital y la productividad total de los factores, en este artículo se ha realizado una contribución empírica para un amplio conjunto de países de la OCDE (en concreto, los 23 países que en 1995 formaban parte de esta institución: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Japón, México, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Turquía, Gran Bretaña y EE UU). El modelo presentado supone una ampliación de países respecto a los trabajos revisados, además de incorporar otros aspectos relevantes en la explicación del crecimiento económico. En efecto, para la parametrización de la contribución del conocimiento sobre el nivel y el crecimiento de la productividad del trabajo hemos considerado un modelo de crecimiento económico neoclásico aumentado con presencia de innovación tecnológica que incorpora al capital conocimiento, indicador de los efectos sinérgicos de las TIC, a los tradicionales capital físico y capital humano, en la determinación del producto *per cápita*.

En primera instancia, el modelo explicitado asume que los niveles del PIB *per cápita* en edad de trabajar se encuentran en estado estacionario (regresión no restringida), aunque para dotarlo de mayor consistencia se impone la restricción de rendimientos agregados constantes a escala (regresión restringida). Los resultados empíricos no invalidan esta restricción y, además, son concluyentes en lo referente a la importancia del conocimiento en la explicación del nivel y el crecimiento de la productividad del trabajo. En efecto, la introducción del capital conocimiento confirma una cierta importancia de este indicador en la explicación del nivel de productividad en 1995, con una elasticidad ligeramente inferior a 0,1 puntos porcentuales. Sin embargo, la ampliación del modelo para el año 2000 nos evidencia una importante contribución de este indicador en la intensificación del capital: su aportación al incremento de la productividad del trabajo (0,29 puntos porcentuales) supera la participación del capital físico (0,18 puntos) y la del capital humano (0,05 puntos).

De la versión dinámica del modelo se destaca que el capital físico, el capital conocimiento y el nivel inicial de productividad son los elementos primordiales en la explicación del crecimiento económico para 18 de los 25 países que en 1995 formaban parte de la OCDE (los 23 anteriormente citados menos Irlanda, México, Nueva Zelanda, Suiza y Turquía). Con todo, la ampliación del modelo para el período 1980-2000 nos pone de relieve que el capital conocimiento, con un coeficiente de 0,29 puntos porcentuales, explica una gran parte del crecimiento de la productividad en estos 18 países, mientras que en el período 1980-1995 sólo era de 0,07 puntos porcentuales.

Por lo tanto, podemos concluir que esta aproximación empírica, agregada e internacional a la productividad del trabajo para un importante conjunto de países de la OCDE afirmando que a partir de la segunda mitad de la década de los noventa el capital conocimiento, o la inversión y el uso de las TIC, se ha configurado como un elemento primordial, a través de la intensificación del capital, en la explicación del nivel y el crecimiento de la productividad del trabajo. Sin embargo, todavía restan incógnitas por esclarecer. En particular, el análisis de las vinculaciones entre la inversión en conocimiento y los factores productivos, en especial con el trabajo, la importancia de este elemento en la explicación de la eficiencia del conjunto del sistema económico y su carácter cíclico o estructural. De hecho, a pesar de las importantes limitaciones de esta aproximación macroeconómica, en particular en lo referente a la dificultad del uso de indicadores comparables, series temporales homogéneas y las restricciones aplicadas a los modelos, es deseable avanzar en esta categoría de investigación para continuar interpretando las transformaciones económicas de la actualidad.

BIBLIOGRAFIA †

- ABRAMOVITZ, M. (1956): «Resource and Output Trends in the United States since 1870», *Papers and Proceedings of American Economic Association*, pp. 5-23.
- ANTONELLI, C. (1997): «New Information Technologies and the Knowledge-Based Economy», *Review of Industrial Organization*, vol. 12, pp. 593-607.
- ARROW, K. J. (1962): «The Economic Implications of Learning by Doing», *Review of Economic Studies*, vol. XXIX, pp. 155-173.
- ATKESON, A. y KEHOE, P. J. (2001): *The Transition to a New Economy after the Second Industrial Revolution*. NBER Working Paper 8676 [On-line]. Disponible en URL: <http://www.nber.org/papers/w8676>.
- BANCO CENTRAL EUROPEO (2001): «Nuevas tecnologías y productividad en la zona euro >», *Boletín Mensual*, julio, pp. 45-58.
- BANCO MUNDIAL (1998): *World Development Indicators*, Washington D.C.: World Bank (diversos años).
- BAI, Ch. y YUEN, Ch. (2003): *Technology and the New Economy*, Cambridge: MIT Press.
- BAILY M. N. y LAWRENCE, R. Z. (2001): *Do we have a new e-economy?*. NBER Working Paper 8423. [On-line]. Disponible en URL: <http://www.nber.org/papers/w8423>.
- BRYNJOLFSSON, E. y KAHIN, B. (2000): *Understanding the Digital Economy*, Cambridge: The MIT Press.
- CASTELLS, M. (1996): *La era de la información: Economía, sociedad y cultura. Vol. I: La Sociedad Red*, Madrid: Alianza Editorial. Segunda edición, 2000.
- CASTELLS, M. (2004): *The Information Society*, Cheltenham y Northampton: Edward Elgar.
- COLECCHIA, A. (2001): *The Impact of Information and Communications Technologies on Output Growth: Issues and Preliminary Findings*, STI Working Papers 11 [On-line]. Disponible en URL: http://www.oecd.org/dsti/sti/prod/sti_wp.htm.
- COLECCHIA, A. y SCHREYER, P. (2001): *ICT Investment and Economic Growth in the 1990s: Is the United States a Unique Case? A comparative study of nine OCDE Countries*. STI Working Papers 2001/7. [On-line]. Disponible en URL: http://www.oecd.org/dsti/sti/prod/sti_wp.htm.
- COUNCIL OF ECONOMIC ADVISORS (2001): *Annual Report*, Washington D.C.: United States Government Printing Office.
- CRAFTS, N. (2000): «The Solow Productivity Paradox in Historical Perspective», *Long-Term Trends in the World Economy*, University of Copenhagen, Copenhagen.
- DAVERI, F. (2001): *Information Technology and Growth in Europe*, Working Paper, University of Parma. Parma.
- DAVID, P. A. (1990): «The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox», *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 80, mayo, pp. 355-361.
- DAVID, P. A. (2000): «Understanding Digital Technology's Evolution and the Path of Measured Productivity Growth: Present and Future in the Mirror of the Past», *Understanding the Digital Economy*, Cambridge: MIT Press.
- DE LA FUENTE, A. (1992): «Histoire d'A: Crecimiento y Progreso Técnico», *Investigaciones Económicas*, vol. XVI, n.º 3, pp. 331-391.
- DE LA FUENTE, A. (1995): «Inversión, catch-up tecnológico y convergencia real», *Papeles de Economía Española*, vol. 63, pp. 18-34.
- DE LA FUENTE, A. (1998): *Innovación tecnológica y crecimiento económico*, Colección de estudios, núm. 11, Madrid: Fundación COTEC.
- DE LONG, B. (2001): A Historical Perspective on the New Economy, *Montreal New Economy Conference*, Montreal. [On-line]. Disponible en URL: <http://www.econ161.berkeley.edu>.
- DEPARTAMENTO DE TRABAJO DE LOS EE.UU. (2005). «Productivity and Costs», *Notas de prensa*. Washington D.C. [On-line]. Disponible en URL: <http://www.bls.gov/lpc/home.htm>.
- DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G. y SOETE, J. (1988): *Technical Change and Economic Theory*, Londres y Nueva York: Pinter Publishers.
- FELDSTEIN, M. (2003): *Why is Productivity Growing Faster?*, NBER Working Paper 9530. [On-line]. Disponible en URL: <http://www.nber.org/papers/w9530>.
- FONDO MONETARIO INTERNACIONAL (2001): «The Information Technology Revolution» *World Economic Outlook October 2001*, Washington D.C.: International Monetary Fund. [On-line]. Disponible en URL: <http://www.imf.org>.
- FREEMAN, C. y PÉREZ, C. (1988): «Structural Crises of Adjustment, Business Cycles and Investment Behaviour» *Technical Change and Economic Theory*, Londres y Nueva York: Pinter Publishers.
- GORDON, R.J. (1999): *Has the «New Economy» Rendered the Productivity Slowdown Obsolete?*, Working Paper, Northwestern University.
- GORDON, R. J. (2000): «Does the «New Economy» Measure Up the Great Inventions of the Past?», *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, otoño, pp. 49-74.
- GORDON, R. J. (2003): *Hi-Tech Innovation and Productivity Growth: Does Supply Create its Own Demand?*, NBER Working Paper 9437 [On-line]. Disponible a URL: <http://www.nber.org/papers/w9437>.
- GORDON, R. J. (2004a): «The 1920s and the 1990s in Mutual Reflection», *Economic History Conference: Understanding the 1990s: The Long Term Perspective*, Duke University.
- GORDON, R. J. (2004b): *Five Puzzles in the Behavior of Productivity, Investment, and Innovation*, Working Paper, Northwestern University.
- GORDON, R. J. (2004C): *Why was Europe left at the Station When America's Productivity Locomotive Departed?*, Centre for Economic Policy Research (CEPR) Working Paper. Londres.
- GREENAN, H., HORTY, Y. y MAIRESE, J. (2002): *Productivity, Inequality, and the Digital Economy*, Cambridge: The MIT Press.
- GREENSPAN, A. (1999): «Information, Productivity, and Capital Investment», *The Business Council*, Boca Ratón.
- HICKS, J.R. (1965). *Capital and Growth*, Nueva York: Oxford University Press.
- JORGENSEN, D. W. y STIROH, K. J. (1999): «Productivity Growth: Current Recovery and Longer-term Trends», *American Economic Review, Papers and Proceedings*, vol. 89, n.º 2, pp. 109-115.
- JORGENSEN, D. W. y STIROH, K. J. (2000): «Raising the Speed Limit: US Economic Growth in the Information Age», *Brookings Papers on Economic Activity*, vol. 1, pp. 161-167.
- JORGENSEN, D. W. y STIROH, K. J. (2001): «Information Technology and the US Economy», *American Economic Review*, vol. 91, marzo, pp. 1-32.
- JORGENSEN, D. W.; HO, M.S. y STIROH, K. J. (2005): *Productivity, volume 3. Information Technology and the American Growth Resurgence*, Cambridge: The MIT Press.
- KRANZBERG, M. (1985): «The information age: evolution or revolution?» *Information Technologies and Social Transformation*, Washington D.C.: National Academy of Engineering.

- MADDISON, A. (2001): *The World Economy. A millennial Perspective*, París: OECD Development Centre Studies.
- MAS, M. y QUESADA, J. (2005): *Las nuevas tecnologías y el crecimiento económico en España*, Bilbao: Fundación BBVA.
- MANKIW, N. G., ROMER, D. y WEIL, D. (1992): «A contribution to the Empirics of Economic Growth», *Quarterly Journal of Economics*, vol. 107, mayo, pp. 407-438.
- MARX, K. (1867-1883). *El capital: crítica de la economía política*, Madrid: Ediciones Akal, 2000.
- MILANA, C. y ZELI, A. (2002): *The Contribution of ICT in Production Efficiency in Italy: Firm-level Evidence Using Data Envelopment Analysis and Econometric Estimations*, STI Working Papers 2002/13. [On-line]. Disponible en URL: http://www.oecd.org/dsti/sti/prod/sti_wp.htm.
- MOKYR, J. (1990): *The Level of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*, Nueva York: Oxford University Press.
- NONNEMAN, W. y VANDHOUT, P. (1996): «A further augmentation of the Solow model and the empirics of economic growth for OECD countries», *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, pp. 943-953.
- NORDHAUS, W. D. (2001): *Productivity Growth and the New Economy*, NBER Working Paper 8096, [On-line]. Disponible en URL: <http://www.nber.org/papers/w8096>.
- NORDHAUS, W. D. (2002). *Alternative Methods for Measuring Productivity Growth Including Approaches When Output is Measured With Chain Indexes*, Working Paper, Yale University, junio.
- NORTON, R. D. (2001): *Creating a New Economy. The Entrepreneur and the US Resurgence*, Cheltenham y Northampton: Edward Elgar.
- O'MAHONY, M. y VAN ARK, B. (2003). *EU Productivity and Competitiveness: An Industry Perspective. Can Europe resume the catching-up process?*, Luxemburgo: Comisión Europea.
- OCDE (1999). *Tableau de bord de l'OCDE de la Science, de la Technologie et de l'Industrie 1999. Mesurer les économies fondées sur le savoir*, París: OCDE.
- OCDE (2000a). *A New Economy?. The Changing Role of Innovation and Information Technology in Growth*, París: OCDE.
- OCDE (2000b). *Measuring the ICT sector*, París: OCDE.
- OCDE (2000c). *Education at a glance*, París: OCDE.
- OCDE (2001). *OECD Science, Technology and Industry Outlook*, País: OCDE (diversos años).
- OCDE (2003). *ICT and Economic Growth. Evidence from OECD Countries, Industries and Firms*, París: OCDE.
- OLINER, S. D. y SICHEL, D. E. (2000): «The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story?», *Journal of Economic Perspectives*, vol. 14, otoño, pp. 3-22.
- PÉREZ, C. (2002): *Technological Revolutions and Financial Capital*, Cheltenham y Northampton: Edward Elgar.
- PILAT, D. y LEE, F. C. (2001): *Productivity Growth in ICT-Producing and ICT-Using Industries. A Source of Growth Differentials in the OCDE?*, STI Working Papers 2001/4. [On-line]. Disponible en URL: http://www.oecd.org/dsti/sti/prod/sti_wp.htm.
- POHJOLA, M. (2001): *Information Technology, Productivity, and Economic Growth*, Oxford y Nueva York: Oxford University Press.
- RODRIGUES, M. J. (2002): *The New Knowledge Economy in Europe. A Strategy for International Competitiveness and Social Cohesion*, Cheltenham y Northampton: Edward Elgar.
- ROEGER, W. (2001): *The Contribution of Information and Communication Technologies to Growth in Europe and the United States: A Macroeconomic Analysis*, Economic Papers, 147. Bruselas: Comisión Europea.
- SALTER, W.E.G. (1960): *Productivity and Technical Change*, Cambridge: Cambridge University Press.
- SCARPETTA S. A., BASSANINI A., PILAT, D. y SCHREYER, P. (2000): *Economic Growth in the OECD Area: Recent Trends at the Aggregate and Sectoral levels*, OECD Economics Department Working Papers 248. [On-line]. Disponible en URL: <http://www.oecd.org/eco/eco/>.
- SCHREYER, P. (2000): *The Contribution of Information and Communication Technologies to Output Growth*, STI working paper 2000/2. [On-line]. Disponible en URL: http://www.oecd.org/dsti/sti/prod/sti_wp.htm.
- SCHULTZ, T. W. (1961). «Investment in Human Capital», *American Economic Review*, marzo, pp. 1-17.
- SCHUMPETER, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development*, Nueva York: Oxford University Press.
- STEHR, N. (2002): *Knowledge and Economic Conduct. The Social Foundations of the Modern Economy*, Toronto: Toronto University Press.
- STIROH, K. J. (2001): *Information Technology and the U.S. Productivity Revival: What Do the Industry Data Say?*, Staff Report 115, Nueva York: Federal Reserve Bank of New York.
- TEMPLE, J. (1998): «Equipment Investment and the Solow Model», *Oxford Economic Papers*, n.º. 50, pp. 39-62.
- TIMER, M., YPMA, G. y VAN ARK, B. (2003). *IT in the European Union: Driving Productivity Convergence*, Groningen: University of Groningen.
- TORRENT, J. (2004): *Innovació tecnològica, creixement econòmic i economia del coneixement*, Barcelona: Edicions del Consell de Treball, Econòmic i Social de Catalunya (CTESC).
- TORRENT, J. (2002): «De la nueva economía a la economía del conocimiento. Hacia la tercera revolución industrial», *Revista de Economía Mundial*, vol. 7, pp. 39-68.
- UNESCO (2001): *Statistical Database*, París: Unesco Institut for Statistics (diversos años).
- UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (2001): *World Telecommunications Indicators*, Ginebra: International Telecommunications Union (ITU) (diversos años).
- VAN ARK, B. (2001): *The Renewal of the Old Economy: Europe in an Internationally Comparative Perspective*, Groningen: University of Groningen.
- VAN ARK, B. INKLAAR, R. y MCGUCKIN, R. (2002): *Changing Gear. Productivity, ICT and Service Industries: Europe and United States*, Groningen: University of Groningen.
- VILASECA, J. y TORRENT, J. (2003): «Conocimiento, trabajo y actividad económica en España. Un análisis empírico de las relaciones ingreso-gasto», *Economía Industrial*, 348, 2002/VI, pp. 53-66.
- VILASECA, J. y TORRENT, J. (2005a): *Cap a l'empresa xarxa. Les TIC i les transformacions de l'empresa catalana*, Barcelona: Edicions de la Universitat Oberta de Catalunya.
- VILASECA, J. y TORRENT, J. (2005b): *Principios de Economía del Conocimiento. Hacia una economía global del conocimiento*, Madrid: Editorial Pirámide.
- WHELAN, K. (2000). «A Guide to the Use of Chain Aggregated NIPA Data», *Finance and Economics Discussion Paper 2000/35*. Washington D.C.: Board of Governors of the Federal Reserve System.