

Capital humano, progreso tecnológico y crecimiento de la productividad en Andalucía

Jesús Rodríguez
José Luis Torres



El Centro de Estudios Andaluces es una entidad de carácter científico y cultural, sin ánimo de lucro, adscrita a la Consejería de la Presidencia de la Junta de Andalucía.

El objetivo esencial de esta institución es fomentar cuantitativa y cualitativamente una línea de estudios e investigaciones científicas que contribuyan a un más preciso y detallado conocimiento de Andalucía, y difundir sus resultados a través de varias líneas estratégicas.

El Centro de Estudios Andaluces desea generar un marco estable de relaciones con la comunidad científica e intelectual y con movimientos culturales en Andalucía desde el que crear verdaderos canales de comunicación para dar cobertura a las inquietudes intelectuales y culturales.

Las opiniones publicadas por los autores en esta colección son de su exclusiva responsabilidad

© 2012. Fundación Centro de Estudios Andaluces. Consejería de la Presidencia e Igualdad. Junta de Andalucía
© Autores

Ejemplar gratuito. Prohibida su venta.



E2012/04

CAPITAL HUMANO, PROGRESO TECNOLÓGICO Y CRECIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN ANDALUCÍA**

Jesús Rodríguez
Universidad Pablo de Olavide

José Luis Torres*
Universidad de Málaga

RESUMEN

En este trabajo se lleva a cabo un análisis de descomposición del crecimiento de la producción y de la productividad en Andalucía, con el objeto de cuantificar la importancia relativa de sus diferentes factores determinantes. El crecimiento económico viene determinado tanto por la acumulación de factores productivos como por el progreso tecnológico, factores que no son independientes. Si bien a corto plazo ambos elementos contribuyen al crecimiento, en el largo plazo éste viene determinado exclusivamente por el progreso tecnológico, de aquí la importancia de estudiar diferentes elementos que determina el nivel de tecnología y su evolución en el tiempo de una economía. En nuestro análisis distinguimos tres tipos de progreso tecnológico: progreso tecnológico no incorporado en los factores productivos, que es a lo que se ha venido en llamar Productividad Total de los Factores, y dos tipos de progreso tecnológico incorporado en los factores productivos trabajo (capital humano) y activos de capital (específico a la inversión). Los resultados obtenidos muestran que la acumulación de factores productivos, principalmente el empleo, ha sido el factor determinante del crecimiento regional, explicando en torno al 91% del crecimiento regional, mientras que los factores tecnológicos únicamente explican el restante el

* **E-mail de contacto:** jtorres@uma.es

** **Agradecimientos:** Este proyecto (Referencia PRY067/11) ha sido financiado íntegramente por la Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces en la 7ª edición de la Convocatoria e proyectos de investigación. Agradecemos la labor de asistencia en la investigación de Anelí Bongers en la construcción de la base de datos utilizada en este trabajo.

9%. Esta baja aportación del progreso tecnológico se debe a que la contribución de la PTF ha sido negativa, siendo por tanto un factor que ha delimitado de forma importante el crecimiento económico regional. Por otra parte, el crecimiento de la productividad de la economía andaluza no solo muestra valores reducidos sino que ha ido disminuyendo en el tiempo. En este caso, la acumulación del factor capital/empleo explica aproximadamente el 70% del crecimiento medio de la productividad, mientras que el componente tecnológico explicaría el restante 30%.

Palabras clave: Progreso tecnológico, capital humano, progreso tecnológico específico a la inversión, Productividad total de los factores.

Códigos JEL: E24;J24

* **E-mail de contacto:** jtorres@uma.es

** **Agradecimientos:** Este proyecto (Referencia PRY067/11) ha sido financiado íntegramente por la Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces en la 7^o edición de la Convocatoria e proyectos de investigación. Agradecemos la labor de asistencia en la investigación de Anelí Bongers en la construcción de la base de datos utilizada en este trabajo.

1 Introducción

El progreso tecnológico constituye uno de los principales factores que determinan el comportamiento y evolución de una economía, tanto en el corto plazo como en el largo plazo. En el corto plazo, se considera que las perturbaciones de naturaleza tecnológica, esto es, perturbaciones por el lado de oferta, han sido las principales causantes de las fluctuaciones cíclicas. Aunque los ciclos económicos puedan también estar causados por perturbaciones que ocurren por el lado de la demanda, la evidencia empírica disponible parece apuntar a que la mayor parte de las fluctuaciones cíclicas que se producen a corto y medio plazo tiene su origen en perturbaciones de oferta, principalmente las asociadas a cambios tecnológicos. En el largo plazo, la importancia del progreso tecnológico es aún mayor. A largo plazo, la tasa de crecimiento de una economía depende fundamentalmente del avance en la tecnología. De acuerdo con el modelo neoclásico de crecimiento económico, en el largo plazo el crecimiento de la productividad (o equivalentemente la renta per cápita) únicamente puede deberse a la existencia de progreso tecnológico. De ahí la importancia del desarrollo tecnológico en los diferentes ámbitos productivos a la hora de determinar el crecimiento potencial de la economía en el largo plazo. En el corto plazo, de manera adicional al progreso tecnológico, el otro factor determinante del crecimiento es la acumulación de factores productivos. No obstante, ambos factores están relacionados, ya que una parte de la acumulación de factores productivos viene motivada por el propio progreso tecnológico. Estos elementos han provocado la existencia de un gran interés por comprender la interrelación entre el progreso tecnológico y el funcionamiento de la economía.

En términos generales podemos considerar tres procesos tecnológicos que son complementarios: progreso tecnológico neutral, asociado a la economía en su conjunto; progreso tecnológico específico a los nuevos activos de capital que se van incorporando a la economía a través del proceso de inversión; y progreso tecnológico asociado al factor productivo trabajo, que es a lo que denominamos capital humano. El primer tipo de progreso tecnológico es el denominado "disembodied" o no incorporado, ya que es general a la economía. Los dos segundos son denominados "embodied" o incorporados a los factores productivos, tanto al capital físico como al factor trabajo y dependen de la inversión que se lleve a cabo en estos factores productivos.

La primera fuente de crecimiento económico está asociada al crecimiento de la productividad total de los factores de la economía (cambios en la productividad multifactor) y dependería fundamentalmente de factores organizativos y factores institucionales. Tradicionalmente esta ha sido la única fuente de progreso tecnológica considerada, conocida popularmente como "el residuo de Solow", dado que se trata de una variable no observada pero de la cual es posible obtener una estimación a partir de datos sobre cantidad de factores productivos y producción, y obtenerse como un residuo de la función de producción agregada de la economía. Si no tenemos en cuenta el progreso tecnológico incorporado, esta medida vendría constituida por

todo el progreso tecnológico de la economía. Sin embargo, si excluimos el progreso tecnológico incorporado en los factores productivos, este cambio tecnológico vendría determinado por factores que afectan al nivel de eficiencia agragado de la economía, que viene afectado tanto por factores institucionales como organizativos.

La segunda fuente de crecimiento tecnológico se refiere a la específica a los nuevos activos de capital que se van incorporando de forma continuada a la economía. Los nuevos activos de capital son más eficientes que los ya existentes, dado que incorporan aumentos en su calidad. El proceso de inversión implica que se añaden a los procesos productivos nuevos activos de capital, que incorporan una mayor carga tecnológica que los activos de capital ya existentes. Así, los activos de capital son cada vez más avanzados tecnológicamente, progreso que depende de la intensidad del proceso inversor. Aunque exista este progreso tecnológico asociado a los nuevos activos de capital que se producen, si estos nuevos activos de capital no se incorporan a la economía, su efecto sobre el crecimiento económico sería nulo. Este tipo de progreso tecnológico está adquiriendo cada vez más relevancia, dado el intenso progreso tecnológico experimentado por algunos bienes de equipo, fundamentalmente aquellos que se enmarcan en las denominadas tecnologías de la información y del conocimiento (TIC).

La última fuente de progreso tecnológico está asociada a cambios en la calidad de la fuerza de trabajo, que recogen variaciones en el capital humano. El capital humano constituye uno de los factores determinantes fundamentales del crecimiento económico, al tiempo que es un elemento clave para determinar el nivel de producción de una economía. De este modo el capital humano se convierte en un tipo de progreso tecnológico de especial relevancia toda vez que afecta a la cantidad del factor productivo que más impacto tiene sobre el nivel de producción. Así pues, el capital humano refleja la dotación del factor productivo de trabajo corregida por su calidad. En este sentido, la calidad de la fuerza de trabajo ha cambiado de forma significativa durante las últimas décadas. El aumento en el nivel educativo de la fuerza de trabajo y los cambios en la estructura industrial son los principales factores que están detrás de este cambio, aunque también influyen otros factores, como la edad, los aspectos relacionados con el sexo, etc. Esto provoca que el factor trabajo medido a través del número de trabajadores o el número de horas trabajadas no sea homogéneo a lo largo del tiempo, sino que su calidad también experimenta variaciones. A este aumento en la calidad del factor trabajo, que constituye un tipo de progreso tecnológico específico al mismo, es lo que denominamos capital humano.

De este modo podemos distinguir dos pilares fundamentales sobre los que se asienta el crecimiento de una economía. El primero es la acumulación de los factores productivos. El segundo es el progreso tecnológico. A corto plazo, ambos pilares resultan importantes para obtener un crecimiento sostenido de la producción. Sin embargo, en el largo plazo, la acumulación de factores no jugaría ningún papel una vez que la economía se sitúa en su senda de crecimiento equilibrado, por lo que el crecimiento económico únicamente dependería del progreso tecnológico. De aquí radica el hecho que el principal pilar del crecimiento reside en el cambio tecnológico.

Además, parte del proceso de acumulación de factores productivos depende del progreso tecnológico asociado a los mismos, por lo que su importancia sería también muy elevada en el corto plazo.

En este trabajo realizamos una cuantificación de la contribución de cada uno de los elementos señalados anteriormente al crecimiento de la producción y de la productividad del trabajo en Andalucía, para el periodo 1980-2008. Para ello realizamos un ejercicio de descomposición del crecimiento en el cual se tiene en cuenta los diferentes tipos de cambio tecnológico descritos anteriormente. Así, descomponemos los aumentos en la producción e términos de la acumulación de los factores productivos así como del cambio tecnológico. Esto supone que dividimos el crecimiento de la producción en cinco factores diferenciales.

El crecimiento medio del nivel de producción regional ha sido relativamente elevado durante el periodo considerado, alrededor del 3%, si bien el periodo muestral finaliza en 2008, por lo que no están incluidos los importantes crecimientos negativos derivados de la crisis actual. Por lo que respecta al crecimiento de la productividad, el primer hecho que hemos de destacar es su reducido crecimiento durante el periodo considerado, presentando incluso tasas de crecimiento negativas en los últimos años. Esto supone que el crecimiento del empleo ha sido superior al aumento de la producción durante dicho periodo, fenómeno que no tiene correspondencia en las economías desarrolladas. Si bien, variaciones negativas en la productividad del trabajo pueden no generar problemas de importancia al reflejar movimientos cíclicos, a largo plazo resulta una situación insostenible por cuanto implicaría necesariamente una disminución en el nivel de renta per cápita. Mientras que los países desarrollados muestran crecimientos de la productividad en torno al 2% de media anual, en el caso de Andalucía el crecimiento ha sido ligeramente inferior al 1%.

Los resultados obtenidos muestran que el crecimiento de la producción regional viene explicado fundamentalmente por la acumulación de factores productivos. Así, aproximadamente el 91% del crecimiento de la producción regional viene explicado por aumentos en las cantidades de factores productivos, principalmente en lo que se refiere al empleo. Por lo que respecta a los factores tecnológicos, éstos únicamente explican el 9% del crecimiento medio de la producción regional. Esta baja aportación el crecimiento del componente tecnológico viene explicada por una contribución significativamente negativa por parte del progreso tecnológico no incorporado o PTF, teniendo una contribución positiva el progreso tecnológico incorporado a los factores productivos. Por lo que respecta al crecimiento de la productividad del trabajo, destacar que en este caso el factor acumulativo (aumentos en la ratio capital/empleo), explica el 70% del crecimiento de la productividad, mientras que el componente tecnológico explicaría el restante 30%. Por tanto, obtenemos que en el caso de la economía andaluza, son los factores acumulativos los principales determinantes del crecimiento regional, teniendo una importancia muy más elevada que los componentes tecnológicos, que sin embargo son la única fuente de crecimiento en el largo plazo.

La estructura del resto del trabajo es la siguiente. En la sección segunda presentamos una descripción del significado e implicaciones de los diferentes tipos

de tecnología que podemos considerar que afectan a la producción de una economía. En un primer nivel, podemos distinguir entre progreso tecnológico incorporado y no incorporado. A su vez, el primer tipo de progreso tecnológico puede dividirse en aquel incorporado al factor productivo trabajo y el incorporado en el factor productivo capital. En la tercera sección analizamos la evolución del stock de capital humano (el progreso tecnológico implícito a este factor) de la economía andaluza, presentando diferentes medidas del mismo. La sección cuarta presenta la cuantificación del progreso tecnológico específico a la inversión, así como la acumulación de capital en la economía andaluza. La sección quinta presenta los principales resultados que se derivan del ejercicio de descomposición del crecimiento de la producción y de la productividad del trabajo para Andalucía. La sección sexta finaliza con las conclusiones más relevantes que se pueden obtener del análisis realizado.

2 Progreso tecnológico incorporado y no incorporado

Tanto a nivel teórico como empírico, el progreso tecnológico es considerado como una de las fuentes fundamentales de crecimiento económico en el corto plazo y la única fuente de crecimiento económico a largo plazo. A nivel agregado, la producción de una economía viene determinada tanto por la cantidad de factores productivos disponibles como por la forma en la que se usan y combinan estos factores productivos, que representa a la tecnología utilizando un concepto amplio de la misma, como puede ser el fondo social de conocimientos disponibles respecto a las artes productivas. El aumento en la producción en el tiempo, en términos generales, viene por tanto determinada bien por el aumento en la dotación de los factores productivos como por la mejora en la eficiencia a la hora de transformar factores productivos en bienes y servicios, que es a lo que tradicionalmente denominamos progreso tecnológico.

Cuando hablamos de progreso tecnológico, nos estamos refiriendo a un proceso muy amplio y diverso, que afecta a multitud de variables y que tiene diferentes significados. En términos estrictamente económicos, la tecnología hace referencia al fondo de conocimientos disponibles en una economía en relación a las artes productivas. Es decir, hace referencia al conocimiento respecto a cómo producir los diferentes bienes. El progreso tecnológico viene, por tanto, determinado por el aumento en este fondo de conocimientos, que incluye tanto avances en cómo producir dichos bienes de forma más eficiente, es decir, utilizando menos factores productivos, como la innovación que se refleja en el aprendizaje para producir nuevos bienes que anteriormente no existían.

En términos generales, el progreso tecnológico puede ser dividido en dos componentes: el denominado progreso tecnológico neutral, que afecta al conjunto de los factores productivos y que viene representado por la evolución en el tiempo de la productividad total de los factores (PTF), y el progreso específico a la inversión, tanto en nuevos activos de capital tecnológicamente más avanzados que los ya

existentes como a la inversión en cualificación de la mano de obra, adquiriendo nuevos conocimientos que previamente no estaban disponibles. El progreso tecnológico específico a la inversión puede ser muy diferente en relación a los diferentes activos de capital que pueden ser incorporados a la economía. Este tipo de progreso tecnológico, específico a la inversión en nuevos equipos, ha cobrado especial significancia debido a la extensión a todos los ámbitos de la economía de las TIC.

En la actualidad, cuando se cuantifica la cantidad de factores productivos que se consideran en la función de producción agregada de la economía se utilizan los conceptos de servicios del trabajo y servicios del capital. Este concepto hace referencia a la medición de la cantidad de factores productivos en términos de su eficiencia productiva, en contraposición con el enfoque tradicional en el cual únicamente se considera la cantidad de los mismos. Así, el concepto de servicios del capital incluye no solo la cantidad de factores productivos sino también su calidad. Es decir, los servicios de los factores productivos incluyen los aumentos de calidad en los factores productivos que se produce a lo largo del tiempo y que es a lo que denominamos progreso tecnológico implícito. Este tipo de progreso tecnológico implícito es aplicable tanto al factor productivo capital como al factor productivo trabajo.

En términos generales, suponemos que la función de producción agregada de la economía viene dada por la siguiente expresión:

$$Y_t = A_t F(K_t, L_t) \quad (1)$$

donde Y_t es el nivel de producción final, A_t representa la Productividad Total de los Factores (la tecnología no incorporada a los factores productivos), K_t es el stock de servicios capital de la economía y L_t es la cantidad de servicios del factor trabajo en el momento t . El término A_t hace referencia a la productividad total de los factores, que es la variable que tradicionalmente ha representado a la tecnología. Un cambio en PTF impulsa o contrae la cantidad del PIB sin alterar la combinación de recursos empleados. De este modo, estos cambios en PTF suelen ser asociados con la eficiencia con la que se usan los recursos productivos, que es a lo que se denomina progreso tecnológico neutral, dado que afecta al conjunto de factores productivos en la misma medida. Dentro de la definición de servicios de los factores productivos se incluye el progreso tecnológico incorporado a los mismos. Así, los servicios de los factores productivos incluyen tanto cambios en la cantidad de factores como cambios en su calidad.

La importancia del progreso tecnológico no solo obedece a su positivo efecto sobre la productividad de los factores productivos, sino que también tienen importantes efectos indirectos a través de la acumulación de los factores productivos. Así, la acumulación de factores productivos (que surge de las decisiones de inversión), depende del progreso tecnológico general de la economía ya que afecta a su rentabilidad. A mayor progreso tecnológico, mayor productividad y, por tanto, rentabilidad de los factores productivos, lo cual induce de manera determinante en las decisiones de inversión respecto a los mismos. De este modo, el progreso tecnológico se convierte en el motor fundamental del crecimiento, tanto de forma directa como

de modo indirecto a través de su efecto positivo sobre la acumulación de factores.

A continuación describimos las implicaciones de los diferentes tipos de progreso tecnológico asociados a la función de producción agregada anterior, es decir, como afecta cada uno de ellos a la producción final de una economía.

2.1 Progreso tecnológico incorporado al factor trabajo: El capital humano

En los modelos teóricos, el factor trabajo es habitualmente aproximado en términos del número de trabajadores (ocupados), o, de forma un poco más precisa aunque requiere de más información, a través del número de horas trabajadas. Sin embargo, dichas variables no recogen de forma adecuada la contribución de dicho factor a la producción, ya que se trata de un factor con una elevada heterogeneidad y con características que pueden cambiar significativamente en el tiempo. El uso de las variables anteriores como medida cuantitativa del factor trabajo están basadas en unos supuestos que pueden ser excesivamente restrictivos. En el primer caso, implica que todos los trabajadores dedican el mismo tiempo a trabajar, sin tener en cuenta que el tiempo de trabajo puede ser muy diferente de un trabajador a otro. El número de horas trabajadas puede constituir una medida más exacta, pero también implica que las horas trabajadas son homogéneas, tanto entre trabajadores como a lo largo del tiempo. En cualquier caso estas medidas estándar ignoran totalmente la existencia de cambios en la productividad de este factor, al no tener en cuenta la diferente calidad de las horas trabajadas y de su variación en el tiempo.

La productividad del factor trabajo y su efecto sobre la producción de una economía viene determinado no solo por su cantidad sino también por su calidad. Esta calidad del trabajo refleja aumentos en el nivel de cualificación de los trabajadores y constituye un tipo de progreso tecnológico específico a este factor productivo. En la medida en que asociamos tecnología a conocimientos, resulta claro que un mayor nivel de cualificación de los trabajadores supone un aumento de la tecnología usada en el proceso productivo. Así, la inversión en formación y cualificación de los trabajadores supone generar un progreso tecnológico, en entra en la función de producción agregada de la economía incorporada en el factor productivo trabajo. A este tipo de progreso tecnológico específico a este factor es a lo que en términos generales se le ha denominado capital humano.

A pesar de la gran importancia del capital humano como fuente de crecimiento económico y de aumento de la productividad, existen relativamente pocos trabajos recientes que estudien su medición en profundidad y su incorporación a los análisis, tanto teóricos como empíricos. Esto se debe fundamentalmente a que medir el capital humano es una tarea cuanto menos complicada. No obstante, la preocupación por el concepto del capital humano y su medición no es en absoluto nueva, sino que resulta ser tan vieja como la propia economía. De hecho, aparece conjuntamente con los primeros desarrollos en términos de análisis económico. El primer trabajo sobre el tema del que se tiene constancia fue el elaborado por William Petty en el año 1676.

A partir de este trabajo inicial se han sucedido una gran cantidad de trabajos sobre el tema, que sin embargo no han llevado a la inclusión definitiva del capital humano en el análisis económico actual, lo cual no deja de ser profundamente paradójico. Este hecho también podemos extenderlo a las estadísticas económicas y fundamentalmente a la contabilidad nacional.

En términos generales se asocia el capital humano a la educación. Esto viene justificado por el hecho de que la educación es relativamente fácil de medir y se dispone de suficiente información estadística al respecto. Esta relación entre nivel educativo y stock de capital humano es indudable, pero existen otros factores, adicionales a la educación, que condicionan el stock de capital humano de una economía. Así, el número de años de estudio constituye una importante base sobre la que determinar el capital humano, pero existen otros factores a nivel individual, tales como la habilidad innata de los individuos, la formación extraescolar, la experiencia y el aprendizaje en la práctica, etc., factores todos ellos que también pueden resultar fundamentales a la hora de determinar el nivel de capital humano.

En la literatura sobre el tema ha enfatizado la importancia del stock capital humano a la hora de determinar el efecto del factor productivo trabajo sobre la producción en un momento dado del tiempo y el cambio en la dotación de capital humano de los trabajadores como uno de los factores fundamentales para el crecimiento económico. Aunque existen pocas dudas al respecto de que el capital humano resulta determinante para medir la producción y su variación en el tiempo, lo cierto es que el análisis económico aplicado no incluye de forma habitual este concepto, derivado del hecho de que no existen estadísticas adecuadas que midan este aspecto del factor productivo trabajo, ni del hecho de que el capital humano forme parte de la contabilidad nacional. Sin una correcta medición del capital humano asociado a los trabajadores no resulta posible especificar de forma correcta la función de producción agregada de la economía, ni la importancia relativa de cada uno de los diferentes factores productivos. Es más, el stock de capital humano y su aumento a lo largo del tiempo constituye una importante fuente de progreso tecnológico.

Existe una pléyade de diferentes definiciones relativas al concepto de capital humano, pero todas ellas hacen referencia, más o menos, a los mismos elementos. Educación, habilidad, cualificación profesional, experiencia, aprendizaje en la práctica, etc., constituyen todos ellos elementos que están integrados en la dotación de capital humano de un individuo. Por otra parte, los individuos cuentan con capacidades innatas. La suma de estas capacidades innatas junto con las aprendidas tanto en el proceso educativo como en la propia práctica profesional van a determinar el nivel de capital humano de cada individuo. Por tanto, vemos como el concepto de capital humano es ciertamente complejo, ya que incluye una gran cantidad de dimensiones de muy diferente naturaleza. Parte del nivel de capital humano depende de habilidades innatas del individuo, parte se adquiere en el sistema educativo, parte en el contexto familiar, parte en el trabajo, etc. Esto provoca que no exista una única definición de este concepto, lo que dificulta su medición, siendo en principio una variable no observable.

El interés reciente respecto al concepto de capital humano y de su medición surge a partir de los trabajos de Schultz (1963) y Becker (1964). Sin embargo, el interés por medir la dotación de capital humano de una economía no es nuevo, sino que el primer método para su cálculo y su aplicación práctica para medir el stock de capital humano de una economía ya fue realizado en el año 1676 por William Petty.¹ Además, encontramos numerosas referencias a la importancia del capital humano a lo largo de la historia del pensamiento económico desde sus mismos orígenes, interés que se ha mantenido hasta la actualidad. Sin embargo, y a pesar de esta larga historia en relación a la importancia del concepto del capital humano y a su medición, aún no se dispone de series de capital humano que sean usadas en los análisis empíricos que en su lugar usan el trabajo no ajustado por su calidad, bien medido en términos de ocupados o bien en términos de horas trabajadas.

No obstante su consideración empírica, el capital humano constituye un elemento fundamental para determinar el crecimiento económico. Esto ha motivado que se realicen una gran cantidad de estudios, principalmente teóricos, para considerar este factor, si bien también se han considerado aproximaciones empíricas a dicho fenómeno. Así, se han desarrollado una gran cantidad de modelos teóricos en los cuales el capital humano juega un papel fundamental en el crecimiento económico, dado que constituye un tipo de progreso tecnológico asociado al factor productivo trabajo (ejemplos destacados son los trabajos de Uzawa, 1988; Lucas, 1988; Romer, 1990; entre otros). Por otra parte, en la literatura empírica sobre crecimiento económico se han incluido diferentes variables proxies del capital humano en un intento de medir el efecto de esta variable sobre el crecimiento de la producción.

Tradicionalmente, el factor productivo trabajo ha sido aproximado en términos del empleo o del número de horas trabajadas. La suma de estas cantidades para una economía nos daría el total de factor productivo trabajo. Sin embargo, en la realidad los factores productivos no son homogéneos, sino que existen diferentes tipos de activos de capital y diferentes tipos de factor productivo trabajo, por lo que la función de producción puede definirse como:

$$Y_t = F(K_{1,t}, K_{2,t}, \dots, K_{m,t}, L_{1,t}, L_{2,t}, \dots, L_{n,t}) \quad (2)$$

Por tanto, en este caso, y centrándonos únicamente en el factor productivo trabajo, la cantidad de este factor que se utiliza en la economía vendría dada por:

$$L_t = f(L_{1,t}, L_{2,t}, \dots, L_{n,t}) \quad (3)$$

donde $f(\cdot)$ es una función que permite la agregación de trabajadores u horas trabajadas heterogéneas en un único índice. Si cada uno de estos índices representan el factor trabajo ajustado por su calidad, entonces el factor trabajo de la economía, L_t , representaría a los servicios derivados del factor productivo trabajo, es decir, el

¹Una revisión de los inicios históricos del concepto de capital humano puede encontrarse en Kiker (1966).

trabajo ajustado por calidad, en el cual se incluye no solo las horas trabajadas o el número de trabajadores, sino también el capital humano asociado a las mismas.

Tomando logaritmos en la función de producción y diferenciando con respecto al tiempo, obtenemos que la tasa de crecimiento de la economía puede definirse como:

$$gy_t = \alpha_{k_1} gk_{1,t} + \alpha_{k_2} gk_{2,t} + \dots + \alpha_{k_m} gk_{m,t} + \alpha_{l_1} gl_{1,t} + \alpha_{l_2} gl_{2,t} + \dots + \alpha_{l_n} gl_{n,t} \quad (4)$$

donde gy_t es la tasa de crecimiento de la economía, $gk_{i,t}$ la tasa de crecimiento de stock de capital físico del tipo $i = 1, 2, \dots, m$, $gl_{i,t}$ la tasa de crecimiento del factor trabajo del tipo $j = 1, 2, \dots, n$, y α_k y α_l , representan las elasticidades de los distintos tipos de capital y de trabajo, respectivamente. Estos parámetros miden la aportación de cada factor al nivel de producción, siendo por tanto productos marginales. Si disponemos de una medición de estos productos marginales, podemos obtener una medición agregada de cada uno de estos factores productivos. Sin embargo, estos factores son, en principio, no observables. En el caso del factor trabajo, estas elasticidades vendrían dadas por el salario, w_l , de tal forma que podemos obtener el valor monetario del factor productivo trabajo como:

$$L_t = w_{l_1} L_{1,t} + w_{l_2} L_{2,t} + \dots + w_{l_n} L_{n,t} \quad (5)$$

De este modo, las diferencias en salarios reflejarían diferencias en términos de la productividad de los trabajadores, dado el supuesto de que el factor productivo trabajo se retribuye en términos de su productividad marginal.

En términos más exactos, el capital humano se obtendría a partir del factor productivo trabajo ajustado por su calidad en términos de cualificación. El número de trabajadores o alternatively, el número de horas trabajadas lo vamos a definir como N_t . De este modo, el capital humano puede definirse como la diferencia entre el factor productivo trabajo ajustado por calidad, y la medición habitual de trabajo:

$$H_t = \frac{L_t}{N_t} \quad (6)$$

La incorrecta o ausencia de medición del capital humano tiene importantes consecuencias en el análisis del crecimiento de la productividad y de la identificación de la productividad total de los factores para una economía. En primer lugar, la productividad del trabajo se calcula como la ratio entre el nivel de producción y la cantidad de factor productivo trabajo utilizada en los procesos productivos. Resulta evidente que si medimos incorrectamente el factor productivo trabajo, también estamos midiendo incorrectamente la productividad del trabajo. Habitualmente se usa el número de trabajadores o el número de horas trabajadas. Sin embargo, esto significa que estamos suponiendo que el trabajo es homogéneo, lo que implica que cada trabajador (o cada hora de trabajo) tiene la misma productividad, lo cual es del todo incorrecto. Resulta claro que la productividad de una hora de trabajo de un profesor de universidad es muy diferente que la de un astronauta. También la productividad de un nuevo operario que acaba de incorporarse a su puesto de trabajo

es diferente de los operarios que ya tienen una amplia experiencia laboral en dicho puesto.

Los problemas de medición no solo afectan a la productividad del trabajo, sino que también tienen consecuencias sobre la medición de la productividad agregada de una economía, a través de la productividad total de los factores. La productividad total de los factores se obtiene como un residuo de la función de producción agregada, una vez que han sido calculadas las aportaciones a la producción de los factores productivos capital físico y trabajo. Si partimos de una incorrecta medición del factor trabajo y de su aportación a la producción, esto derivará en una incorrecta medición de la productividad total de los factores. Es más, estos problemas también afectan a la medición de la importancia de los diferentes progresos tecnológicos, tanto en lo que se refiere a la aportación del progreso tecnológico específico a la inversión, dada la incorrecta medición de la productividad del factor trabajo, como a la importancia del progreso tecnológico neutral, que se deriva de la propia estimación de la productividad total de los factores como un factor residual de la función de producción agregada.

Por tanto, resulta altamente sorprendente que aún no se disponga de información estadística que permita medir de forma correcta el stock de factor productivo trabajo que se usa en una economía. La explicación hay que buscarla en el hecho de que se trata de un fenómeno complejo, que admite una gran variedad de definiciones y de factores explicativos. Al mismo tiempo, al ser una variable no observada no conocemos exactamente la importancia relativa de cada uno de sus múltiples dimensiones a la hora de determinar el stock de capital humano de un individuo. No obstante, esto no debería suponer un obstáculo para que se elaboren series de capital humano, que aunque también pueden presentar ciertos inconvenientes, al menos supongan una representación más exacta de la dotación de factor productivo trabajo que el mero dato de trabajadores o de horas trabajadas.

2.2 Progreso tecnológico incorporado a los activos de capital: El progreso tecnológico específico a la inversión

El segundo tipo de progreso tecnológico incorporado a los factores productivos es el denominado progreso tecnológico específico a la inversión (PTEI). Sus características son muy similares a las descritas anteriormente en el caso del factor trabajo. Así, los servicios del capital no solo tienen en cuenta su cantidad sino también su calidad. De nuevo nos encontramos con el hecho de que los activos de capital no son homogéneos a lo largo del tiempo, sino que su calidad (en términos de sus prestaciones) aumenta con el tiempo. Este hecho ya fue apuntado por Solow (1960), en el sentido de que existen diferentes generaciones de capital, que se van incorporando gradualmente a los procesos productivos, teniendo los nuevos activos una mayor carga tecnológica que los activos anteriores. De este modo, el cambio tecnológico asociado al factor productivo capital no afecta a todo el capital instalado, sino que únicamente entra en el proceso productivo de forma gradual, a partir de la incorporación de estos nuevos activos de capital más avanzados tecnológicamente

Por tanto, el cambio tecnológico incorporado en los activos de capital, depende del proceso inversor. La inversión implica la incorporación de nuevos activos de capital a la economía, activos que son más avanzados tecnológicamente que los ya existentes, a los que sustituyen paulatinamente. Esto significa que una economía que no realiza inversión no se ve beneficiada de este tipo de progreso tecnológico, y que su impacto en la economía viene determinado por la intensidad de dicho proceso inversor. En este caso la ecuación de acumulación de capital vendría dada por:

$$K_{t+1} = (1 - \delta)K_t + Q_t I_t \quad (7)$$

donde I es la inversión y δ la tasa de depreciación física del capital. Q_t representa el progreso tecnológico implícito, reflejando la evolución del precio relativo ajustado por calidad de los nuevos activos de capital que se incorporan al stock de capital instalado. Esta variable es mayor que la unidad, reflejando la existencia de progreso tecnológico (en el caso estándar, donde no se tiene en cuenta este tipo de progreso tecnológico, el valor de Q_t es simplemente la unidad). Cuanto mayor sea su valor, mayor sería el progreso tecnológico asociado a un activo de capital concreto.

La importancia de este tipo de progreso tecnológico incorporado se debe fundamentalmente a que su velocidad se ha acelerado de forma sustancial en las últimas décadas. Desde la década de los 60 se ha observado un aumento muy importante en la calidad de los bienes de equipo, crecimiento que además ha ido acelerándose con el tiempo. Esto ha provocado que se le preste una especial atención a la forma en la que se calcula el stock de capital de una economía, con objeto de tener en cuenta como el cambio en la calidad de los bienes de equipo se va incorporando a la dotación existente de este factor productivo.

Este interés ha aumentado más si cabe en las últimas décadas, como consecuencia de las importantes innovaciones que se han producido a nivel técnico y la introducción y rapidísima expansión de nuevas tecnologías que han supuesto un profundo cambio en la organización y estructura económica, así como de los activos de capital que se usan en los procesos productivos. En particular, en las últimas décadas se han llevado a cabo importantes inversiones en un conjunto de nuevos activos de capital que incorporan una elevada carga tecnológica, y que han experimentado un avance técnico muy rápido en el tiempo, que se engloban dentro de las denominadas Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC). Además estos activos de capital, han tenido una rápida difusión a prácticamente todos los sectores productivos, dado lugar a lo que se ha venido a llamar la nueva economía.

No obstante, hemos de indicar que ambos procesos tecnológicos no son totalmente independientes. Así, la nueva economía, tiene efectos que van más allá de la incorporación de activos de capital más eficientes, sino que estos generan externalidades que pueden afectar al nivel de eficiencia agregado de la economía, es decir, a la Productividad Total de los Factores. Las TIC están afectando a la organización empresarial en prácticamente todos los sectores productivos, generando importantes aumentos de eficiencia, principalmente en aquellos sectores que son más intensivos en el uso de las TIC. Esto hace que también aumente la eficiencia agregada

de la economía. Así pues, las TIC no solo generan efectos positivos de forma directa, haciendo más productivo el capital instalado, sino que también tiene efectos positivos indirectos, al aumentar el nivel de eficiencia del conjunto de la economía. En la medida en que las TIC están penetrando a todos los sectores de la sociedad y la economía, resulta evidente que estos efectos directos e indirectos pueden ser muy importantes.

Desde diversos ámbitos se apunta a las TIC como uno de los factores determinantes del crecimiento económico. En efecto, los Estados Unidos, que es el país más avanzado en relación a las TIC (tanto en volumen de inversión como en su uso), han experimentado una significativa aceleración en la tasa de crecimiento de su productividad durante la década de los noventa y los primeros años del presente siglo, crecimiento que ha sido muy superior al experimentado por el conjunto de los países de la Unión Europea. Jorgenson y Stiroh (2000) y Jorgenson (2001) han relacionado este aumento en el crecimiento de la productividad en Estados Unidos, principalmente desde mediados de los noventa, con la tasa de crecimiento de la inversión en TIC y con el aumento en la productividad total de los factores, principalmente en lo que se refiere a los sectores productores de TIC y sectores intensivos en el uso de las TIC. Oliner y Sichel (2000) y Baily y Lawrence (2001) han comprobado que estos efectos positivos también se han producido en sectores no productores de TIC. Por el contrario, el efecto positivo de las nuevas tecnologías sobre el crecimiento de la productividad parece ser menor relevante en el resto de países desarrollados, fundamentalmente en aquellos países en los cuales la inversión en capital TIC es más baja (véase Colecchia y Schreyer, 2002; Daveri, 2002; Vijselaar y Albers, 2002; entre otros).

El papel destacado que juegan las TIC surge de su capacidad para reducir costes, como los de información, almacenamiento, etc., aumentando la eficiencia de los procesos productivos. Al mismo tiempo plantea cambios organizativos en las propias empresas a nivel interno, así como cambios en las relaciones entre empresas y entre las empresas y los consumidores. Todos estos cambios plantean aumentos de eficiencia. Otra característica de las TIC es que está constituida por una tecnología que es global y, por tanto, de fácil acceso. Por tanto, los beneficios principales de este tipo de tecnología provienen de su correcto uso e implementación en el sistema económico, más que de la existencia de un sector productor de este tipo de tecnología. Mientras que la existencia de un sector productor de TIC es obviamente un elemento positivo para el funcionamiento de la economía, aún más relevante es que la penetración de las TIC en todos los sectores productivos sea lo más amplia posible. Finalmente, hemos de hacer referencia a la interrelación existente entre las TIC y el capital humano. Este tipo de progreso tecnológico ha sido denominado “sesgado hacia la cualificación”. Este término significa que el uso y aprovechamiento de las ventajas de las TIC únicamente es posible si se dispone del adecuado nivel de cualificación de los trabajadores y de la sociedad en general.

Sin embargo, la medición del impacto de las TIC y en general, de la nueva economía, es más compleja de lo que a priori pueda parecer. De hecho, existen relativamente pocos estudios cuantitativos que midan el efecto de las TIC sobre la productividad, la competitividad y el crecimiento económico. Es más, si bien en

la mayoría de estos trabajos se encuentra un efecto positivo de las TIC sobre el comportamiento de la economía, dicho efecto no resulta ser tan importante como a priori era de esperar, o como apuntan la gran cantidad de estudios que analizan el fenómeno desde el punto meramente cualitativo. No obstante, y aunque estas primeras evaluaciones cuantitativas apuntan a un efecto positivo pero no de gran magnitud, autores como Wolff (1996) y Samaniego (2006) consideran que la inversión en TIC es una condición necesaria, pero no suficiente, para seguir avanzando en términos de productividad y competitividad.²

La denominada nueva economía tiene su fundamento en los nuevos activos de capital que conforman las TIC. Estos activos han experimentado un desarrollo tecnológico muy importante en los últimos años, que está teniendo un gran impacto en todos los ámbitos. En principio, este progreso tecnológico tiene las mismas características que el asociado a todos los activos de capital. Es un progreso tecnológico que se va incorporando paulatinamente a la economía, a través del proceso de inversión en nuevos activos de capital. Así, la inversión, va destinada a incorporar nuevos equipos, que son más avanzados que a los que sustituyen. De este modo, el nivel tecnológico agregado de los equipos que se usan en el proceso productivo va aumentando. Este fenómeno se ha producido durante la práctica totalidad del siglo XX. Un ejemplo ilustrativo puede ser el caso del automóvil. Los automóviles van siendo sustituidos en el tiempo por otros automóviles que incorporan una mayor carga tecnológica (incorporando innovaciones como los frenos ABS, dirección asistida, elevadoras eléctricas, . . .).

Qué tiene, por tanto, de diferente la nueva economía respecto a este proceso que ya venía existiendo al menos en los últimos 100 años. Podemos encontrar tres diferencias fundamentales y que suponen un cambio radical respecto a etapas anteriores. En primer lugar, el proceso de progreso tecnológico es mucho más intenso en relación a las TIC. Esto significa que la velocidad a la que se producen innovaciones es mucho mayor en el caso de los activos TIC que en el caso del resto de activos de capital. Pensemos en el caso de los ordenadores o de las telecomunicaciones. El ritmo de avance tecnológico que han experimentado estos activos ha sido y, lo sigue siendo, muy elevado y además de forma acelerada, por lo que estamos ante una nueva situación, con unas tasas de innovación y progreso técnico no conocidas anteriormente.³

²A este respecto, resulta muy significativa la afirmación realizada por Robert Solow: “Hoy en día podemos ver ordenadores por todos lados, excepto en las estadísticas de productividad (New York Times Book Review, 12 de julio de 1987). De hecho esto es lo que ha dado lugar a la denominada “paradoja de la productividad”, en el sentido de que la importante inversión realizada en activos TIC en las últimas décadas no parece que haya tenido un efecto muy significativo sobre la evolución de la productividad, lo que no hace tan evidente hablar de una relación positiva entre TIC y productividad.

³En este sentido, por ejemplo Jorgenson (2002), apunta a que un ordenador personal tipo del año 2005 es 140 veces más rápido que un ordenador personal tipo del año 1990, es decir, el progreso tecnológico que han experimentado los ordenadores personales en estos 15 años ha sido de casi un 500%, o un crecimiento tecnológico medio anual de 33%. Es evidente que ante estas impresionantes tasas de avance técnico se hable de la existencia de una nueva era tecnológica, aunque sus verdaderos efectos positivos sobre el crecimiento y la productividad no sean del todo evidentes o aún estén por llegar.

En segundo lugar, las TIC han tenido una amplia difusión a la práctica totalidad de los sectores. Mientras que anteriormente el progreso tecnológico incorporado ha estado muy limitado a determinados sectores productivos, básicamente los sectores industriales, las TIC han sido aplicadas de un modo más generalista a la totalidad de la economía y de la sociedad. En el pasado, las innovaciones tecnológicas se han incorporado a nuevos equipos y materiales de transporte, estando su impacto muy localizado en determinados sectores industriales, ejerciendo una menor influencia en otros sectores productivos, o llegado a éstos con considerable retraso. Con la nueva economía ocurre lo contrario: los activos TIC se han extendido a todos los sectores productivos y además lo han hecho con enorme rapidez. Además, las TIC representan un ejemplo de tecnologías de uso general o GPT (General Purpose Technologies). Estas tecnologías tienen la capacidad de afectar a la economía en su conjunto y de provocar un cambio muy importante tanto de la estructura de la economía como de la propia sociedad. Ejemplos de este tipo de avances tecnológicos en el pasado lo constituyeron la máquina de vapor, la electricidad, el motor de explosión, etc. En la actualidad, estas tecnologías están representadas fundamentalmente por los ordenadores, la telefonía móvil e internet. La importancia de estas tecnologías viene derivada por el hecho de que promueven la realización de innovaciones adicionales, por lo que son promotoras de un mayor progreso tecnológico.

Por último y en tercer lugar, las TIC no solo suponen un mayor nivel tecnológico asociado a los activos de capital, sino que también puede tener importantes efectos sobre el progreso tecnológico neutral, esto es, sobre el nivel de eficiencia productiva a nivel agregado. Tal y como hemos comentado anteriormente, las TIC no solo representan un avance tecnológico muy importante en todos los sectores productivos, sino que también conllevan importantes cambios en la propia organización del sistema económico y de la sociedad en su conjunto. Esto provoca que la Productividad Total de los Factores se vea afectada positivamente por la implantación de las TIC, en lo que sería un efecto indirecto. De hecho, las TIC han provocado importantes cambios en la organización de determinados sectores económico, cambios que han posibilitado importantes ganancias de eficiencia y reducción de costes.

En este contexto, la cuestión fundamental a la que debemos dar respuesta es si las TIC pueden ser vistas como una nueva revolución tecnológica que va a tener efectos positivos muy significativos sobre el comportamiento de la economía, al igual o en mayor medida, que los efectos que se derivaron de la máquina de vapor o de la electricidad. La respuesta a todas luces parece positiva. La difusión de las TIC ha sido a mayor velocidad que en los casos de la electricidad o la máquina de vapor. Por otra parte, se está produciendo una importante disminución en el precio relativo de las TIC lo que ha incentivado la inversión en estos activos, produciéndose un rápido proceso de sustitución de equipos más antiguos por equipos más modernos con mayor carga tecnológica. Su extensión es mayor que otras tecnologías. Así, la electricidad o la máquina de vapor durante mucho tiempo estuvo restringida a su uso en la industria manufacturera, la minería y el sector de transportes. Las TIC aparecen extendidas a prácticamente todos los sectores productivos.

Todo este conjunto de elementos nos permite afirmar que la nueva revolución tecnológica tendrá importantes efectos sobre la evolución de la economía a medio y largo plazo, e incluso estos efectos pueden ser más importantes que los derivados de anteriores revoluciones tecnológicas, como las mencionadas anteriormente. Esto no quita que existan autores tales como David (1990) y Crafts (2002), que apunten a que a pesar de las anteriores diferencias respecto a otras revoluciones tecnológicas, no debemos esperar que las TIC supongan una revolución del funcionamiento de la economía radicalmente diferente al ocurrido en otros episodios históricos similares. Tal y como apunta Pilat (2006), el impacto real de la adopción de las TIC sobre el comportamiento agregado de la economía no depende exclusivamente de las posibilidades de desarrollo tecnológico de este tipo de activos de capital, sino que sus efectos van a depender fundamentalmente de las innovaciones respecto a las estructuras organizativas, el diseño e implementación de políticas públicas, el marco regulatorio, el nivel de cualificación de los trabajadores, entre otros factores. En definitiva, podemos afirmar que la tecnología está disponible, solo hay que aplicarla adecuadamente para maximizar sus efectos positivos.

2.3 Progreso tecnológico neutral: La Productividad Total de los Factores

Tal y como hemos especificado anteriormente, en términos generales consideramos la existencia de dos factores productivos: capital y trabajo. Cada uno de ellos incorpora una determinada carga tecnológica, que es específica o implícita a los mismos. De aquí que se hable de un progreso tecnológico específico, cuando hacemos referencia al componente tecnológico que va incorporado a los factores productivos. En el caso del factor productivo trabajo a esta carga tecnológica implícita se le denomina capital humano, haciendo referencia al nivel de cualificación de los mismos. En el caso de capital físico, representa la cantidad de tecnología que puede ser adquirida usando una unidad de un determinado activo de capital. No obstante, de forma adicional a esta tecnología incorporada en los factores, existe otro tipo de tecnología que es general a la economía y, de este modo, independiente de la acumulación de los factores productivos.

Este es el caso del denominado progreso tecnológico neutral, que surge de la eficiencia existente a la hora de combinar los factores productivos para producir bienes y servicios. Se define como neutral debido a que afecta a la función de producción agregada de la economía. Así, se trata de un proceso tecnológico que es independiente tanto de la acumulación de los factores productivos como de los cambios en la calidad de los mismos, si bien, también contribuye al proceso inversor el aumentar la productividad de los factores.

Tradicionalmente el único progreso tecnológico considerado ha sido el neutral o cambios en la Productividad Total de los Factores. Así, dada una cantidad de factores productivos, el aumento adicional en el nivel de producción venía explicado por un aumento en el nivel de eficiencia agregada de la economía, que depende de una gran

variedad de factores, tanto institucionales, como legales y organizativos. De este modo, el progreso tecnológico de una economía venía determinado exclusivamente por la PTF. No obstante, este componente tecnológico no tiene una base teórica y una estructura definida, obteniéndose como un residuo de la función de producción (que es lo que se denomina el residuo de Solow). Los diferentes análisis sobre las fuentes del crecimiento económico apuntaban a que este tipo de progreso tecnológico era el principal factor explicativo del mismo.

La PTF es una variable no observable. No obstante, bajo determinados supuestos acerca de la función de producción agregada de la economía y dadas las observaciones respecto a la cantidad de factores productivos trabajo y capital y el nivel de producción, es posible obtener una medición de la PTF. En la práctica no existe una teoría que explique la PTF de una economía y, por tanto, se considera un elemento exógeno. De hecho, la PTF vendría dada por toda aquella parte de la producción que no viene explicada por la productividad de los factores. Así, esta medición del stock de conocimientos de la economía refleja una medida de nuestra ignorancia a la hora de explicar los diferentes determinantes del crecimiento económico y sus variables determinantes.

En términos generales, este nivel de tecnología neutral refleja aspectos institucionales y organizativos de la economía. La transformación de factores productivos en producción final se realiza en un contexto en el que el resultado viene condicionado por la propia organización de la economía. Estos factores institucionales son fundamentalmente públicos, y dependen de las distorsiones que genera la intervención del sector público, si bien también existen factores privados, como los avances en la estructura organizativa empresarial y la aplicación de nuevas formas de organización. En este caso el progreso tecnológico o aumentos en la PTF estarían, por tanto, asociados a cambios en este entorno institucional para aumentar el nivel de eficiencia productiva.

En términos cuantitativos, la evolución de la PTF ha sido uno de los elementos fundamentales a la hora de explicar el crecimiento de las principales economías, siendo el factor con una mayor contribución al crecimiento económico. Así, la PTF ha experimentado significativos aumentos a lo largo del tiempo. No obstante, esta evolución refleja todos los tipos de progreso tecnológico que se genera en una economía. De hecho, cuando se cuenta la contribución del progreso tecnológico incorporado a los factores productivos, resulta en una pérdida significativa de importancia del progreso tecnológico no incorporado a la hora de explicar el crecimiento económico.

3 La dotación de capital humano en Andalucía

Una vez hemos descrito las diferentes fuentes del crecimiento económico, a continuación vamos a proceder a cuantificar las mismas. Para ello hemos de cuantificar los servicios derivados tanto del factor capital como del factor trabajo, para lo cual se hace necesario cuantificar los cambios en los mismos, tanto

aquellos que provienen de cambios en su cantidad como de cambios en su calidad. Comenzamos con el cambio tecnológico asociado al factor productivo trabajo, que es a lo que habitualmente denominamos capital humano. Como hemos comentado anteriormente, el capital humano representa cambios en la calidad del factor productivo trabajo a lo largo del tiempo. Así, aunque el número de trabajadores o el número total de horas trabajadas permanezcan constantes a lo largo del tiempo, el aumento en la cualificación de los trabajadores permite aumentar el nivel de producción. Es por este motivo que la correcta medición de este factor productivo requiera la cuantificación tanto de su cantidad como de su calidad, lo que nos permite tener una medida de los servicios del factor trabajo.

Sin duda alguna el capital humano constituye uno de los elementos fundamentales a la hora de explicar el crecimiento de una economía. Sin embargo, en la práctica, existen relativamente pocos trabajos que lo incluyan, lo que se debe en parte a la dificultad de disponer de información adecuada respecto a este proceso. De hecho, al igual que en el caso de los servicios del capital o el stock de capital productivo, no existe ninguna estadística oficial con información sobre los servicios del trabajo. No obstante en la actualidad existe una gran cantidad de métodos alternativos que intentan obtener una estimación lo más exacta posible del nivel de capital humano para diferentes economías.⁴

La base de datos más completa respecto al capital humano en España y a su desagregación por Comunidades Autónomas es la elaborada por el IVIE-Bancaja, denominada "Capital humano en España y su distribución provincial", ante la inexistencia de datos oficiales relativos a los servicios del trabajo. Esta base de datos incluye información sobre los niveles educativos de la población y de los ocupados por sectores productivos. De forma adicional también ofrece una estimación del capital humano, utilizando el método propuesto por Mulligan y Sala-i-Martin (1997, 2000), como un índice que ajusta el empleo en términos de los trabajadores con menor cualificación. La otra fuente de información disponible, aunque únicamente a nivel nacional, es la estimación de la base de datos EU-Klems. Al margen de estas estimaciones, en este trabajo realizamos una estimación alternativa para la economía andaluza, usando el método propuesto por Denison (1962, 1967) y Jorgenson y Griliches (1967). En cuanto a las medidas de capital humano que utilizamos todas están referenciadas al empleo, no correspondiendo al total de la población de la región.⁵

⁴En el apéndice A presentamos una panorámica de los diferentes métodos y enfoques para la estimación del capital humano.

⁵Dado que las medidas cuantitativas que vamos a utilizar corresponden a variables de carácter productivo, utilizamos como referencia el número de trabajadores. Por tanto, las medidas de capital humano están referenciadas al empleo, pudiendo ser diferente (como así ocurre) el nivel de capital humano de la población ocupada respecto al capital humano de la población en edad de trabajar y que no se encuentra ocupada, ya sean inactivos o desempleados.

3.1 El número medio de años de estudios

Uno de los métodos habitualmente usados para medir el stock de capital humano de una economía consiste en usar indicadores relacionados con el sistema educativo. Aunque la educación es solo una parte del concepto más amplio de capital humano, la disponibilidad de información y su simplicidad han hecho de este método uno de los más utilizados en la práctica. No obstante, este método presenta importantes limitaciones por cuanto basa la calidad del factor trabajo únicamente en términos de variables educativas, lo que puede dar lugar a significativos errores de medida, si bien constituye la información básica que se usa en otros métodos más refinados. La educación se puede considerar como una inversión en este tipo de capital, por lo que el aumento del capital humano en el tiempo está asociado a las decisiones de inversión en educación.

La base de datos de capital humano Ivie-Bancaja calcula el número medio de años de estudio, como una variable proxy del capital humano. Para ello parte de una clasificación de siete niveles educativos (Analfabetos, sin estudios y primarios, bachiller elemental, bachiller superior, formación profesional grado medio, formación profesional grado superior, anterior al superior y superior). Respecto a esta clasificación, a lo largo del periodo considerado se ha producido una importante disminución en los trabajadores con menor nivel educativo (fundamentalmente los trabajadores sin estudios o con estudios primarios), mientras que ha aumentado la cantidad de trabajadores con niveles educativos más altos, evidenciando la mejora en el nivel educativo de la población ocupada en la economía regional.

La tabla 1 muestra este indicador del capital humano, presentando el número medio de años de estudio al principio y al final del periodo, tanto para Andalucía como España, y para los diferentes sectores productivos. En el año 1980 los años medios de estudio de la población ocupada eran de 6,95 para el caso de Andalucía y de 7,47 para el caso de España. En 2008, estos valores ascienden a 11,29 y a 11,72, para Andalucía y España, respectivamente, por lo que el crecimiento medio anual del número de años de estudio ha aumentado un 1,87% en Andalucía frente al 1,78% de España. Esto significa que el aumento del nivel educativo de la población ocupada andaluza ha sido superior al registrado a nivel nacional, por lo que si consideramos que esta variable resulta fundamental para determinar el capital humano, evidenciaría una mayor acumulación en el caso regional frente al nacional, aunque en valores absolutos el stock sería superior a nivel nacional, donde es más elevado el número medio de años de estudio. La figura 1 muestra la evolución durante el periodo de esta variable para la economía nacional y regional, mostrando una tendencia creciente en el tiempo de forma permanente y en el que se aprecia claramente la diferencia permanente entre España y Andalucía, aunque dicha diferencia toma valores reducidos.

De los datos presentados en la tabla 1 pueden extraerse algunas conclusiones relevantes. En primer lugar, el número medio de años de estudio ha aumentado significativamente durante el periodo considerado, tanto a nivel nacional como a nivel regional. No obstante, el nivel medio sigue siendo inferior en Andalucía respecto al total nacional. Esto se debe fundamentalmente a la estructura productiva andaluza,

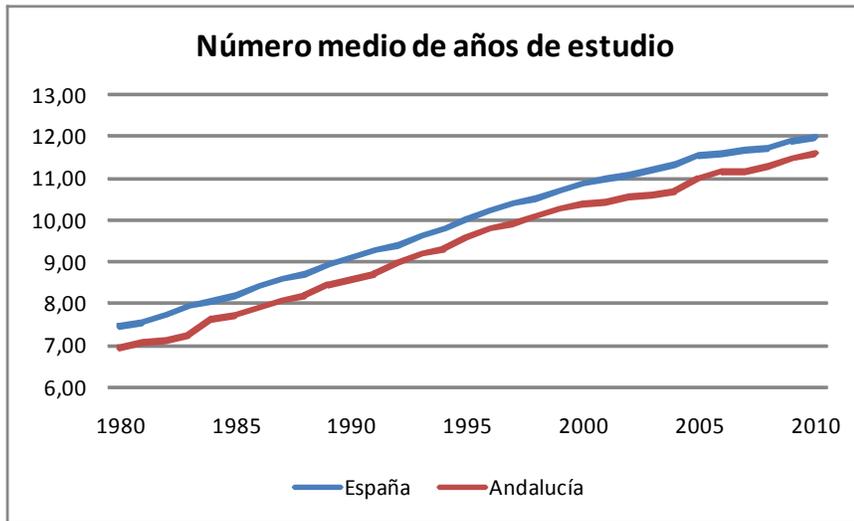


Figura 1: Capital humano en Andalucía y España: Número medio de años de estudio

que está más orientada a sectores productivos donde el nivel de cualificación de los trabajadores es inferior. El sector productivo con mayor nivel de educación es la energía, seguido por los servicios y la industria. Por el contrario, los sectores con menores niveles de educación son la agricultura y los servicios.

Tabla 1: Capital humano: Número medio de años de estudio

	Andalucía			España		
	1980	2008	Tasa	1980	2008	Tasa
Agricultura	5,48	9,11	1,71	5,84	9,29	1,61
Construcción	6,08	10,32	1,75	6,51	10,58	1,60
Energía	7,95	12,72	1,84	7,65	13,16	1,87
Industria	6,90	11,29	1,56	7,28	11,53	1,57
Servicios	7,87	12,02	1,47	8,45	12,39	1,32
Total ocupados	6,95	11,29	1,87	7,47	11,72	1,78

Fuente: Base de datos Capital Humano, Ivie-Bancaja

La tabla 2 muestra el crecimiento en el número medio de años de estudio para cada una de las tres décadas consideradas, con objeto de estudiar como ha ido evolucionando en el tiempo la acumulación de capital humano. Como se puede apreciar, el crecimiento de esta variable ha sido muy estable en el tiempo, exceptuando el periodo 2000-2008, donde los valores son significativamente más bajos, excepto en algunos casos como el sector de la energía a nivel regional. La explicación de este comportamiento tiene que ver con la decisión de los individuos respecto al número años de estudio, que tiende a disminuir en las fases de expansión económica, como la

ocurrida en dichos años. Así, este menor crecimiento del número medio de años de estudio, que ocurre en prácticamente todos los sectores tiene que ver con la menor rentabilidad del estudio en dicho periodo.

Tabla 2: Capital humano: Número medio de años de estudio (crecimiento medio)

	1980-90	1990-00	2000-2008	1980-2008
Andalucía				
Agricultura	1,79	1,67	1,68	1,71
Construcción	2,14	1,59	1,46	1,75
Energía	1,21	2,09	2,32	1,84
Industria	1,83	1,59	1,19	1,56
Servicios	1,79	1,77	0,70	1,47
Total ocupados	2,18	2,15	1,15	1,87
España				
Agricultura	1,30	1,84	1,70	1,61
Construcción	1,72	1,76	1,26	1,60
Energía	2,13	1,97	1,43	1,87
Industria	1,89	1,71	0,98	1,57
Servicios	1,68	1,46	0,71	1,32
Total ocupados	2,14	1,95	1,12	1,78

Fuente: Base de datos Capital Humano, Ivie-Bancaja

3.2 Valor del capital humano según el método Mulligan-Sala-i-Martin

La base de datos IVIE-Bancaja calcula series de capital humano utilizando el método propuesto por Mulligan y Sala-i-Martin (1997, 2000). Así, calculan series de capital humano en términos de trabajadores equivalentes, usando como referencia los hombres menores de 20 años sin estudios o con estudios primarios incompletos. En realidad, la serie estimada no corresponde con el capital humano, sino con los servicios del factor productivo trabajo ajustado por calidad.

La tabla 3 presenta la descomposición del factor trabajo en términos de cantidad y calidad según estas estimaciones. Tal y como podemos observar, el crecimiento de los servicios del trabajo ha sido del 2,83% en Andalucía y del 2,51% en España, siendo por tanto superior a nivel regional. Este crecimiento incluye tanto aumentos en la cantidad del factor (empleo) como aumentos en la calidad del mismo (capital humano). Sin embargo, el aumento en la cantidad de este factor ha sido muy superior en Andalucía respecto al total nacional. Así, el crecimiento medio del empleo en Andalucía ha sido del 2,42%, mientras que a nivel nacional ha sido ligeramente inferior al 2%. Esto hace que en términos de calidad, el progreso haya sido superior a nivel nacional respecto al regional. El crecimiento medio anual de la calidad del trabajo ha sido de 0,53%

para España y del 0,41% para Andalucía. De este modo, el nivel de capital humano en Andalucía (en términos de la población ocupada) no solo es menor a nivel regional respecto al total nacional, sino que además ha experimentado un menor crecimiento durante el periodo considerado. Sin duda alguna, la estructura del sector productivo regional respecto al nacional está detrás de dicho comportamiento.

Tabla 3: Capital humano: Método Mulligan-Sala-i-Martin

	Andalucía			España		
	1980	2008	Var (%)	1980	2008	Var (%)
Ocupados (miles)	1.640,69	3.149,70	2,42	11.588,33	20.257,64	1,97
Capital humano	2,20	2,46	0,41	2,24	2,59	0,53
Input trabajo	3.615,24	7.762,67	2,83	26.683,83	52.501,94	2,50

Fuente: Base de datos Capital Humano, Ivie-Bancaja

La tabla 4 muestra el crecimiento del capital humano en diferentes subperiodos, ya que también resulta interesante estudiar cómo ha sido su evolución en el tiempo. Durante la década de los 80, el crecimiento medio anual del capital humano fue del 0,73% a nivel nacional y del 0,47% a nivel regional, lo que evidencia que a pesar del incremento experimentado y de que a nivel regional se parte de una situación más desfavorable, este tipo de progreso tecnológico fue más intenso a nivel nacional que a nivel regional. El aumento en el capital humano se acelera significativamente en la década de los 90, hasta el 1,32% en el caso regional y del 1,24% en el caso nacional, crecimientos que podemos considerar como muy elevados y donde Andalucía se muestra más dinámica que el conjunto nacional. Por el contrario, en los primeros años del nuevo siglo se produce un importante retroceso del capital humano, tanto a nivel regional como nacional. Así, el stock de capital humano (ocupado en actividades productivas) disminuye a una tasa media anual del 0,85% en la región y un 0,66% a nivel nacional.

Varias son las causas explicativas de este fenómeno. En primer lugar, durante las etapas de expansión económica existen menos incentivos a la inversión en capital humano. Esto se debe a que el salario aumenta significativamente, principalmente para aquellos trabajadores con menor nivel de cualificación, lo que desincentiva a realizar esfuerzos inversores en educación y formación, al tener éstos una menor rentabilidad. Así, es de esperar que en las etapas de expansión económica se produzca una ralentización de la acumulación de capital humano, mientras que se intensifica en las etapas de recesión, donde la rentabilidad de la cualificación es mayor. En segundo lugar, los valores que estamos analizando corresponden a la dotación de capital humano de la población ocupada no correspondiendo a la población general. Así, en las etapas de expansión se produce un aumento considerable del empleo, principalmente de aquel con un menor nivel de cualificación. Esto hace que nuestra medida de capital humano experimente una disminución durante los últimos años de la muestra, que se corresponden con un periodo de expansión muy importante

de la economía y donde han tenido especial relevancia sectores productivos (como la construcción) en los cuales el nivel de cualificación de los trabajadores es relativamente bajo en comparación con otros sectores.

Tabla 4: Capital humano: Método Mulligan-Sala-i-Martin

	1980-90	1990-00	2000-08	1980-2008
Andalucía	0,47	1,32	-0,85	0,41
España	0,73	1,24	-0,66	0,53

Fuente: Base de datos Capital Humano, Ivie-Bancaja

3.3 Una estimación alternativa del capital humano en Andalucía

En los epígrafes anteriores hemos presentado dos medidas de capital humano estimadas en la base de datos de capital humano del Ivie-Bancaja. Sin embargo, tal y como mostramos en el apéndice A, existe una gran variedad de métodos alternativos para cuantificar el stock de capital humano de una economía. En este apartado vamos a realizar una estimación alternativa del capital humano en Andalucía, utilizando para ello el método de Denison-Jorgenson-Griliches (Denison, 1962, 1967; Jorgenson y Griliches, 1967).

Para ello partimos de los datos de ocupados por niveles educativos de la base de datos Ivie-Bancaja. Estos diferentes niveles educativos los agrupamos en tres tipos: bajo, medio y alto, con objeto de adaptar los datos de educación a la disponibilidad de información sobre salarios. En el nivel de educación bajo agrupamos los

Una vez disponemos de esta estructura en función de la formación, a continuación construimos series de salarios para cada uno de estos niveles para la economía andaluza. Para ello combinamos diferentes tipos de información. En primer lugar, tomamos como referencia la información proporcionada por la Encuesta de Costes Laborales para Andalucía. Esta información solo se encuentra disponible para unos determinados años (1995, 2002 y 2006). La información necesaria para el resto de años la construimos a partir de los datos equivalentes para España y suponiendo que el crecimiento salarial a nivel regional ha sido similar al ocurrido a nivel nacional.

Una vez obtenidas las series de salarios de Andalucía para cada nivel educativo, utilizamos esta información para ponderar el empleo en cada nivel educativo para obtener una medición de los servicios del trabajo de la economía andaluza. Además, esta información, dado el método empleado, la obtenemos en términos monetarios.

La tabla 5 muestra los resultados de aplicar este método al caso de Andalucía. El crecimiento medio resultante del capital humano es de 0,64% en media anual, ligeramente superior al valor obtenido por el método anterior. En cuanto a los diferentes subperiodos, obtenemos un crecimiento medio de 0,28% en la década de los 80, 1,05% en la década de los noventa y de un 0,49% en los últimos años. Aunque la tendencia es similar a la estimación anterior, destaca que mientras en el último

periodo el crecimiento del capital humano resultaba negativo, ahora muestra tasas positivas. Estas diferencias se explican por los diferentes supuestos implícitos en cada uno de los enfoques utilizados.

Tabla 5: Capital humano en Andalucía: Método de Denison-Jorgenson-Griliches

Periodo	Crecimiento
1980-1990	0,28
1990-2000	1,05
2000-2008	0,49
1980-2008	0,64

Las diferencias que observamos respecto al método de Mulligan y Sala-i-Martin (1992) se deben al hecho de que esta última medida utiliza la evolución de los salarios como indicador de la productividad del trabajo y, por tanto, como un indicador del capital humano incorporado en el mismo. Sin embargo, tal y como apuntan Mulligan y Sala-i-Martin (1992), parte de este aumento en los salarios no obedece exclusivamente a mejoras en el capital humano, sino también viene provocado por mayores niveles de productividad del factor productivo capital. Esto explica porqué el crecimiento del capital humano usando este segundo método es superior a la estimación anterior.

Aunque existen diferencias apreciables en función del método de cálculo utilizado, en el análisis que realizaremos posteriormente utilizaremos como medida del capital humano la derivada del enfoque de Mulligan-Sala-i-Martin, por parecernos el más adecuado y el que menos problemas presenta.

4 Estimación del progreso tecnológico específico a la inversión

El segundo tipo de progreso incorporado del que necesitamos obtener una cuantificación es aquel asociado al factor productivo capital. Este proceso de cambio tecnológico hace referencia a los cambios en la calidad de los activos de capital que se produce en el tiempo. En este caso existen diferentes oleadas de capital, cada una con características diferentes en el tiempo, siendo los nuevos activos más avanzados tecnológicamente que los ya existentes en la economía. Este proceso tecnológico viene derivado del hecho que los activos de capital más viejos (y con menor carga tecnológica) van siendo sustituidos por otros activos de capital más avanzados tecnológicamente y, por tanto, con un mayor nivel de eficiencia productiva.

Al igual que sucedía con el capital humano, este tipo de progreso tecnológico también está asociado al proceso de inversión, dado que es a partir de las decisiones de inversión que se incorporan nuevos activos de capital al proceso productivo con una mayor carga tecnológica. En este contexto resulta de gran importancia medir el factor productivo capital con el que cuenta una economía en términos de los servicios

que se derivan del uso de dicho factor, en el cual no solo se tiene en cuenta la cantidad de capital productivo, sino también la carga tecnológica implícita en el mismo, esto es, su calidad.

En esta sección vamos a describir los datos y la construcción de una medida de este progreso tecnológico específico, medido como el cambio en la calidad de los activos de capital que se incorporan a la economía a través del proceso de inversión. Esta calidad viene medida en términos de variables de los precios relativos de la inversión. Para ello se hace necesario disponer de precios hedónicos de los activos de capital, que intentan medir la variación en los precios de estos activos teniendo en cuenta los cambios en su calidad. Así, hablaríamos de precios ajustados por la calidad. Estos precios son especialmente diferentes en el caso de los activos TIC, razón por la cual desde los años 80 los institutos de estadísticas oficiales se han preocupado de ajustar los cambios en la calidad de estos activos. Así empezó haciéndolo el Bureau of Economic Analysis (BEA) en los EEUU, y así han seguido las respectivas agencias de países como Alemania, Reino Unido y Japón.

Las estadísticas realizadas para España por Ivie-BBVA han recogido esta preocupación (Mas y Quesada, 2006), pero de una forma parcial. De una parte se reconoce la necesidad de deflactar las series de inversión nominal usando unos precios que tengan ajustada la calidad. Esta deflación se realiza armonizando para España los deflatores TIC del BEA corregidos por la calidad, mediante un método propuesto por Schreyer (2002), basado en la ley del precio único. Dada la carencia de una estimación propia para España de estos deflatores, es la mejor opción que se puede hacer, toda vez que estos equipos TIC son bienes comerciables (i.e. pueden exportarse o importarse, y están expuestos al comercio exterior). Pero de otra parte, sólo se hace para activos TIC. Los activos no-TIC no están ajustados por la calidad.

En este trabajo, usando el método de Schreyer (2002), realizamos un ajuste total de la calidad para todos los tipos de activos de capital, excepto para el caso de las estructuras o construcciones no residenciales, las cuales suponemos mantienen una calidad constante en el tiempo. Para ello partimos de los deflatores con ajuste de calidad estimados por Gordon (1989) para los EEUU, 1957-1987, y posteriormente extendidos por Cummins y Violante (2004), 1947-2002. Usando la misma metodología sugerida por Cummins y Violante (2004), extendemos estos deflatores hasta el año 2008. Estos deflatores están referidos a 26 activos de capital. Agregamos después estos 26 activos en unas partidas homogéneas a las proporcionadas en la base del Ivie-BBVA. Por último, obtenemos un deflactor armonizado de Schreyer (2002) para todos los equipos, y deflactamos las series de inversión nominal del Ivie-BBVA.

De este modo, el progreso tecnológico específico a la inversión, PTEI, del activo de capital j , $Q_{j,t}$, se calcula como la ratio entre el nivel de precios al consumo de los bienes no duraderos, PC_t , y el precio relativo de la inversión ajustada por calidad $q_{j,t}$

$$Q_{j,t} = \frac{PC_t}{q_{j,t}}, \quad (8)$$

para todos los activos de capital excepto las estructuras.⁶

Tal y como hemos apuntado anteriormente, el progreso tecnológico incorporado en el capital resulta ser muy diferente dependiendo del activo considerado. Así este tipo de progreso tecnológico es más elevado en el caso de los activos relacionados con las nuevas tecnologías, mientras que resulta más lento en el caso de los activos de capital más tradicionales. Por tanto, la importancia de este factor a la hora de determinar el crecimiento económico va a depender de la estructura de capital existente en la economía, así como las decisiones de inversión por tipo de activo.

En la tabla 6 presentamos la estructura en términos porcentuales del stock de capital y de la inversión al principio y al final del periodo considerado, para la economía andaluza.⁷ Esta distribución resulta fundamental para determinar los efectos del progreso tecnológico que está ligado a estos activos. Así, el progreso tecnológico de los activos denominados TIC, como son el hardware, software y los equipos de comunicación, es muy superior al que experimentan los bienes de equipos tradicionales, como la maquinaria y los equipos de transporte. Por su parte, el progreso tecnológico asociado a las estructuras se considera nulo, suponiendo que la calidad de estos activos permanece constante a lo largo del tiempo. Esto supone que los efectos positivos de este tipo de progreso tecnológico sobre el crecimiento económico será mayor cuantos más activos TIC existan en la economía o mayor sea la inversión en los mismos, siendo nulo su efecto en el caso de las estructuras.

Tal y como podemos observar, en 1980 aproximadamente el 70% del stock de capital de la economía andaluza correspondía a estructuras y solo el restante 30% a bienes de equipo que experimentan progreso tecnológico. Los activos TIC apenas suponían el 1% del stock de capital total, indicado que la nueva economía aún no había hecho acto de presencia en la economía regional, cuando ya mostraba un peso significativo en otras economías más desarrolladas.

La situación al final del periodo es significativamente diferente, presentando una estructura más acorde con las economías más desarrolladas. El porcentaje de estructuras sobre el total de stock de capital disminuye hasta aproximadamente el 60% del total, valor que sigue siendo relativamente elevado. Por el contrario, el peso de los activos TIC aumenta considerablemente, hasta suponer algo más del 11% del stock de capital total, mientras que el peso relativo de los bienes de equipo tradicionales permanece prácticamente constante.

Por lo que respecta a las decisiones de inversión, tenemos que a principios del periodo, aproximadamente el 50% del total estaban destinadas a estructuras, mientras

⁶Aunque en nuestro análisis suponemos que la calidad de las estructuras se mantiene constante en el tiempo, como es habitual en la literatura, Gort, Greenwood y Rupert (1999) calculan que el PTEI de las estructuras es aproximadamente de un 1% al año, lo que supondría una contribución al crecimiento económico de aproximadamente el 15%.

⁷Aunque tradicionalmente se ha prestado especial atención al estudio de la estructura productiva a la hora de estudiar el comportamiento de una economía en términos de crecimiento, resulta más adecuado estudiar su estructura por tipos de activo de capital, ya que el impacto del desarrollo tecnológico depende tanto del stock como de la inversión que se realice en los diferentes tipos de bienes que equipo.

los activos TIC suponían un porcentaje en torno al 4%. En 2008, la composición de la inversión ha experimentado importantes cambios, destinándose aproximadamente un 40% del total a estructuras, un 20% a activos TIC y el restante 40% a bienes de equipo.

Tabla 6: Estructura del stock de capital y la inversión en Andalucía 1980-2008

	Capital		Inversión	
	1980	2008	1980	2008
Estructuras	70,39	60,23	48,43	39,02
Hardware	0,03	2,70	0,20	8,37
Software	0,23	4,03	0,94	6,11
Equipos de comunicación	0,50	4,64	3,11	5,96
Maquinaria	20,57	16,98	24,59	23,90
Equipos de transporte	7,66	10,96	21,86	16,07
Otros equipos	0,63	0,46	0,87	0,58

La figura 2 muestra la evolución del progreso tecnológico específico a la inversión para Andalucía durante el periodo 1980-2008, partiendo de los datos de precios ajustados por calidad de Estados Unidos y aplicando el método descrito anteriormente. Como podemos observar, este proceso ha ido acelerándose con el paso del tiempo, siendo especialmente intenso a partir de los años 90. No obstante, para el caso de Andalucía, esta evolución es inferior a la que se observa en otras economías, debido a la menor participación de los activos TIC en la inversión regional, que son precisamente los activos de capital que incorporan una mayor carga de progreso tecnológico.

5 La descomposición del crecimiento económico: Una aplicación a la economía andaluza

La contabilidad del crecimiento es un instrumento de análisis muy útil y relativamente fácil de aplicar que consiste en descomponer el crecimiento económico observado en términos de los distintos elementos que integran la función de producción agregada de una economía, definidos por los cambios en la cantidad de los factores productivos y al residuo de Solow, que refleja el progreso tecnológico y otros elementos determinantes de la productividad agregada de la economía. Por este motivo a dicho componente se le denomina la productividad total de los factores, ya que refleja el estado de la tecnología a nivel agregado de una economía.

La principal aplicación de la contabilidad del crecimiento consiste en la estimación del cambio tecnológico neutral de una economía, ya que permite obtener una estimación de la productividad total de los factores y medir su contribución al

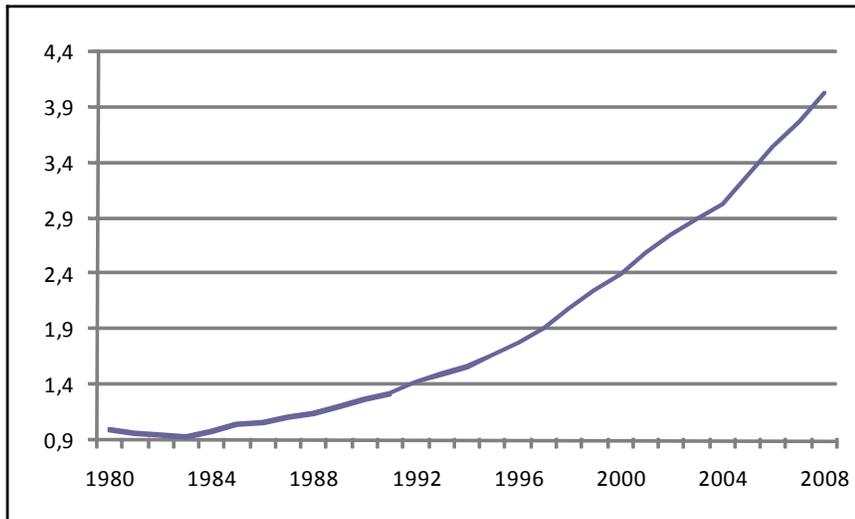


Figura 2: Progreso tecnológico específico a la inversión

crecimiento económico. La idea es muy sencilla. Si disponemos de datos del crecimiento de la producción y del crecimiento de los factores productivos, la parte del crecimiento de la producción que no viene explicada por éstos últimos, el residuo señalado anteriormente, evidencia el cambio en la productividad agregada de la economía. Por tanto, podemos tener una medición de esta variable, que en principio es no observada, y que nos va a indicar claramente el estado de una economía y su evolución en el tiempo.

A continuación vamos a describir el procedimiento para descomponer el crecimiento, ya sea de la producción o de la productividad del trabajo, entre sus diferentes fuentes usando la contabilidad del crecimiento. El ejercicio tradicional de descomposición del crecimiento es el desarrollado por Solow (1956). Solow mostró que a partir de una determinada función de producción y bajo el supuesto de que todo el progreso tecnológico es exógeno, podemos calcular éste a partir de datos sobre producción y acumulación de factores productivos. Posteriormente Jorgenson (1966) propone un enfoque alternativo con objeto de considerar los cambios en la calidad de los activos de capital que se producen a lo largo del tiempo, es decir, incorporando al enfoque tradicional el progreso tecnológico incorporado a los activos de capital. Posteriormente, esta misma idea ha sido aplicada por Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) desarrollando un modelo de equilibrio general en el cual es posible descomponer el crecimiento de la productividad en el largo plazo en términos exclusivamente del progreso tecnológico. Cummins y Violante (2002) definen el primer enfoque como "contabilidad del crecimiento estadística", mientras que al segundo le denominan "contabilidad del crecimiento de equilibrio".

5.1 La descomposición tradicional del crecimiento

El método de descomposición más tradicional divide el crecimiento del nivel de producción en tres componentes: acumulación de capital, acumulación de empleo y el progreso tecnológico neutral que se obtiene como un residuo una vez el crecimiento de la producción ha sido controlado por la contribución del crecimiento de los factores productivos en función de su aportación a la producción. Este es el procedimiento desarrollado por Solow (1957). Este procedimiento de descomposición ha sido ampliamente utilizado en la práctica, ya que constituye un método muy simple para obtener una medida del progreso tecnológico que se produce en una economía, variable que en un principio es no observable. En términos del crecimiento de la producción tendríamos:

$$\gamma_Y = \underbrace{\gamma_{A,S}}_{\text{Neutral}} + \underbrace{v_K \gamma_K}_{\text{Capital}} + \underbrace{v_L \gamma_L}_{\text{Empleo}} \quad (9)$$

donde γ_χ es la tasa de crecimiento de χ y $\gamma_{A,S}$ es el cambio en el progreso tecnológico neutral (la Productividad Total de los Factores, PTF). v_K es la elasticidad del nivel de producción respecto al stock de capital, mientras que v_L sería la elasticidad del nivel de producción respecto al empleo. Este parámetro puede ser calculado como la proporción de compensación al capital sobre la compensación total y la proporción correspondiente al empleo sobre la total, respectivamente. En el caso en que supongamos que la función de producción agregada de la economía es el tipo, como es habitual, entonces la suma de ambos parámetros es la unidad.

De forma similar, la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo (g), puede descomponerse en dos elementos: la PTF y la contribución al crecimiento de la ratio capital/trabajo.

$$g = \underbrace{\gamma_{A,S}}_{\text{Neutral}} + \underbrace{v(\gamma_K - \gamma_L)}_{\text{Accumulation}} \quad (10)$$

Por lo que respecta a la forma de calcular los ratios de costes, seguimos las recomendaciones dadas por la OECD (2001) para la construcción de series de activos de capital, las cuales están basadas en el concepto de servicios del capital. La idea subyacente es capturar los servicios productivos que están incorporados al stock de capital. Este concepto de capital productivo puede entenderse como un índice de volumen de los servicios del capital. Para cada uno de los tipos de capital considerado, los servicios proporcionados por el activo i vendrían definidos como:

$$VCS_{it} = \mu_{it} K_{it}, \quad (11)$$

donde μ_{it} es el coste nominal de uso del capital. Si denominamos RE_t a la remuneración de los trabajadores, entonces las ratios de costes pueden calcularse a partir de las siguientes expresiones:

$$v_{L,t} = \frac{RE_t}{RE_t + \sum_i VCS_{it}}, \quad (12)$$

$$v_{i,t} = \frac{VCS_{it}}{RE_t + \sum_i VCS_{it}}. \quad (13)$$

Sin embargo, el enfoque anterior no considera el cambio tecnológico incorporado a los factores productivos, por lo que todo el cambio tecnológico está incluido en el residuo. A continuación desarrollamos los dos enfoques alternativos existentes, en los cuales se tiene en cuenta la existencia del progreso tecnológico implícito en los activos de capital. Dado que el progreso tecnológico es muy diferentes entre los distintos activos de capital, tal y como hemos visto anteriormente, consideramos la existencia de diferentes tipos de activos de capital. Por otra parte, a estos métodos le añadimos el otro tipo de progreso tecnológico considerado y que es específico al factor productivo trabajo, al que se denomina capital humano.

En primer lugar, describimos el método propuesto por Jorgenson (1966), según el cual la tasa de crecimiento de la producción puede descomponerse como:

$$\gamma_Y = \underbrace{\gamma_{A,J}}_{\text{Neutral}} + \underbrace{v_K \gamma_K}_{\text{Acumulación capital}} + \underbrace{z \gamma_Q}_{\text{PTEI}} + \underbrace{v_L \gamma_L}_{\text{Empleo}} + \underbrace{v_L \gamma_H}_{\text{Capital humano}} \quad (14)$$

Por su parte, el crecimiento de la productividad del trabajo se descompondría como:

$$g = \underbrace{\gamma_{A,J}}_{\text{Neutral}} + \underbrace{v_K (\gamma_K - \gamma_L)}_{\text{Acumulación capital}} + \underbrace{z \gamma_Q}_{\text{PTEI}} + \underbrace{v_L \gamma_H}_{\text{Capital humano}} \quad (15)$$

donde $\gamma_{A,J}$ es el cambio en el progreso tecnológico neutral tal y como es definido por Jorgenson (1966) y z es el ratio de inversión nominal sobre el valor nominal del valor añadido. Tal y como podemos observar, el elemento fundamental derivado de este enfoque es que el factor ponderador del progreso tecnológico específico a la inversión es diferente al parámetro de productividad del capital instalado, evidenciando el hecho que si no se invierte en bienes de equipo, entonces la aportación de este tipo de progreso tecnológico es cero.

El enfoque de descomposición alternativo y que es el más extendido en la práctica es el propuesto por Hulten (1992), donde la tasa de crecimiento del nivel de producción puede descomponerse como:

$$\gamma_Y = \underbrace{\gamma_{A,H}}_{\text{Neutral}} + \underbrace{v_K \gamma_K}_{\text{Acumulación capital}} + \underbrace{v_K \gamma_Q}_{\text{PTEI}} + \underbrace{v_L \gamma_L}_{\text{Empleo}} + \underbrace{v_L \gamma_H}_{\text{Capital humano}} \quad (16)$$

De forma similar, el crecimiento de la productividad del trabajo vendría dada por:

$$g = \underbrace{\gamma_{A,H}}_{\text{Neutral}} + \underbrace{v_K (\gamma_K - \gamma_L)}_{\text{Acumulación capital}} + \underbrace{v_K \gamma_Q}_{\text{PTEI}} + \underbrace{v_L \gamma_H}_{\text{Capital humano}} \quad (17)$$

donde $\gamma_{A,H}$ sería el cambio en el progreso tecnológico neutral tal y como viene definido por Hulten (1992). La diferencia fundamental entre ambos enfoques es la medición del progreso tecnológico específico al capital. En concreto, la diferencia radica en la ponderación que se le da al cambio tecnológico implícito en los activos de capital. En el caso de Jorgenson (1966), esta ponderación viene dada por el ratio de inversión respecto al valor añadido, mientras que en el caso de Hulten (1992), dicha ponderación viene dada por la contribución del stock de capital a la producción final, siendo el resto de componentes similares.

5.2 Resultados

A continuación vamos a presentar los principales resultados que se derivan del análisis realizado. La aplicación de este ejercicio nos va a mostrar la importancia relativa en términos cuantitativos de los factores determinantes del crecimiento regional para el periodo 2000-2008. Al tratarse de un análisis de crecimiento en el corto plazo, identificaremos como factores determinantes tanto la acumulación de factores productivos como del progreso tecnológico, si bien en el largo plazo únicamente tendrían importancia los factores tecnológicos.

La figura 3 muestra la PTF de la economía andaluza calculada a partir del enfoque tradicional de Solow (1957). Esta estimación incorpora todo el progreso tecnológico de la economía andaluza, por lo que resulta de interés por sí misma, si bien no permite distinguir entre las diferentes fuentes generadoras de este nivel de tecnología. Como podemos observar, la PTF de la economía andaluza ha ido aumentando desde 1980 hasta mediados de los años 90, indicando la existencia de un importante progreso tecnológico de la economía regional a nivel agregado. Sin embargo, a partir de mediados de los 90, la PTF de la economía andaluza no solo reduce su crecimiento, sino que experimenta una senda negativa hasta el final del periodo considerado. Este comportamiento no deja de ser paradójico por cuanto indica que el desarrollo tecnológico de la economía andaluza durante este periodo es negativo, es decir, no solo no aumenta el stock tecnológico regional durante estos años, sino que disminuye. Además, dicha regresión tecnológica se produce precisamente en un periodo de tiempo en el cual se ha producido una revolución tecnológica global con la amplia incorporación de las tecnologías de la información y del conocimiento.⁸

Cómo podemos resolver la anterior paradoja. Para dar una respuesta hemos de recordar que esta medición tradicional de la PTF no resulta correcta, por cuanto incluye el progreso tecnológico implícito en los factores productivos. Además, tal y como hemos visto anteriormente, este progreso tecnológico implícito es positivo, indicando que la disminución en la tecnología no incorporada ha sido aún más significativa. Tal y como veremos a continuación, este factor, que incluye aspectos

⁸Por lo que respecta a las economías más desarrolladas, es cierto que en las últimas décadas se ha producido una disminución en las tasas de crecimiento de la PTF. Sin embargo, únicamente España e Italia han experimentado disminuciones en la PTF, tal y como también se observa en el caso de Andalucía.

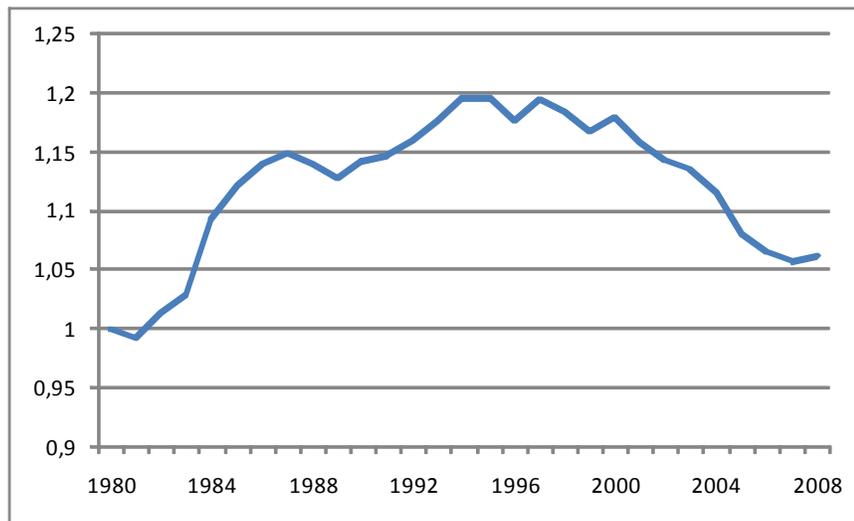


Figura 3: Productividad Total de los Factores. Andalucía 1980-2008

institucionales y organizativos, ha constituido el principal freno al crecimiento de la producción y de la productividad de la economía andaluza. Por otra parte, hemos de indicar que la evolución de la productividad total de los factores también viene influida por la propia estructura productiva de la economía. Así, desde mediados de la década de los 90 del siglo pasado, la economía andaluza ha experimentado una importante expansión, principalmente en sectores productivos que presentan un bajo nivel de productividad, lo cual afecta negativamente al nivel de eficiencia agregado de la economía.

5.2.1 Descomposición del crecimiento de la producción

La tabla 7 muestra los resultados de realizar el ejercicio de descomposición del crecimiento de la producción de la economía andaluza para el periodo completo considerado, 1980-2008. Tal y como podemos observar, durante este periodo el crecimiento medio de la economía andaluza ha sido del 3,01% anual, porcentaje que podemos considerar como elevado si lo comparamos con otras economías de nuestro entorno. En términos generales la evidencia empírica parece dar como resultado una tasa de crecimiento media para las economías desarrolladas del 2% anual. La tasa media que muestra la economía andaluza es ligeramente superior al 3%, por lo que estamos creciendo a una mayor velocidad que los países de nuestro entorno. Además, observamos

Este crecimiento económico viene explicado de la siguiente forma. La aportación media del capital a dicho crecimiento durante el periodo es de 1,16 puntos porcentuales, mientras que la aportación del factor productivo trabajo es de 1,58 puntos porcentuales. Esto supone que, en conjunto, la aportación de la acumulación

de factores productivos supone un total de 2,74 puntos porcentuales, lo que explica aproximadamente el 91% del crecimiento total de la producción regional. Por lo que respecta al componente tecnológico, si sumamos los tres tipos de progreso tecnológico considerado, suponen los restantes 0,28 puntos porcentuales, explicando el restante 9% del crecimiento en la producción. Sin embargo, si distinguimos por sus componentes, el progreso tecnológico específico a la inversión supone un total de 0,48 puntos porcentuales, el capital humano 0,35 puntos porcentuales, mientras que la aportación del progreso tecnológico neutral ha sido negativa, de -0,55 puntos porcentuales, elementos que provoca que en conjunto el cambio tecnológico tenga un peso muy bajo a la hora de explicar el crecimiento de la producción.

Estos resultados muestran que el crecimiento de la economía andaluza durante este periodo ha estado principalmente fundamentado en la acumulación de factores productivos, tanto trabajo como capital, siendo relativamente más importante la acumulación del primero, si bien y como veremos posteriormente, esto se debe al comportamiento registrado en los últimos años. En cualquier caso, observamos un elemento preocupante, derivado de la escasa aportación que tiene el componente tecnológico. De este modo, durante el periodo, el desarrollo tecnológico ha aportado únicamente 0,28 puntos porcentuales al año al crecimiento de Andalucía. En términos porcentuales, el 40% del crecimiento económico del periodo viene explicado por la acumulación de capital, casi el 52% por el aumento en el empleo y el restante 9% se debe a cambios en la productividad total de los factores.

Tabla 7: Descomposición del crecimiento del PIB de Andalucía 1980-2008

	1980-90	1990-00	2000-08	1980-2008
PIB	2,69	2,76	3,66	3,02
Capital	0,81	1,13	1,57	1,16
PTEI	0,21	0,62	0,65	0,48
Empleo	0,49	1,29	3,12	1,58
Capital humano	0,52	0,96	-0,52	0,35
PTF	0,66	-1,23	-1,16	-0,55
Porcentajes				
Capital	30,1	41,0	42,8	38,3
PTEI	7,9	22,3	17,8	16,0
Empleo	18,3	46,5	85,3	52,4
Capital humano	19,2	34,6	-14,3	11,4
PTF	24,4	-44,3	-31,6	-18,2

La tabla 7 también muestra el ejercicio de descomposición para diferentes subperiodos, que nos va a mostrar los cambios que ha ido sufriendo el modelo de crecimiento de Andalucía a lo largo del periodo. Para ello hemos considerados tres subperiodos: la década de los 80, la década de los 90 y desde 2000 hasta 2008. De este análisis obtenemos una serie de resultados muy interesantes. En primer lugar, el crecimiento medio de la economía en cada periodo es muy similar, siempre en torno

al 3%. Es decir, el crecimiento medio de la economía andaluza ha sido muy estable en el tiempo (exceptuando su comportamiento cíclico) y superior al crecimiento medio de las economías de nuestro entorno.

En segundo lugar, podemos observar como la aportación del stock de capital, en términos porcentuales, se ha mantenido prácticamente sin cambios entre los tres periodos. Así, la acumulación del factor productivo capital explica, en cada periodo, en torno al 40% del crecimiento de la producción, excepto en los años 80, cuya contribución es de aproximadamente el 30%. Parte de esta aportación de la acumulación de capital al crecimiento de la producción regional viene determinada por la propia senda de crecimiento de la economía andaluza, pero otra parte viene explicada por el progreso tecnológico que hace que este factor sea más productivo.

En tercer lugar, el factor productivo trabajo ha sufrido importantes cambios entre los distintos periodos, aumentando su aportación al crecimiento económico con el paso del tiempo hasta convertirse en el principal factor determinante del mismo. Así, durante la década de los 80, la aportación del empleo al crecimiento económico fue en torno a medio punto porcentual, explicando algo menos del 20% del crecimiento regional. Dicha aportación aumento hasta 1,29 puntos porcentajes durante la década de los 90, aumentando su contribución hasta casi el 35% del crecimiento de la producción en dicho periodo. Sin embargo, es en los últimos años cuando la aportación del empleo ha sido excepcionalmente elevada, siendo de media superior a 3 puntos porcentuales durante el periodo 2000-2008. Este dato tiene diferentes interpretaciones. En primer lugar, es un dato positivo, por cuanto muestra la existencia de un intenso proceso de creación de empleo en Andalucía durante el periodo. Este dato es aún más positivo si tenemos en cuenta la existencia de un mercado de trabajo cuyas principales características son un elevado nivel de desempleo y una relativamente baja tasa de actividad. Sin embargo, también tiene una lectura negativa, ya que este importante crecimiento del empleo no viene acompañado por un aumento en el nivel de producción en una cuantía suficientemente elevada, provocando un problema de productividad. En efecto, este importante aumento del empleo ha supuesto la incorporación al sector productivo de trabajo de baja productividad, que termina afectando negativamente al comportamiento de la economía y disminuyendo las posibilidades de crecimiento futuro. De hecho podemos observar, que ya aportando el crecimiento del capital 1,6 puntos porcentuales al crecimiento y con una aportación del empleo de 3 puntos porcentuales, la producción aumentan sólo un 3,66%.

El resultado anterior nos lleva al último punto, que viene determinado por la aportación de la tecnología y, en particular, la aportación de la productividad total de los factores. Tal y como hemos apuntado anteriormente, la productividad total de los factores la obtenemos como un residuo, es decir, es toda la producción que no viene explicada por la acumulación de factores productivos. Sin embargo, resulta una variable fundamental, ya que está representando el cambio tecnológico neutral y como está evolucionando la productividad agregada de la economía. El cambio tecnológico neutral recoge una gran cantidad de elementos que son determinantes en la evolución de una economía, que van desde la incorporación del progreso tecnológico,

el capital humano, factores organizativos y factores de carácter institucional. De ahí la importancia de estudiar el comportamiento de esta variable que en principio es no observada.

El progreso tecnológico ha ido disminuyendo la aportación al crecimiento regional con el paso del tiempo. En la década de los 80, el progreso tecnológico en su conjunto, explica más del 50% de la producción regional, destacando la aportación del progreso neutral, que explica aproximadamente el 25% del crecimiento de la producción, seguido por el capital humano que explica el 20%, mientras que el específico al capital explica menos del 10% del crecimiento regional. La situación cambia en la década de los 90, donde la aportación del progreso tecnológico neutral se hace negativa. No obstante, el progreso tecnológico en su conjunto sigue teniendo un efecto positivo sobre la producción regional, explicando aproximadamente un 13% del mismo. Sin embargo, la situación cambia con la entrada del nuevo siglo. Por un lado, la aportación de la PTF al crecimiento regional sigue siendo negativa, pero también se hace negativa la aportación del capital humano. Esto explica por qué, a pesar del intenso proceso de acumulación de factores que se ha producido en la economía regional, el crecimiento económico ha sido limitado en comparación.

Distinguiendo por décadas, obtenemos una pintura de la evolución que ha ido experimentando la economía andaluza en términos de producción. En la década de los 80, la aportación de todos los componentes es muy positiva, destacando la aportación de la PTF, que explica aproximadamente el 25% del crecimiento de la producción regional. Sin embargo, a partir de entonces su aportación se hace cada vez más negativa, suponiendo un importante freno al crecimiento regional. Además, en los últimos años, la aportación del capital humano se hace negativa, lo cual viene explicado en parte por el propio proceso de crecimiento económico que desincentiva la inversión en formación. Por el contrario, el progreso tecnológico incorporado al capital ha tenido un efecto positivo muy importante, gracias al cual la aportación del progreso tecnológico ha sido positiva en su conjunto, sin bien con una importancia cuantitativa muy limitada.

5.2.2 Descomposición del crecimiento de la productividad

A continuación, repetimos el ejercicio anterior pero en términos de la productividad del empleo. En términos generales, se le concede una especial relevancia al crecimiento de la productividad de una economía, como indicador que refleja mejor el comportamiento de la misma en el largo plazo, frente al comportamiento del crecimiento de la producción. Esto es debido a que a largo plazo, la mejora en el nivel de renta per cápita depende no del crecimiento de la producción sino del crecimiento de la productividad del trabajo.

La tabla 8 muestra los resultados de este ejercicio de descomposición. Tal y como podemos observar el crecimiento de la productividad ha sido relativamente bajo durante el periodo considerado, un 0,91% de media, lo que contrasta con el significativo aumento del nivel de producción. Esto se debe a las particularidades en el funcionamiento del mercado de trabajo en Andalucía. No obstante, hemos

de destacar que este valor es muy bajo en comparación con el registrado por los países desarrollados en el periodo considerado, lo que estaría reflejando una imponente debilidad de la economía regional. Además, el crecimiento de la productividad ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo. Así, en la década de los 80, el aumento medio de la productividad fue del 2%, porcentaje que disminuye hasta el 1% en los 90, para hacerse negativo en los últimos años.

De nuevo observamos que el principal factor determinante del crecimiento de la productividad regional ha sido el factor acumulación, en este caso de la ratio capital/trabajo. La contribución de este factor es de 0,63 puntos porcentuales para el conjunto del periodo. Le sigue en importancia el progreso tecnológico específico a la inversión, con una aportación de 0,48 puntos porcentuales, mientras que la aportación de la PTF es negativa, tal y como vimos anteriormente. Estos resultados ponen en evidencia las dificultades que presenta la economía regional para alcanzar valores altos de crecimiento de la productividad y que sean sostenibles en el tiempo. A largo plazo, solo el componente tecnológico tendría importancia, lo que resultaría en valores muy reducidos de crecimiento de la productividad. Así, el principal freno al desarrollo regional proviene de la PTF, que representa el nivel de eficiencia agregada de la economía andaluza, y que viene disminuyendo a tasas muy elevadas. De hecho, la situación del mercado de trabajo, caracterizada por elevadas tasas de paro, ya apuntan en esta misma dirección, por lo que habría que prestar una mayor atención a los factores institucionales y organizativos en los cuales se desenvuelve la actividad productiva en la región.

Tabla 8: Descomposición del crecimiento de la productividad de Andalucía 1980-2008

	1980-90	1990-00	2000-08	1980-2008
PIB	2,03	1,05	-0,50	0,91
Capital/trabajo	0,65	0,70	0,53	0,63
PTEI	0,21	0,62	0,65	0,48
Capital humano	0,52	0,96	-0,52	0,35
PTF	0,66	-1,23	-1,16	-0,55
Porcentajes				
Capital/trabajo	31,8	67,0	-105,0	69,3
PTEI	10,4	58,7	-129,8	53,3
Capital humano	25,5	90,9	104,4	38,0
PTF	32,3	-116,6	230,4	-60,7

Esta negativa contribución de la PTF al crecimiento regional puede explicarse en base a los procesos de aprendizaje y a los procesos de difusión de nuevas tecnologías. Así, la evidencia empírica parece mostrar que el progreso tecnológico agregado de la economía puede verse afectado por la incorporación de las nuevas tecnologías, fundamentalmente los activos TIC, que pueden dar lugar incluso a efectos negativos sobre la producción. En este caso existiría un importante retraso entre el momento

en que se incorporan dichas tecnologías y el momento en que éstas comienzan a tener efectos positivos sobre la productividad. Esto es debido a los procesos de aprendizaje necesarios para integrar de forma correcta estas nuevas tecnologías en los procesos productivos. En la medida en que la economía regional lleva cierto retraso en la incorporación de estas nuevas tecnologías, es de esperar que el futuro sus efectos sean más positivos sobre el crecimiento.

6 Conclusiones

En este trabajo hemos realizado un estudio respecto a los factores determinantes del crecimiento de la producción y de la productividad del trabajo para la economía andaluza, durante el periodo 1980-2008. El crecimiento del nivel de producción de una economía a lo largo del tiempo depende de dos factores. En primer lugar, de la acumulación de factores productivos, tanto capital como trabajo y, en segundo lugar, del progreso tecnológico aplicado a la producción. En el corto plazo ambos elementos son igualmente importantes, dependiendo de cómo sea la senda de crecimiento de la economía respecto a su estado estacionario. A largo plazo, por el contrario, la única fuente de crecimiento de la productividad vendría dada por el progreso tecnológico.

Ambas fuentes de crecimiento económico no son independientes entre sí, sino que guardan una profunda interrelación. Así, una parte de la acumulación de factores productivos viene provocada por la existencia de progreso tecnológico, que hace a dichos factores más eficientes desde el punto de vista productivo y, por tanto, aumenta su rentabilidad incentivando la inversión en los mismos. Por otra parte, el progreso tecnológico únicamente tiene efectos reales si se dispone de una determinada dotación de factores productivos, por lo que la decisión de inversión en los mismos puede suponer un freno a la incorporación de este progreso tecnológico al sector productivo de la economía.

En términos generales distinguimos dos tipos de progreso tecnológico: el incorporado a los factores productivos y el no incorporado o general a la actividad productiva de la economía. Tradicionalmente únicamente se ha considerado el segundo tipo de progreso tecnológico, que se obtendría como un residuo una vez calculada la contribución de la cantidad de factores productivos a la producción. Esto es lo que se conoce como la Productividad Total de los Factores o proceso tecnológico neutral. Sin embargo, recientemente ha cobrado especial relevancia el progreso tecnológico incorporado en los factores productivos, dado que la calidad de los mismos no se mantiene constante en el tiempo, afectando de modo importante a su productividad. Este aumento en la calidad, tanto en relación al factor productivo capital como al trabajo, es a que se denomina progreso tecnológico incorporado. Por lo que respecta al factor productivo trabajo, este progreso tecnológico hace referencia a la acumulación de capital humano. Por lo que respecta al factor productivo capital, se trata de un progreso tecnológico específico a la inversión, dado que está asociado a la cantidad de nuevas generaciones de capital que se van incorporando al stock productivo de la economía.

Estas dos fuentes de crecimiento económico, acumulación de factores y tecnología, no son procesos independientes sino que están íntimamente relacionados. Así, una parte importante del crecimiento de la dotación de factores productivos viene determinada por el progreso tecnológico implícito en los mismos, que afecta de forma determinante a su productividad y, por tanto, a su rentabilidad. A largo plazo, el crecimiento económico viene explicado exclusivamente por el progreso tecnológico, de ahí la importancia de su medición.

El análisis realizado lleva a cabo una cuantificación de la contribución de cada uno de los factores anteriores al crecimiento de la producción y de la productividad del trabajo para la economía andaluza durante el periodo 1980-2008. De modo esquemático, los principales resultados obtenidos son los siguientes:

1. La economía andaluza ha experimentado un crecimiento de la producción relativamente elevado durante el periodo considerado, crecimiento que ha ido aumentando progresivamente a lo largo del tiempo hasta el año 2008, crecimiento medio que sin embargo se ha visto seriamente afectado por la crisis actual.
2. El principal factor explicativo de este crecimiento económico es la acumulación de factores productivos. La acumulación de cantidad de empleo es el motor de crecimiento más importante, aunque también resulta significativo la acumulación de cantidad de capital productivo. Este factor de acumulación de factores explica el 91% del crecimiento medio de la producción.
3. Por el contrario, el progreso tecnológico ha tenido un impacto muy limitado a la hora de explicar el crecimiento de la producción regional, explicando únicamente el 9% del crecimiento de la producción. Si bien la contribución del progreso tecnológico incorporado es positiva, el problema reside en la aportación del progreso tecnológico no incorporado, que tiene una significativa contribución negativa.
4. Un rasgo característico de la economía andaluza durante el periodo considerado es el bajo crecimiento que experimenta la productividad del trabajo. Además, este crecimiento ha sido decreciente en el tiempo e incluso negativo en los últimos años.
5. De nuevo el componente acumulación capital/empleo explica una parte significativa del crecimiento medio de la productividad, aproximadamente el 70%, explicando el restante 30% al componente tecnológico.

Apéndice A: Métodos de estimación del capital humano

En este apéndice realizamos una descripción de los diferentes métodos existentes para la medición del stock de capital humano de una economía.

A.1. Métodos Simples basados en la educación

Los métodos simples, utilizan únicamente variables educativas para obtener una proxy que refleje en alguna medida el capital humano. La idea de partida es que la formación en el sistema educativo supone el elemento más importantes a la hora de determinar el nivel de conocimientos de los individuos y en cómo éstos pueden ser aplicados en los procesos productivos. En términos más exactos, no se trata de una estimación del capital humano, ya que no ofrecen una medición en términos monetarios de los servicios que proporciona el factor productivo trabajo, sino que se trata de variables que pueden reflejar en cierta medida la inversión en capital humano y la dotación de capital humano de una economía. Estos métodos utilizan una gran variedad de variables como la tasa de alfabetismo, la tasa de escolarización, el abandono escolar, la tasa de repetición, resultados de tests que miden la calidad de la educación y el número de años de escolarización, entre otras variables. La idea de partida es que este conjunto de variables está relacionada con la inversión que se realiza en educación, la cual se transforma en capital humano. Tal y como hemos apuntado en la sección anterior, el concepto de capital humano incluye una gran cantidad de dimensiones, siendo la educación uno de ellos, por lo que se trataría en todo caso de medidas parciales del capital humano. No obstante, una gran cantidad de autores argumenta que la educación es la principal dimensión de la dotación de capital humano de los individuos, por lo que estas aproximaciones tendrían cierta importancia.

En la práctica, estas medidas de capital humano han sido utilizadas extensivamente en la literatura sobre crecimiento económico. El objetivo de este tipo de análisis es estudiar la relación existente entre capital humano y crecimiento económico, por lo que el uso de estos indicadores resulta adecuado debido a su fácil disponibilidad para un amplio número de países y periodos muestrales también elevados. Por ejemplo, Romer (1990) usa como proxy la tasa de alfabetización, mientras que Barro (1991) utiliza la tasa de escolaridad como indicador del capital humano. Sin embargo, ambas medidas presentan una gran cantidad de problemas, no reflejando de forma adecuada la dotación de capital humano de una economía, lo que ha tenido como consecuencia que en los análisis empíricos aparezca una débil relación entre capital humano y crecimiento económico. La tasa de alfabetización aporta poca información sobre el nivel educativo de la población, no incluyendo ninguna información sobre los niveles de cualificación más elevados. Además, en los países desarrollados esta variable presenta una escasa variabilidad, aún cuando sus dotaciones de capital humano pueden ser muy diferentes. Respecto a la variable tasa de escolaridad, los problemas que presenta son similares a la anterior, presentando una

nula variabilidad en el tiempo y entre países, principalmente los más desarrollados, que no reflejan de forma adecuada la inversión en capital humano.

Otros autores utilizan como variable proxy el número medio de años de escolarización o bien el porcentaje de trabajadores que ha alcanzado un determinado nivel educativo. Hanushek y Kimko (2000) por su parte, utiliza medidas alternativas basadas en los resultados obtenidos por los estudiantes en tests internacionales sobre matemáticas y ciencias. Estos autores muestran que un buen indicador del nivel de capital humano, y que está muy relacionado con el crecimiento de las economías, es la puntuación obtenidas en los tests internacionales de matemáticas y ciencias. Además muestran que el resultado que se obtiene en estos tests es independiente del gasto en educación realizado por los distintos países, lo que viene a incidir en la importancia que tiene la calidad del sistema educativo a la hora de valorar su relación con el capital humano.

Para medir el nivel de capital humano en épocas pasadas se han utilizado una gran variedad de indicadores alternativos, como el número de libros publicados, la tasa de alfabetización, número de personas capaces de firmar un documento o medidas históricas de "age heaping", que intenta recoger la tendencia a reponder a la pregunta de la edad del individuo eligiendo el número más cercano terminado en 5 o en 0.

En términos generales, los métodos basados únicamente en la educación tiene una serie de inconvenientes, que hacen que puedan ser proxies no muy precisas del stock de capital humano de un individuo. Así, estas medidas únicamente reflejan un componente del capital humano, no teniendo en cuenta las habilidades innatas del individuo, su experiencia laboral, el aprendizaje en la práctica, etc. Por otra parte, no representan de modo adecuado el stock de capital humano de la fuerza de trabajo y en todo caso lo que están representando en la inversión en el mismo, a través del proceso educativo. Otra crítica proviene del hecho de que no tienen en cuenta la calidad del sistema educativo, factor determinante en el nivel de conocimientos adquiridos. Así, diferentes autores han mostrado que no existe relación entre el gasto en educación y la calidad del sistema educativo, medido a través de la puntuación de los estudiantes en tests internacionales.

A.1.1. El número medio de años de estudio

Al margen de las variables proxy del capital humano utilizadas en los análisis empíricos sobre crecimiento económico, un método relativamente más elaborado consiste en el cálculo del número medio de años de estudio. Este es el método usado por Psacharopoulos y Arriagada (1986), Kyriakou (1992) y Barro y Lee (1993, 1996, 2001). Esta medida tiene una gran cantidad de ventajas respecto a las variables comentadas anteriormente. Así, se trata de un método que permite obtener una medición del stock de capital humano, al tiempo que incorpora de forma correcta la inversión que se ha realizado en educación.

El número de años medios de escolarización de una economía, S_t , sería:

$$S_t = \sum_{e=1}^n A_{e,t} \frac{N_{e,t}}{N_t} \quad (18)$$

donde $A_{e,t}$ es el número de años de escolarización para alcanzar un determinado nivel educativo e , $N_{e,t}$ es el número de trabajadores con dicho nivel educativo y N_t es el número total de trabajadores. Se trata, por tanto, de ponderar cada trabajador (u hora trabajada) por el número de años de educación de dicho trabajador.

En este caso, el nivel de factor productivo trabajo incluyendo al capital humano, o ajustado por su calidad, de una economía se calcularía como:

$$L_t = \sum_{e=1}^n \theta_{e,t} N_{e,t} \quad (19)$$

donde $N_{e,t}$, denota el número de trabajadores en la economía en el momento t , que tienen un nivel e de educación, $e = 1, \dots, n$, y donde $\theta_{e,t}$ representa la productividad de cada trabajador que depende de su nivel educativo. Este parámetro de eficiencia o productividad sería, en este caso, equivalente al número de años en el sistema educativo para cada nivel de educación.

La principal ventaja de este método es que es fácil de calcular y únicamente requiere información sobre los años de estudio de la población. Sin embargo, esta medida de capital humano presenta diferentes problemas. En primer lugar, supone que todos los trabajadores en cada categoría educativa son perfectamente sustitutivos por trabajadores de cualquier otra categoría educativa. En segundo lugar, supone que el diferencial de productividad entre trabajadores de diferente nivel educativo es proporcional a su número de años de estudio. Así, un trabajador con 10 años de estudio es 10 veces más productivo que un trabajador con 1 año de estudio. Por otra parte, estas medidas miden la cantidad de educación, pero no la calidad de la misma, por lo que no serían adecuadas para realizar comparaciones internacionales. No obstante estas críticas y a pesar de que se trata de un método simple, su cálculo ya supone un avance en relación a la cuantificación de los servicios del factor trabajo en una economía, si lo comparamos con la mera suma del número de trabajadores o del número de horas trabajadas.

A.1.2. El método del inventario perpetuo

Otra forma de realizar una estimación del capital humano similar a la anterior es usando el método del inventario perpetuo. Este método fue desarrollado por Lau, Jamison y Louat (1991), y consiste en calcular el stock de educación como:

$$S_t = \sum_{t-64+6}^{t-15+6} \sum_{i=1}^n \pi_{i,t+i-1} E_{i,t+i-1} \quad (20)$$

donde $E_{i,t+i-1}$, denota el nivel de escolarización en cada nivel educativo y $\pi_{i,t+i-1}$, es la probabilidad de supervivencia para cada nivel de escolarización. La expresión

anterior supone que la edad a que se accede a la educación es a los 6 años, que la edad de incorporación al mercado de trabajo es a los 15 años y que la edad de jubilación es a los 64 años. El problema asociado a este procedimiento es que es necesaria mucha información y para un periodo de tiempo muy elevado. Así, por ejemplo, si queremos estimar el stock de educación para el año 2010, necesitamos información desde el año 1951, lo que hace que este procedimiento sea difícil de implementar en la práctica. Si queremos disponer de una serie, digamos de 1970 a 2010, esto significa que necesitamos datos estadísticos desde 1911, por lo que este procedimiento de cálculo no resulta aplicable cuando necesitamos disponer de series temporales, más o menos largas, de capital humano.

Nehru et al. (1995) modifica el procedimiento anterior para considerar la existencia de abandonos escolares y de repetición de cursos, tal que:

$$S_t = \sum_{i=t-64+6}^{t-15+6} \sum_{i=1}^n \pi_{i,t+i-1} E_{i,t+i-1} (1 - R_{i,t} - D_{i,t}) \quad (21)$$

donde $R_{i,t}$ es la tasa de repetición de curso y $D_{i,t}$ es la tasa de abandono escolar, lo cual añade la necesidad de un aún mayor requerimiento de información. Estos autores estiman la expresión anterior para un total de 85 países y para el periodo 1960-1987. Sin embargo, mucha de la información necesaria no está disponible, por lo que debe ser previamente aproximada.

A.2. El método del coste de producción

El método del coste de producción supone un método de medición del capital humano que es alternativo a los métodos basados en los ingresos y que no está basado únicamente en la medición del nivel educativo. Además es un método que permite cuantificar el stock de capital humano en términos monetarios.

Este método fue desarrollado originalmente por Engel (1883), y está basado en que el stock de capital humano de un individuo puede estimarse a partir de los costes de crianza de los padres. Engel consideró que un individuo estaría totalmente productivo a la edad de 26 años, por lo que el coste de crianza de dicho individuo sería la suma de todos los costes hasta que alcanzase la edad de 25 años. Estos costes supondrían una estimación del valor monetario del individuo para la sociedad. Para ello especificó que los individuos tenían un coste dado a su nacimiento de C_0 , y un coste anual de:

$$C_0 + aC_0k \quad (22)$$

donde a es la edad y k es un parámetro que representa el aumento en el coste anual, que se supone constante. A partir de la especificación anterior, Engel derivó la siguiente fórmula:

$$C_a = C_0 \left[1 + a + k \left(\frac{a(a+1)}{2} \right) \right] \quad (23)$$

donde C_a es el coste total de producir el capital humano del individuo (sin tener en cuenta el tipo de interés, la depreciación o el mantenimiento), hasta que alcanza la edad a , C_0 son los costes incurridos hasta el momento del nacimiento y k representa el incremento anual en el coste. La expresión anterior podía ser calculada para las diferentes clases sociales. Engel supuso que la constante C_0 tomaba los valores 100, 200 y 300 marcos para las clases bajas, medias y altas de Alemania, respectivamente y que el valor de k era igual para todos, tomando un valor de 0,1. Otra aplicación pionera de este procedimiento fue la realizada por Wickens (1924) para estimar el capital humano de Australia.

La idea subyacente de este método es que el coste de la inversión en la formación de un individuo es equivalente a su nivel de capital humano, o alternativamente, a su aportación al proceso productivo. El valor obtenido supone una estimación de los costes en los que incurre un individuo hasta que se supone es totalmente productivo, no teniendo en cuenta el valor del dinero ni los costes sociales asociados a la inversión en los individuos. Así, pues, muchos gastos que en principio serían considerados como consumo, como educación, sanidad, alimentación, etc., esta aproximación los considera como inversión en capital humano.

Una aplicación más reciente es la realizada por Kendrick (1976). Para ello supone que la inversión en capital humano se realiza tanto en tangibles como en intangibles. El componente tangible está compuesto por todos los costes en los que se incurre para producir el capital humano de un individuo hasta que llega a la edad de 14 años. La inversión en intangibles representa los costes asociados a la calidad y a la productividad del trabajo. Kendrick (1976) aplica esta metodología para estimar el capital humano de los Estados Unidos para el periodo 1929-1969, obteniendo que su valor es superior al stock de capital físico. Eisner (1985) utiliza un método similar, pero considerando también el valor de las contribuciones de los miembros de la familia a la crianza de los hijos que no son de mercado.

Los métodos de medición del capital humano basados en el coste de producción han recibido numerosas críticas. En primer lugar, este método no proporciona una medida de la calidad del factor productivo trabajo, ya que simplemente mide su coste de producción. Así, no por más costoso un trabajador va a ser más productivo que otro, ya que esto puede depender de otros factores, como las habilidades innatas del individuo. En segundo lugar, los diferentes componentes que entran en la generación de capital humano así como sus precios no están bien especificados, no distinguiéndose correctamente cuales corresponden a inversión en capital humano y cuales corresponden a consumo. Por ejemplo, el gasto en comida y ropa, se incluye en los costes que dan lugar a la producción de capital humano, pero también podrían ser considerados no como una inversión sino como consumo. Estas limitaciones han provocado que este método de estimación de capital humano haya sido poco utilizado en la práctica.

A.3. El método de Petty-Farr

El interés por medir el capital humano no es algo reciente, sino que tiene una extensa historia en la economía. La primera estimación del stock de capital humano realizada es la de Petty, realizada en el año 1676, tal y como constata Kiker (1966), y que constituye el origen de los métodos basados en las rentas. La idea subyacente es que el stock de capital humano de una economía vendría dado por el valor presente en términos descontados de los ingresos esperados a través del ciclo vital de los individuos.

Petty (1690) estimó el stock de capital humano para Inglaterra a través de un método simple, consistente en la capitalización a perpetuidad de la masa salarial, definida como la diferencia entre la renta nacional y los ingresos de propiedad, utilizando un tipo de interés del 5%. El resultado que obtuvo fue que el stock de capital humano era de 520 millones de libras (frente a una renta nacional de 42 millones de libras), lo que supuso una valoración monetaria del capital humano de 80 libras per cápita y la estimación de un stock de capital humano que era alrededor de 12 veces superior a la producción. Aunque se trata de un método muy simple y no tiene en cuenta la heterogeneidad de la población, supuso el primer intento de medir el capital humano de una economía, medición que además es realizada en términos monetarios. Además puso de manifiesto que el capital humano podría suponer, en términos monetarios, un valor muy superior al de la producción total de una economía, tal y como ocurre con el stock de capital físico.

Más elaborado es el método de estimación propuesto por Farr (1853), según el cual el capital humano de un individuo puede ser aproximado por el total de ingresos que puede generar a lo largo de su vida. Farr calcula los ingresos futuros de un individuo netos del coste de la vida, ajustados por la esperanza de vida. Usando una tasa de descuento del 5%, obtiene que el valor del capital humano es de 150 libras per cápita para el caso de los agricultores ingleses. Estas aproximaciones teóricas realizadas por Petty y Farr constituyen la base de los métodos más utilizados en la actualidad para estimar el capital humano de una economía.

Dublin y Lotka (1930), a partir del trabajo realizado por Farr, calculan el valor de un individuo en el momento de nacer como:

$$V_0 = \sum_{a=0} \frac{\pi_{0,a}(Y_a - C_a)}{(1 + \rho)^a} \quad (24)$$

donde Y es la renta o los ingresos salariales, C son los costes de vida, π es la probabilidad de supervivencia y ρ es la tasa de descuento. La única diferencia del procedimiento desarrollado por Dublin y Lotka respecto al desarrollado por Farr, es que los primeros tienen en cuenta la existencia de desempleo, por lo que los ingresos salariales únicamente computarían para la población ocupada. La expresión anterior puede escribirse en términos del valor monetario de un individuo para una determinada edad, x , tal que:

$$V_x = \sum_{a=x} \frac{\pi_{x,a}(Y_a - C_a)}{(1 + \rho)^{a-x}} \quad (25)$$

Por su parte, también podemos escribir el coste neto de criar a una persona hasta que alcance la edad, x , como:

$$C_x = \sum_{a=0}^{x-1} \frac{\pi_{x,a}(C_a - Y_a)}{(1 + \rho)^{a-x}} \quad (26)$$

Combinando las expresiones anteriores podemos escribir:

$$C_x = V_x - \frac{(1 + \rho)^a}{\pi_{0,a}} V_0 \quad (27)$$

De este modo, el stock de capital humano de un individuo con edad x , se obtendría simplemente eliminando los costes, tal que:

$$H_x = \sum_{a=x} \frac{\pi_{x,a} Y_a}{(1 + \rho)^{a-x}} \quad (28)$$

Más recientemente, este procedimiento ha sido también aplicado por Weisbrod (1961) para Estados Unidos, quien supone que los individuos generan ingresos hasta la edad de 74 años, estimando el capital humano para el año 1950. Graham y Webb (1979) ajustan la expresión anterior para introducir el efecto del crecimiento económico. En efecto, numerosos autores apuntan a que el cálculo anterior no sería correcto, ya que si existe crecimiento económico, podemos esperar la existencia de mayores salarios asociados a la edad. En este caso, la estimación del capital humano vendría dada por la expresión:

$$H_x = \sum_{a=x}^{75} \frac{\pi_{x,a} Y_a (1 + g_Y)^{a-x}}{(1 + \rho)^{a-x}} \quad (29)$$

donde g_Y es la tasa de crecimiento de la renta. Estos autores aplican la expresión anterior para estimar el stock de capital humano de la población masculina entre 14 y 75 años en Estados Unidos correspondiente al año 1969.

La idea fundamental de estos métodos de estimación es que el capital humano de un individuo puede ser medido a través de la expectativas de su futura corriente de ingresos. Este supuesto está basado en la hipótesis neoclásica de que los trabajadores son retribuidos en función de su productividad marginal y que esta productividad depende de la dotación de capital humano. Por tanto, las retribuciones al trabajo que recibe un individuo es un buen indicador de su nivel de capital humano.

Sin embargo, y a pesar de las importantes ventajas que supone este método, también presenta ciertos inconvenientes para su aplicación práctica. En primer lugar, los resultados obtenidos en estos trabajos dependen fundamentalmente de la tasa de descuento que se aplica. Este es un parámetro que se determina *ad hoc* y que se supone constante en el tiempo. Pequeñas diferencias en esta tasa de descuento dan lugar a

estimaciones del valor del capital humano muy diferentes. En segundo lugar, no tiene en cuenta los posibles costes de mantenimiento que son necesarios para generar un determinado nivel de ingresos. Finalmente, pueden existir otros condicionantes distintos del capital humano que afecten a la determinación de los ingresos. No obstante sus limitaciones, este método constituye la base de las aproximaciones que se están realizando en la actualidad para medir de forma adecuada el stock de capital humano.

A.4. El método de Jorgenson y Fraumeni

El método propuesto por Jorgenson y Fraumeni (1989, 1992) está basado en el método de Petty y Farr y en las aplicaciones de Weisbrod (1961) y Graham y Webb (1979), y al igual que todos ellos trata de recoger los efectos de la inversión en educación sobre toda la vida de los individuos, pero calculando tanto los componentes de mercado como de no mercado. Este método ha sido posteriormente utilizado por Christian (2010), también para el caso de Estados Unidos, introduciendo algunas modificaciones en el mismo. En este caso el stock de capital humano de una economía es igual a los ingresos laborales a lo largo de toda la vida de la población. De forma adicional, es posible distinguir entre un componente de mercado y un componente de no mercado.

La principal innovación que presenta el enfoque propuesto por Jorgenson y Fraumeni (1989, 1992), es que permite simplificar los cálculos de los métodos anteriores a partir de la derivación de una ecuación recursiva. De este modo, muestran que el valor presente de los ingresos laborales a lo largo del ciclo vital de un individuo de una determinada edad es exactamente igual a su ingreso laboral anual más el valor presente de sus ingresos laborales de los siguientes periodos de su vida ponderado por la probabilidad de supervivencia.

En términos formales, el stock de capital humano se construye de forma recursiva utilizando la siguiente expresión:

$$H_{y,s,a,e} = W_{y,s,a,e} + \frac{1+g}{1+\rho} \pi_{y,s,a+1,e} H_{y,s,a+1,e}$$

donde y hace referencia al año, s indica el sexo, a indica la edad y e hace referencia al nivel educativo. W representa el ingreso medio anual, H es el stock de capital humano, π es la probabilidad de supervivencia, g es la tasa de crecimiento de los ingresos salariales y ρ es la tasa de descuento.

Jorgenson y Fraumeni (1989) suponen que el nivel de capital humano es cero a partir de una determinada edad. Christian (2010), ofrece una aproximación diferente, suponiendo que el capital humano siempre es positivo. A efectos de cálculo, el nivel de capital humano para el grupo de más edad (por ejemplo, Christian, 2010, utiliza a los mayores de 80 años), se calcularía como:

$$H_{y,s,80+,e} = \left[1 - \frac{1+g}{1+\rho} \pi_{y,s,80+,e} \right]^{-1} W_{y,s,80+,e}$$

Por otra parte, para la población entre 35 y 79 años, se supone que ya no están en el sistema educativo, por lo que no es necesario tener en cuenta la posibilidad que se muevan a niveles educativos superiores. En este caso, el capital humano de los individuos en este grupo de población se mediría como:

$$H_{y,s,a,e} = W_{y,s,a,e} + \frac{1+g}{1+\rho} \pi_{y,s,a+1,e} H_{y,s,a+1,e}$$

Por tanto, para los individuos en este grupo de edades, su capital humano es igual a los ingresos que obtienen en el año actual más la expectativa de capital humano en los años siguientes, teniendo en cuenta su edad, su tasa de supervivencia, la tasa de preferencia intertemporal y el crecimiento de los ingresos.

Para aquellos individuos entre 16 y 34 años, se supone que es posible formar parte del sistema educativo y, por tanto, año a año moverse a niveles educativos superiores. En este caso el capital humano de los individuos de este grupo sería:

$$H_{y,s,a,e} = W_{y,s,a,e} + \frac{1+g}{1+\rho} \pi_{y,s,a+1,e} [\lambda_{y,s,a,e} H_{y,s,a+1,e+1} + (1 - \lambda_{y,s,a,e}) H_{y,s,a+1,e}]$$

donde λ hace referencia a la tasa de escolarización. Una expresión similar obtendríamos para aquellos individuos entre 5 y 15 años, con la única diferencia de que sus ingresos serían igual a cero, por lo que todo su capital humano se derivaría de expectativas sobre sus futuros ingresos. Finalmente, se supone que los individuos en el grupo de edad entre 0 y 4 años no tienen opción de incorporarse al sistema educativo. Sería similar al grupo de edad anterior, pero con la diferencia de que su nivel educativo sería también nulo.

Tal y como podemos observar, en este método de cálculo del capital humano, la depreciación del mismo únicamente se produce por el fallecimiento de los individuos, si bien existe un proceso inversor adicional, dependiente de los nacimientos. Aplicando el método anterior, Jorgenson y Fraumeni (1989, 1992) y Christian (2010), obtienen que el stock de capital para los Estados Unidos es muy grande, más de 15 veces superior al stock de capital físico para el año 2006, teniendo en cuenta tanto el capital humano de mercado como el de no mercado, y en torno a 55 veces el PIB.

A.5. El método de Denison-Jorgenson-Griliches

Denison (1962, 1967) y Jorgenson y Griliches (1967) proponen un método alternativo a los anteriores, relativamente más complejo, siendo los primeros en estimar índices temporales de factor trabajo ajustados de calidad para Estados Unidos. La idea original fue desarrollada por Griliches (1957) y consiste en descomponer el factor trabajo en dos elementos: horas trabajadas y calidad de dichas horas o, equivalentemente, capital humano. Dicho índice puede calcularse para los distintos elementos que definen un tipo de trabajo determinado, tales como la edad, el sexo, el nivel educativo o de formación, el sector de actividad, etc. El método permite además cuantificar la aportación de cada uno de estos elementos al nivel de capital humano.

De nuevo el supuesto fundamental en que se basa este enfoque es que el nivel salarial para cada tipo de trabajador refleja su stock de capital humano.

Este método ha sido aplicado inicialmente por Waldorf (1973) y Tachibanaki (1976). Por ejemplo, Tachibanaki (1976) mide la calidad del trabajo para la economía japonesa para el periodo 1958-1970 usando datos sobre sexo, ocupación, tamaño de las empresas, educación, experiencia y edad, junto con datos de empleo (suponiendo que el número de horas trabajadas por trabajador permanece constante), calculando únicamente las interacciones de primer orden. Más recientemente disponemos de estimaciones del capital humano utilizando este método a partir de los trabajos de Jorgenson *et al.* (1987), Chinloy (1980), Ho and Jorgenson (1999) y Jorgenson (2004), entre otros.

Este procedimiento mide el stock de capital humano no como una variable monetaria, sino como un índice. La tasa de crecimiento del índice del factor trabajo (que incluye al capital humano) se calcularía como una media ponderada de las tasas de crecimiento de sus componentes:

$$\Delta \ln L_t = \sum_i \omega_{i,t} \Delta \ln L_{i,t}$$

Los pesos de las ponderaciones vienen dados por los porcentajes medios de sus componentes en relación a la compensación del factor trabajo, tal que:

$$\omega_{i,t} = 0,5(\phi_{i,t} + \phi_{i,t-1})$$

donde

$$\phi_{i,t} = \frac{W_{i,t}L_{i,t}}{\sum_i W_t L_t}$$

siendo $W_{i,t}$ el precio en términos de salario para cada uno de los tipos de trabajadores. El correspondiente índice de precios del factor productivo trabajo sería por tanto la ratio del valor de la compensación al trabajo, sobre el volumen de trabajo, tal que:

$$W_t = \frac{\sum_i W_{i,t}L_{i,t}}{L_t}$$

Para cuantificar el impacto de sustitución entre los diferentes tipos de factor trabajo suponemos que para cada categoría, $L_{i,t}$, es proporcional al número de horas trabajadas, $N_{i,t}$:

$$L_{i,t} = H_i N_{i,t}$$

donde las constantes de proporcionalidad, H_i , transforman horas trabajadas en un flujo de servicios del trabajo.

La tasa de crecimiento del índice translog de volumen del factor trabajo puede expresarse en términos de las tasas de crecimiento de sus componentes o, alternativamente, en términos del número de horas trabajadas:

$$\Delta \ln L_t = \sum_i \omega_{i,t} \Delta \ln L_{i,t} = \sum_i \omega_{i,t} \Delta \ln N_{i,t}$$

Finalmente, podemos definir el índice de calidad del factor trabajo, H_t , como una medida de la contribución de todos los elementos que componen el factor trabajo en términos del número de horas trabajadas:

$$H_t = \frac{L_t}{N_t}$$

donde

$$N_t = \sum_i N_{i,t}$$

es decir, es simplemente la suma no ponderada de las horas trabajadas.

La tasa de crecimiento de este índice de calidad puede expresarse como:

$$\Delta \ln H_t = \sum_i \omega_{i,t} \Delta \ln N_{i,t} - \Delta \ln N_t$$

A.5.1. Descomposición de los índices de calidad del trabajo

A continuación, analizamos los efectos sustitución entre los diferentes componentes del factor trabajo. En concreto, vamos a considerar la existencia de cuatro componentes: sexo (s), edad (a), educación (e) y sector productivo (i).

Por ejemplo, el índice parcial del volumen de factor trabajo correspondiente al componente sexo sería:

$$\Delta \ln L_t^s = \sum_s \omega_{s,t} \Delta \ln N_{s,t} = \sum_s \omega_{s,t} \Delta \ln \left[\sum_a \sum_e N_{ae,t} \right]$$

donde:

$$\omega_{s,t} = 0.5(\phi_{s,t} + \phi_{s,t-1})$$

$$\phi_{s,t} = \sum_a \sum_e \phi_{sae,t}$$

La contribución del sexo del trabajador a la calidad del trabajo, H_t^s , sería la diferencia entre las tasas de crecimiento del índice parcial de primer orden del factor trabajo y de las horas trabajadas:

$$\Delta \ln H_t^{sex} = \Delta \ln L_t^{sex} - \Delta \ln N_t$$

De la misma forma, podemos construir índices parciales de la calidad del trabajo en términos de la edad, nivel educativo y sector productivo:

$$\Delta \ln H_t^a = \Delta \ln L_t^a - \Delta \ln N_t$$

$$\Delta \ln H_t^e = \Delta \ln L_t^e - \Delta \ln N_t$$

$$\Delta \ln H_t^i = \Delta \ln L_t^i - \Delta \ln N_t$$

De forma adicional, podemos calcular la contribución de segundo orden de cada par de características. El índice de segundo orden captura la sustitución entre dos características. Así, por ejemplo, el índice de segundo orden que recoge la contribución del sexo y de la edad, mide el impacto de cambios en la distribución del sexo y de la edad sobre el crecimiento de la calidad del trabajo, excluyendo los efectos de primer orden de estas dos características. En ese caso definimos la tasa de crecimiento de la contribución de segundo orden como la diferencia entre las tasas de crecimiento del índice parcial corresponde al factor trabajo, menos la suma de las tasas de crecimiento de primer orden. Por ejemplo, en el caso de la contribución de segundo orden de sexo y edad, tendríamos:

$$\Delta \ln H_t^{s,a} = \Delta \ln L_t^{s,a} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^s - \Delta \ln H_t^a$$

o equivalentemente:

$$\Delta \ln H_t^{s,a} = (\Delta \ln L_t^{s,a} - \Delta \ln N_t) - (\Delta \ln H_t^s - \Delta \ln N_t) - (\Delta \ln H_t^a - \Delta \ln N_t)$$

En el caso en que únicamente tuviésemos en cuenta estos dos factores, sexo y edad, el cambio total en la calidad del trabajo (o progreso en términos del capital humano) vendría definido como:

$$\Delta \ln H_t = \Delta \ln H_t^{s,a} + \Delta \ln H_t^s + \Delta \ln H_t^a$$

En el caso de que tengamos los cuatro factores definidos arriba, tendríamos, de forma adicional al de sexo y edad, los siguientes índices de segundo orden:

$$\Delta \ln H_t^{s,e} = \Delta \ln L_t^{s,e} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^s - \Delta \ln H_t^e$$

$$\Delta \ln H_t^{s,i} = \Delta \ln L_t^{s,i} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^s - \Delta \ln H_t^i$$

$$\Delta \ln H_t^{e,a} = \Delta \ln L_t^{e,a} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^e - \Delta \ln H_t^a$$

$$\Delta \ln H_t^{e,i} = \Delta \ln L_t^{e,i} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^e - \Delta \ln H_t^i$$

$$\Delta \ln H_t^{a,i} = \Delta \ln L_t^{a,i} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^a - \Delta \ln H_t^i$$

En una clasificación en términos de cuatro factores como la que estamos usando (sexo, edad, educación y sector productivo), pueden calcularse los efectos hasta

de cuarto orden. Los efectos de tercer orden, que capturan la sustitución entre tres características (excluyendo los efectos de primer y segundo orden), serían los siguientes:

$$\Delta \ln H_t^{s,a,e} = \Delta \ln L_t^{s,a,e} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^{s,a} - \Delta \ln H_t^{s,e} - \Delta \ln H_t^{a,e} - \Delta \ln H_t^s - \Delta \ln H_t^a - \Delta \ln H_t^e$$

$$\Delta \ln H_t^{s,a,i} = \Delta \ln L_t^{s,a,i} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^{s,a} - \Delta \ln H_t^{s,i} - \Delta \ln H_t^{a,i} - \Delta \ln H_t^s - \Delta \ln H_t^a - \Delta \ln H_t^i$$

$$\Delta \ln H_t^{s,e,i} = \Delta \ln L_t^{s,e,i} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^{s,e} - \Delta \ln H_t^{s,i} - \Delta \ln H_t^{e,i} - \Delta \ln H_t^s - \Delta \ln H_t^e - \Delta \ln H_t^i$$

$$\Delta \ln H_t^{a,e,i} = \Delta \ln L_t^{a,e,i} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^{a,e} - \Delta \ln H_t^{a,i} - \Delta \ln H_t^{e,i} - \Delta \ln H_t^a - \Delta \ln H_t^e - \Delta \ln H_t^i$$

Por último, el efecto de cuarto orden sería:

$$\begin{aligned} \Delta \ln H_t^{s,a,e,i} &= \Delta \ln L_t^{s,a,e,i} - \Delta \ln N_t - \Delta \ln H_t^{s,a,e} - \Delta \ln H_t^{s,a,i} - \Delta \ln H_t^{s,e,i} - \Delta \ln H_t^{a,e,i} \\ &\quad - \Delta \ln H_t^{s,a} - \Delta \ln H_t^{s,e} - \Delta \ln H_t^{s,i} - \Delta \ln H_t^{a,e} - \Delta \ln H_t^{a,i} - \Delta \ln H_t^{e,i} \\ &\quad - \Delta \ln H_t^s - \Delta \ln H_t^a - \Delta \ln H_t^e - \Delta \ln H_t^i \end{aligned}$$

En este caso, la variación en la calidad del factor trabajo sería:

$$\begin{aligned} \Delta \ln H_t &= \Delta \ln L_t^{s,a,e,i} - \Delta \ln N_t = \\ &\quad \sum_{j=1}^4 \Delta \ln H_t^j + \sum_{j=1}^4 \sum_{z=j+1}^4 \Delta \ln H_t^{j,z} + \sum_{j=1}^4 \sum_{z=j+1}^4 \sum_{k=j+1}^4 \Delta \ln H_t^{j,z,k} + \Delta \ln H_t^{s,a,e,i} \end{aligned}$$

Por tanto, los cambios en la calidad del factor trabajo se obtienen como la suma de los efectos de cada elemento y de su interacción con los restantes elementos que definen las características de los trabajadores.

A.6. El método de Mulligan y Sala-i-Martin

Mulligan y Sala-i-Martin (1997) proponen usar un método de medición de capital humano basado en el ingreso salarial relativo, pero atendiendo únicamente al nivel de educación o cualificación de los trabajadores. La idea, al igual que en los restantes métodos, es que el producto marginal de los trabajadores es igual a su salario. De este modo, el parámetro de eficiencia de cada trabajador puede aproximarse por el salario relativo. En concreto, suponen que dicho parámetro de productividad es igual al ratio entre el salario de un trabajador dado un determinado nivel educativo en relación al salario de un trabajador que no tiene ningún nivel educativo.

Sin embargo, el salario de los trabajadores también depende del resto de factores productivos existentes en la economía. Así, los salarios también reflejan el stock de capital físico existente y la tecnología asociada al mismo, al margen del nivel de cualificación de los trabajadores. Con objeto de eliminar estos efectos del resto de factores productivos sobre el salarios de los trabajadores, Mulligan y Sala-i-Martin

(1997, 2000) proponen dividir el salario de cada trabajador por el salario de los trabajadores que tienen un nivel de cualificación nulo. En este caso la medida de capital humano es una medida ponderada de todos los trabajadores, donde los pesos vienen dados por el salario relativo respecto a un trabajador que no tienen ningún capital humano.

El supuesto que subyace a este método es que el salario de un trabajador con un determinado nivel de cualificación tiene dos componentes. El primero depende de la cualificación individual del trabajador. El segundo, depende de la cantidad de otros factores productivos existentes en la economía. Así, para un determinado nivel de cualificación, la productividad de este trabajador depende de la cantidad de capital, dada la complementariedad existente entre ambos factores productivos.

El stock de capital humano se calcularía como:

$$H_t = \sum_{e=1}^n \theta_{e,t} N_{e,t} \quad (30)$$

donde

$$\theta_{e,t} = \frac{W_{e,t}}{W_{0,t}} \quad (31)$$

siendo $W_{0,t}$ el salario de un trabajador con nulo nivel de cualificación o capital humano y $W_{e,t}$ el salario de un trabajador con un nivel educativo e .

La principal ventaja de esta medida es que es consistente con elasticidades de sustitución entre trabajadores de distinto tipo que pueden variar en el tiempo. No obstante, tal y como reconocen Mulligan y Sala-i-Martin (2000) esta medida también tiene algunos problemas. En concreto, los trabajadores con nula cualificación son considerados como el numerario, por lo que su nivel de cualificación siempre es el mismo. Además estos trabajadores son perfectamente sustitutivos de todos los restantes tipos. Por otra parte, al utilizarse como medida de ponderación el salario relativo, la medida de capital humano que se obtiene no viene dada en valores monetarios, sino que es un índice. Jeong (2002) aplica el método de Mulligan y Sala-i-Martin, pero utilizando el salario de los trabajadores en la industria con el objeto de poder realiza comparaciones a nivel internacional.

A.7. El método basado en los retornos a la educación de Bils-Klenow

Bils y Klenow (2000) desarrollan un método basado en la estimación de los retornos a la educación a partir de la ecuación de Mincer (1974). Mincer (1974) propone estimar una ecuación que relaciona el salario de un individuo con un conjunto de características del mismo, básicamente con los años de escolarización y su experiencia laboral.

Se trata de un método que tiene dos etapas. En la primera etapa se usan los salarios como una medida de la productividad, y dichos salarios se regresan sobre las

características de los trabajadores. Se trata de aplicar el método de Mincer (1974) para estimar el retorno de las características de los trabajadores. En concreto, se estima la siguiente ecuación:

$$\ln W_i = a + bA_i + \varepsilon_i$$

donde W_i es el salario y A_i es el número de años de estudio de un trabajador.⁹

El stock de capital humano vendría dado por:

$$H_t = \exp(\theta_t N_t) \tag{32}$$

donde θ_t refleja la eficiencia de los trabajadores que tienen un determinado nivel educativo e , respecto a aquellos que no tienen ninguna educación. En su versión más simple este parámetro de eficiencia vendría dado por:

$$\theta_t = bA_t = \sum_{e=1}^n bA_{e,t} \tag{33}$$

siendo b el ratio de retorno de la inversión en educación el cual es el mismo para los diferentes niveles educativos, dada la especificación log-lineal entre ingresos y número de años de estudio (que implica la existencia de rendimientos constantes en la educación). No obstante, también es posible que la ratio de retorno de la inversión en educación sea diferente para los distintos niveles educativos (debido a la posible existencia de rendimientos decrecientes en la educación), por lo que en este caso tendríamos:

$$\theta_t = \sum_{e=1}^n b_{e,t} A_{e,t} \tag{34}$$

Wößmann (2003) considera que la anterior medida únicamente está basada en la cantidad de educación, no teniendo en cuenta las posibles diferencias respecto a la calidad de la misma. Este elemento es fundamental cuando se trata de realizar comparaciones a nivel internacional, donde los sistemas educativos de diferentes países pueden tener niveles muy distintos de calidad. Con objeto de tener en cuenta estas posibles diferencias en calidad, Wößmann (2003) modifica la expresión anterior introduciendo un índice de calidad educativa basado en los resultados de Hanushek y Kimko (2000).

A.8. Otros métodos

La revisión de los diferentes métodos propuestos para la medición del capital humano realizada anteriormente no es del todo exhaustiva, existiendo enfoques alternativos a los anteriores pero que han tenido un impacto más limitado en la literatura sobre el

⁹Bils y Klenow (2000) también incluyen en dicha regresión la experiencia potencial, medida como la edad del individuo menos el número de años en el sistema educativo más 6 años.

tema. No obstante, no deja de resultar de cierto interés realizar una revisión, aunque muy somera, de los mismos.

En primer lugar, podemos destacar el enfoque propuesto por Wittstein (1867), el cual combina el método desarrollado por Engel con el de Farr, es decir, una combinación del método del coste de producción con el método de los ingresos a lo largo del ciclo vital. Nicholson (1891) también utiliza un método similar, si bien estos enfoques híbridos no tienen relevancia empírica en la actualidad.

Otro método alternativo es el desarrollado por Tao y Stinson (1997), que también desarrollan un enfoque híbrido al combinar los métodos de coste con los de ingresos. Estos autores establecen una relación entre capital humano e ingresos, procediendo a la estandarización del stock de capital humano de los trabajadores que recién se han incorporado al mercado de trabajo (y para los cuales la experiencia es nula). Así, se supone que la dotación de capital humano de estos nuevos trabajadores es igual al gasto acumulado de su educación. A partir de esta estimación de capital humano y usando los niveles salariales, puede estimarse el capital humano del resto de trabajadores.

Dagum (1994) y Dagum y Slottje (2000) proponen un enfoque a partir del método de los ingresos a lo largo del ciclo vital desarrollado por Jorgenson y Fraumeni, considerando la dotación de capital humano de los individuos como una variable endógena latente. La principal ventaja de este método es que es posible estimar el valor del capital humano de cada individuo, si bien estos resultados también presentan sesgos, derivados del hecho de que no se dispone de información sobre el nivel de inteligencia o habilidad innata de los mismos, al tiempo que dependen de los supuestos acerca de la distribución del capital humano entre la población.

Por último, Macklem (1997) propone un enfoque diferente utilizando un modelo VAR (Vector Autorregresivo). Para ello estiman un VAR bivalente para el tipo de interés real y el crecimiento de los ingresos salariales netos del gasto público, con el objeto de obtener valores esperados (predicciones) de estas variables. A partir de estas estimaciones calculan el capital humano como el valor presente esperado de los ingresos salariales netos de gasto público.

Apéndice B: Procedimiento para la estimación del progreso tecnológico específico a la inversión

En este apéndice vamos a describir con mayor detalle las implicaciones y el procedimiento para estimar el progreso tecnológico específico a la inversión. En concreto, vamos a comenzar describiendo la importancia de calcular el proceso inversor ajustado por la calidad, dada que esta ha aumentado significativamente en las últimas décadas en los bienes de equipo así como en los bienes de consumo duradero, que lo que alterado significativamente los precios relativos respecto a los bienes de consumo no duradero. A continuación describimos el método utilizado para calcular el progreso tecnológico específico a la inversión para la economía andaluza. Para ello partimos de los precios de la inversión ajustados por calidad para los Estados Unidos y, utilizando la ley de un precio podemos calcular dichos precios de la inversión ajustados por calidad para la economía andaluza.

B.1. Las TIC y la importancia de ajustar la calidad

Uno de los problemas al que nos enfrentamos a la hora de cuantificar el efecto de las TIC sobre el crecimiento económico es cómo medir el progreso tecnológico que va asociado al proceso de inversión e incorporación de nuevos activos de capital más avanzados tecnológicamente que los ya existentes. En concreto, el principal inconveniente es cómo medir el progreso tecnológico incorporado en los nuevos activos de capital. Tal y como apunta Jorgenson (2002), este progreso tecnológico puede ser observado en términos de una mejora en el funcionamiento de estos activos de capital, tal que los hacen más eficientes, y no en términos de una disminución en el precio nominal de dichos activos de capital. Para ilustrar este fenómeno, volvamos al ejemplo de los ordenadores. Está claro que el funcionamiento de los ordenadores ha progresado de forma espectacular, tanto en cuanto a velocidad de procesamiento de datos como a capacidad de almacenamiento de información, amén de otros avances que han supuesto la incorporación de innovaciones no existentes en versiones anteriores. Sin embargo, en términos nominales el precio de un ordenador personal tipo ha cambiado muy poco en los últimos 10 años. Lo mismo es aplicable a otros bienes o activos de capital, cuyo precio no disminuye significativamente sino que se mantienen en términos relativos pero aumentan sus prestaciones.

Sin embargo, si calculamos el precio de los ordenadores en términos reales, es decir, calculando su precio ajustado por su calidad (por ejemplo, en términos de su capacidad de cálculo), nos encontramos con que su precio ha disminuido considerablemente, en torno a un 30% por año (Jorgenson, 2002). A esto es lo que se denominan precios hedónicos, que resultan fundamentales para poder cuantificar el progreso tecnológico implícito en los nuevos activos de capital. Este problema no existiría si los activos de capital y bienes duraderos fuesen homogéneos en el tiempo, es decir, presentasen las mismas características y, por tanto, su nivel de eficiencia fuese constante. Sin embargo, estos bienes duraderos y activos de capital no presentan

características homogéneas en el tiempo, precisamente debido a que experimentan avances tecnológicos que van incorporados en los mismos. Esto significa que su precio no es comparable en el tiempo, de ahí la necesidad de utilizar precios hedónicos, que tienen en cuenta el cambio en la calidad que se produce a lo largo del tiempo.

La disminución en el precio ajustado de calidad del resto de activos de capital, tales como maquinaria y equipos de transporte, ha sido mucho menor que la ocurrida en las TIC, pero aún evidencian la existencia de progreso tecnológico. Esto significa que el precio del capital está disminuyendo con el tiempo, en la medida en la que se produce progreso tecnológico implícito a estos activos. Estas disminuciones en el precio de los activos de capital resultan cruciales para explicar el actual proceso inversor en las economías y sus consecuencias en términos de productividad y competitividad.

Por tanto, cuando se estiman las series del stock de capital de una economía es necesario tener presente el cambio de la calidad incorporado. Las nuevas incorporaciones en el fondo de capital pueden acarrear mejoras tecnológicas, de manera que dos unidades de un activo adquiridas en dos momentos de tiempo tienen una aportación distinta a la producción. Los precios nominales, por tanto, no sirven para deflactar las series del gasto de inversión.

Ilustremos este problema con un ejemplo sencillo volviendo al caso de los ordenadores. Supongamos que desde hace 5 años el precio de un ordenador de mesa con unas prestaciones comunes (velocidad, capacidad de almacenamiento, modem, puertos USB, etc.) ha sido de 1.200 euros. Si recopilamos el gasto que realizan las familias y las empresas en ordenadores de ese tipo durante esos cinco años, obtendríamos una medición de la inversión nominal en ese activo. Si queremos expresar esa serie en términos reales, es decir, en términos de las unidades de ordenador adquiridas en cada año a lo largo del quinquenio, podríamos dividir la serie nominal por su precio, 1.200 euros. Esto no es correcto en la medida que los ordenadores hayan mejorado su calidad, es decir, las prestaciones y servicios derivados de su uso. En efecto, es fácil ver que la calidad de la mayoría de los productos informáticos aumenta de un año a otro, por lo que la misma cantidad de euros invertida en dos periodos de tiempo proporciona bienes con distinta utilidad.

Este aspecto es especialmente obvio cuando se trata de los activos TIC, razón por la cual desde los años 80 los institutos de estadísticas oficiales se han preocupado de ajustar los cambios en la calidad de estos activos. Así empezó haciéndolo el Bureau of Economic Analysis (BEA) en los EEUU, y así han seguido las respectivas agencias de países como Alemania, Reino Unido y Japón. El coste de no hacer este ajuste, aparte de lo que ya hemos sugerido en el ejemplo, es crucial de cara a entender la dinámica económica agregada: puede haber sesgos en la estimación del crecimiento económico (a la baja) o de la inflación (al alza). Y este asunto, entre otras cosas, puede llevar a interpretaciones o decisiones de política económica muy errabundas.

Las estadísticas realizadas para España por Ivie-BBVA han recogido esta preocupación (Mas y Quesada, 2006), pero de una forma parcial. De una parte se reconoce la necesidad de deflactar las series de inversión nominal usando unos precios que tengan ajustada la calidad. Esta deflación se realiza armonizando para

España los deflatores TIC del BEA corregidos por la calidad, mediante un método propuesto por Schreyer (2002), basado en la ley del precio único. Dada la carencia de una estimación propia para España de estos deflatores, es la mejor opción que se puede hacer, toda vez que estos equipos TIC son bienes comerciables (i.e. pueden exportarse o importarse, y están expuestos al comercio exterior). Pero de otra parte, sólo se hace para activos TIC. Los activos no-TIC no están ajustados por la calidad.

Los resultados de utilizar o no precios hedónicos no son inocuos y revelan que, de no producirse el ajuste de la calidad, se deja de tener en cuenta una importante fuente de progreso tecnológico incorporada en activos no TIC, lo cual hace que la cuantificación de la contribución al crecimiento económico de los diferentes activos de capital y en concreto de las TIC puedan estar sesgados.

B.2. Precios de inversión ajustados por calidad para los Estados Unidos

La información de partida que utilizamos para calcular el progreso tecnológico específico a la inversión son los datos de precios de inversión ajustados por calidad, para todos los activos, que únicamente están disponibles para los Estados Unidos. Estas series de inversión ajustadas por calidad, disponibles par el periodo 1947-2000, han sido elaboradas por Cummins y Violante (2002), que denominamos $q_{j,t}^{CV}$, donde el subíndice hace referencia al tipo de activo j . Estas series no incluyen a las estructuras, dado que se supone que no experimentan cambios en su calidad e incluyen un total de 26 activos, que agrupamos en seis categorías tal y como se hace en la base de datos EU KLEMS. En concreto las agregaciones son las siguientes:

1. **Equipos de hardware** que incluye tres tipos de activos, (a) Ordenadores y periféricos, (b) Instrumentos y fotocopiadoras y (c) Otros equipos de oficina.
2. **Equipos de comunicación.**
3. **Software** que incluye tres activos: (a) Software empaquetado, (b) Software de desarrollo específico y (c) Software de desarrollo propio.
4. **Equipos de transporte** que incluye (a) Furgonetas, camiones y autobuses, (b) Automóviles, (c) Aviones, (d) Barcos, y (d) Equipos de transporte ferroviario.
5. **Maquinaria** incluyendo (a) Productos metálicos, (b) Motores y turbinas, (c) Maquinaria metalúrgica, (d) Maquinaria especial, (e) Industria general de equipos y (f) Generación y distribución de energía eléctrica.
6. **Otros equipos** que incluyen (a) Mobiliario, (b) Tractores, (c) Maquinaria agrícola, (d) Maquinaria de construcción, (e) Maquinaria minera, (f) Maquinaria del sector servicios, (g) Equipos eléctricos y (h) Otros equipos.

El primer paso consiste en agregar los 26 activos iniciales en las 6 categorías anteriores. Para ello usamos un agregador de precios de Törnqvist, donde utilizamos

como ponderaciones las tasas de crecimiento medias de los precios de inversión por activo j , $q_{i,j,t}$:

$$\gamma(q_{i,t}) = \sum_j 0.5 (s_{i,j,t} + s_{i,j,t-1}) \gamma(q_{i,j,t}), \quad (35)$$

$$\gamma(q_{i,j,t}) = \ln(q_{i,j,t}/q_{i,j,t-1}),$$

donde $s_{i,j,t}$ es la ratio de inversión nominal del activo j en el año t . El nivel de precios ajustados por calidad del total de la inversión puede calcularse de forma recursiva como,

$$q_{i,t} = q_{i,t-1} \exp[\gamma(q_{i,t})], \quad (36)$$

with $i = 1, 2, \dots, 6$.

Finalmente, extendemos la base de datos de Cummins-Violante desde el año 2000 hasta 2008, usando el mismo procedimiento que utilizan dichos autores para extender las series de precios de Gordon (1990), a través de la siguiente regresión:

$$\ln(q_{j,t}^{CV}) = b_{j,0} + b_{j,1} \ln(q_{j,t}^{NIPA}) + b_{j,2} \ln(q_{j,t-1}^{NIPA}) + b_{j,2}t + b_{j,3} \Delta \ln(y_{t-1}) + e_{j,t}, \quad (37)$$

donde $q_{j,t}^{CV}$ son las series de precios ajustadas por calidad de Cummins-Violante para el activo j , $q_{j,t}^{NIPA}$ es el nivel de precios NIPA para el activo j , y $\Delta \ln(y_{t-1})$ es el valor retrasado de la tasa de crecimiento del PIB de Estados Unidos. Dicha regresión la estimamos usando MCO y usando los valores estimados de los parámetros, los precios NIPA de los diferentes activos y el crecimiento del PIB, extendemos las series hasta 2008. Los resultados obtenidos aparecen en la siguiente tabla:

Tabla A: Estimación MCO de los precios ajustados por calidad

Variable	Hardware $\ln(q_{hard,t}^{CV})$		Eq. comunicación $\ln(q_{com,t}^{CV})$		Software $\ln(q_{soft,t}^{CV})$	
Constante	2.23	(4.47)	2.48	(12.53)	-0.44	(34.20)
$\ln(q_{i,t}^{NIPA})$	0.90	(4.43)	5.63	(6.84)	0.68	(6.18)
$\ln(q_{i,t-1}^{NIPA})$	-0.56	(3.20)	-4.02	(4.43)	0.56	(5.01)
$t \times 100$	-6.34	(4.16)	-7.13	(11.87)	1.22	(38.76)
$\Delta \ln(y_{t-1})$	-1.13	(1.52)	1.54	(1.59)	0.12	(0.79)
\bar{R}^2	0.99		0.94		0.98	

Variable	Eq. transporte $\ln(q_{trans,t}^{CV})$		Maquinaria $\ln(q_{mach,t}^{CV})$		Otros equipos $\ln(q_{other,t}^{CV})$	
Constante	1.68	(19.30)	1.48	(14.59)	0.88	(16.48)
$\ln(q_{i,t}^{NIPA})$	0.94	(4.65)	0.99	(6.02)	1.22	(10.81)
$\ln(q_{i,t-1}^{NIPA})$	0.37	(1.81)	0.19	(1.14)	-0.11	(1.02)
$t \times 100$	-3.63	(19.29)	-3.19	(14.58)	-1.92	(16.39)
$\Delta \ln(y_{t-1})$	-0.13	(0.45)	0.25	(0.95)	-0.15	(0.90)
\bar{R}^2	0.96		0.98		0.99	

B.3. Precios de inversión ajustados de calidad para Andalucía

A continuación, y partiendo de las series obtenidas anteriormente, procedemos a calcular los precios de inversión ajustados de calidad para el caso de la economía andaluza. Para ello utilizamos la metodología propuesta por Schreyers (2002), en un principio, para adaptar precios de los activos TIC corregidos por calidad para Estados Unidos para el resto de países, para los cuales no se dispone de esta información. Este procedimiento es el que ha utilizado la base de datos EU KLEMS para construir series de precios ajustadas por calidad para la inversión en este tipo de activos para los países europeos. La idea es que estos activos son perfectamente comercializables a nivel internacional, por lo que debería cumplirse la ley de un precio. En nuestro caso consideramos que la ley de un precio se cumple para todos los activos de capital considerados, excepto en el caso de estructuras. Por tanto, bajo este supuesto podemos construir series de activos de capital para la economía andaluza como:

$$q_{j,t}^{And} = \frac{P_t^{And}}{P_t^{USA}} q_{j,t}^{USA}, \quad (38)$$

para $j = 1, \dots, 6$, donde $\{P_t^{And}, P_t^{USA}\}$ son los deflatores del PIB de Andalucía y Estados Unidos, respectivamente, y $q_{j,t}^{USA}$ es el índice de precios ajustado por calidad para los diferentes activos j ($= 1, \dots, 6$) para Estados Unidos. La expresión anterior es una versión particular de la ley de un precio, donde los deflatores relativos se utilizan como una proxy del tipo de cambio. El valor agregado final dependerá no solo de los deflatores relativos sino de la composición de la inversión por tipo de activo.

References

- [1] Aaronson, D. y Sullivan, D. (2001): Growth in worker quality. *Economic Perspectives*, Federal Reserve Bank of Chicago.
- [2] Barro, R. y Lee, W. (1993): International comparisons of educational attainment. *Journal of Monetary Economics*, 32, 363-394.
- [3] Becker, G. (1962): Investment in human capital: A theoretical analysis. *Journal of Political Economy*, 70, 9-49.
- [4] Becker, G. (1964): *Human capital*. Columbia University Press: New York.
- [5] Bell, V., Burriel, P. and Jones, J. (2005): A quality-adjusted labour input series for the United Kingdom (1975-2002). *Bank of England Working Paper*, n. 280.
- [6] Bils, M. y Klenow, P. (2000): Does schooling cause growth? *American Economic Review*, 90, 1160-1183.
- [7] Brandolini, A. y Cipollone, P. (2001): Multifactor productivity and labour quality in Italy, 1981-2000. *Temi di discussione, Banca d'Italia*.

- [8] Bureau of Labor Statistics (1993): Labor composition and US productivity growth, 1948-1990. *Bureau of Labor Statistic Bulletin*, 2426.
- [9] Card, D. and Freeman, R. (2002): What have two decades of British economic reform delivered? *National Bureau of Economic Research Working Paper*, n. 8801.
- [10] Chinloy, P. (1980): Sources of quality change in labor input. *American Economic Review*, 70(1), 108-119.
- [11] Christian, M. (2010): Human capital accounting in the United States: 1994 to 2006. University of Winconsin.
- [12] Colecchia, A. y P. Schreyer (2002): ICT investment and economic growth in the 1990's: Is the United States a unique case? A comparative study of nine OECD countries. *Review of Economic Dynamics*, 5(2): 408-442.
- [13] Dagum, C. (1994): Human capital, income and wealth distribution models and their applications to the USA. *Proceedings of the American Statistical Association, Business and Economic Section*, 253-258.
- [14] Dagum, C. y Slottje, D. (2000): A new method to estimate the level and distribution of household human capital with application. *Structural Change and Economic Dynamics*, 11(2), 67-94.
- [15] Daveri, F. (2000): Is growth an information technology story in Europe too?. Università di Parma y IGIER.
- [16] Denison, E.F. (1962): *The sources of economic growth in the United States and the alternative before us*. Supplementary Paper Núm. 13, Nueva York. Committee for Economic Development.
- [17] Denison, E.F. (1967): *Why growth rate differ*. The Brookings Institution. Washington.
- [18] Dublin, L. y Lotka, A. (1930): *The Money Value of a Man*. Ronald Press: New York.
- [19] Eisner, R. (1985): The total incomes system of accounts. *Survey of Current Business*, 61(1), 24-48.
- [20] Farr, W. (1853): Equitable taxaton of property. *Journal of the Royal Statistics Society*, 16, 1-45.
- [21] Gollop, F.M. y Jorgenson, D.W. (1980): U.S. productivity growth by industry, 1947-1973, en Kendrick, J. y Vaccara, B. (eds.), *New Developments in Productivity Measurement and Analysis*. Chicago: University of Chicago Press.

- [22] Goldin, Claudia y Katz, L. (1998): The origins of technology-skill complementarity. *Quarterly Journal of Economics*, 113(3), 693-732.
- [23] Gordon, R. (1990): *The Measurement of Durable Goods Prices*. NBER.
- [24] Graham, J. y Webb, R. (1979): Stock and depreciation of human capital: New evidence from a present-value perspective. *Review of Income and Wealth*, 25(2), 209-224.
- [25] Griliches, Z. (1957): Specification bias in estimates of production function. *Journal of Farm Economics*, 39(1), 8-20.
- [26] Greenwood, J., Hercowitz, Z. y Krusell, P. (1997): Long-run implication of investment-specific technological change, *American Economic Review*, 87, 342-362.
- [27] Greenwood, J., Hercowitz, Z. y Krusell, P. (2000): The role of investment-specific technological change in the business cycle, *European Economic Review*, 44, 91-115.
- [28] Hanushek, E. y Kimko, D. (2000): Schooling, labour-force quality, and the growth of nations. *American Economic Review*, 90(5), 1184-1208.
- [29] Ho, M.S. y Jorgenson, D.W. (1999): The quality of the U.S. work force, 1948-95. Manuscript.
- [30] Hornstein, A. y Krusell, P. (1996): Can technology improvements cause productivity slowdowns? *NBER Macroeconomics Annual 1996*, 209-259.
- [31] Jorgenson, D.W. (2003): Information technology and the G7 economies. *World Economics*, 4(4), 139-169.
- [32] Jorgenson, D.W. and Griliches, Z. (1967): The explanation of productivity change. *Review of Economic Studies*, 34, 249-280.
- [33] Jorgenson, D.W., Gollop, F.M. y Fraumeni, B.M. (1987): *Productivity and U.S. economic growth*. Harvard University Press: Cambridge.
- [34] Kendrick, J. (1976): *The Formation and Stocks of Total Capital*. Columbia University Press: New York.
- [35] Kiker, B. (1966): The historical roots of the concept of human capital. *Journal of Political Economy*, 74, 481-499.
- [36] Krusell, P., Ohanian, L., Ríos-Rull, J. y Violante, G. (2000): Capital-Skill complementarity and inequality: A macroeconomic analysis. *Econometrica*, vol. 68, 1029-1054.

- [37] Kyriacou, G. (1992): A cross-country estimation of an aggregate production function with human capital. Central Bank of Cyprus, Working Paper.
- [38] Lau, E. (2002): Skills and productivity: developing new measures. The Office for National Statistics.
- [39] Lau, L., Jamison, D., y Louat, F. (1991): Education and productivity in developing countries: An aggregate production function approach. World Bank Working Paper Series, n. 612.
- [40] Macklem, R.T. (1997): Aggregate wealth in Canada. *Canadian Journal of Economics*, 30(1), 152-168.
- [41] Mas, M., Pérez-García F. y Uriel, E. (2007): *El stock de capital en España y su distribución territorial (1964-2005)*. Fundación BBVA, Bilbao.
- [42] Mas, M. y Quesada, J. (2005): *Las nuevas tecnologías y el crecimiento económico en España*. Fundación BBVA, Bilbao.
- [43] Mas, M. y Quesada, J. (2006): The role of ICT in the Spanish productivity slowdown. Fundación BBVA Documentos de Trabajo 5.
- [44] Melka, J. y Nayman, L. (2004): Labour quality and skill biased technological change in France. Manuscript.
- [45] Mincer, J. (1974): *Schooling, experience and earnings*. Columbia University Press.
- [46] Mulligan, C. y Sala-i-Martin (1997): A labor income-based measure of the value of human capital: An application to the states of the United States. *Japan and the World Economy*, 9, 159-191.
- [47] Mulligan, C. y Sala-i-Martin (2000): Measuring aggregate human capital. *Journal of Economic Growth*, 5, 215-252.
- [48] Nehru, V., Swanson, E. y Dubey, A. (1995): A new database on human capital stock in developing and industrial countries: Sources, methodology, and results. *Journal of Developments Economics*, 46(2), 379-401.
- [49] Nicholson, J. (1891): The living capital of the United Kingdom. *Economic Journal*, 1(1), 95-107.
- [50] OECD (2001a): *Measuring capital. A manual on the measurement of capital stocks, consumption of fixed capital and capital services*, Paris, OECD.
- [51] OECD (2001b): *OECD productivity manual: a guide to the measurement of industry-level and aggregate productivity growth*, Paris, OECD.

- [52] O'Mahony, M. y de Boer, W. (2002): Britain's relative productivity performance: updates to 1999. National Institute of Economic and Social Research.
- [53] Petty, W. (1690): *Political Arithmetick*. Reimpreso en The economic writing of Sir William Petty, por C. Hull (1899). Cornell University.
- [54] Romer, P. (1990): Human capital and growth: theory and evidence. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 32(1), 251-286.
- [55] Samaniego, R. M. (2006): Organizational capital, technology adoption and the productivity slowdown, *Journal of Monetary Economics*, 53, 1555-1569.
- [56] Schwerdt, G. y Turunen, J. (2006): Growth in euro area labour quality. *European Central Bank Working Paper Series*, n. 575.
- [57] Schultz, T. (1961): Investment in human capital. *American Economic Review*, 51, 1-17.
- [58] Schultz, T. (1963): *The economic value of education*. Columbia University Press: New York.
- [59] Solow, R. M. (1956): A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70 (1), 65-94.
- [60] Solow, R. M. (1957): Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, 39 (3), 312-320.
- [61] Solow, R. M. (1960): Investment and technical progress, en J. A. Kenneth, S. Karlin y P. Suppes (eds.), *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford: Stanford University Press.
- [62] Solow, Robert M.: Manufacturing Matters, *New York Times Book Review* (July 12, 1987), 36.
- [63] Schreyer, P. (2004): Measuring multi-factor productivity when rates of return are exogenous, paper presented at the SSHRC International Conference on index number theory and the measurement of prices and productivity, Vancouver.
- [64] Stiroh, K: (2002): Information technology and U.S. productivity revival: What do the industry data say?. *American Economic Review*, 92 (5), 1559-1576.
- [65] Timmer, M., Ypma y van Ark, B. (2003): IT in the European Union: Driving Productivity Divergence?. *GGDC Research Memorandum* GD-67.
- [66] Timmer, M. y Van Ark, B. (2005): Does information and communication technology drive EU-US productivity growth differentials?. *Oxford Economic Papers*, 57 (4), 693-716.

- [67] Tachibanaki, T. (1980): Quality change in labor input: Japanese manufacturing. *Review of Economics and Statistics*, 50 (3), 293-299.
- [68] Tao, H. y Stinson, T. (1997): An alternative measure of human capital stock. *University of Minnesota Economic Development Center Bulletin*, 97/01.
- [69] Timmer, M., O'Mahony, M. y van Ark, B. (2007): EU KLEMS growth and productivity accounts: Overview November 2007 Release. www.euklems.net
- [70] Waldorf, W.H. (1973): Quality of labor in manufacturing. *Review of Economics and Statistics*, 55 (3), 284-290.
- [71] Weisbrod, B. (1961): The valuation of human capital. *Journal of Political Economy*, 69(5), 425-436.
- [72] Wickens, C.H. (1924): *Human Capital*. Report for the Sixteenth Meeting of the Australasian Association for the Advancement of Science. Wellington: Government Printer.
- [73] Wittstein, T. (1867): *Mathematische Statistik und deren Anwendung auf National-Ökonomie und Versicherungswissenschaft*. Hanover.
- [74] Wößmann, L. (2003): Specifying human capital. *Journal of Economic Surveys*, 17(3), 239-270.