

Crecimiento económico con progreso técnico incorporado¹

Jorge Durán
ECARES
Université Libre de Bruxelles

Omar Licandro
FEDEA y Department of Economics
European University Institute

Luis Puch
FEDEA, ICAE y Departamento de Economía Cuantitativa
Universidad Complutense de Madrid

Resumen

La caída sostenida del precio de los bienes de equipo, relativo al de los bienes de consumo, se interpreta como una manifestación de progreso técnico incorporado (PTI). En este artículo revisaremos la metodología de la medición del crecimiento y veremos que la presencia de PTI nos obliga a reconsiderar qué identificamos con crecimiento real y cómo medimos la contribución del PTI a ese crecimiento real. Estas reflexiones nos permitirán arrojar luz sobre la llamada controversia de Solow-Jorgenson.

Palabras clave: medición del crecimiento, progreso técnico incorporado, índices de cantidad.
Clasificación JEL: C43, D91, O41, O47.

Abstract

The falling price of capital goods relative to consumption goods has been interpreted as a symptom of the role of embodied technical progress (ETP). In this paper we review the framework for growth accounting and we show that the presence of ETP leads to reconsider how to identify real growth and how to measure the contribution of ETP to real output growth. This discussion will help to clarify the so-called Solow-Jorgenson embodiment controversy.

Keywords: growth accounting, embodied technical progress, quantity indexes.
JEL classification: C43, D91, O41, O47.

¹ Los autores desean agradecer los comentarios recibidos de Gustavo Marrero y Javier Ruiz-Castillo. Jorge Durán agradece su hospitalidad al IRES, Université catholique de Louvain, centro que visitaba durante la elaboración de este artículo. Licandro y Puch agradecen la ayuda financiera de Ministerio de Educación y Ciencia, SEJ2004-0459/ECON. Puch agradece la financiación de la Fundación Ramón Areces. Este trabajo constituye un proyecto MAPMU financiado por la Comisión Europea.

1. Introducción

Lo que llamamos medición del crecimiento (*growth accounting*) es un paso intermedio entre la mera observación de la contabilidad nacional y la teoría del crecimiento. Este paso se hace necesario porque la fuente principal del crecimiento, el progreso técnico, no se puede observar. En efecto, el valor de la producción de una economía resulta de combinar diferentes inputs, en cantidades más o menos fáciles de estimar, pero el resultado final dependerá del estado de la tecnología, un concepto escurridizo que ciertamente no aparece entre los epígrafes de la contabilidad nacional. Así pues, el objetivo de la medición del crecimiento es, precisamente, identificar el papel del progreso técnico en la determinación del producto interior bruto (PIB) para disponer, antes que nada, de una descripción detallada del papel de cada uno de los ingredientes en el crecimiento².

Solow (1957) constituye el primer y seminal ejercicio de medición del crecimiento. Propone usar la función de producción neoclásica para descomponer variaciones del output por trabajador en cambios en el estado de la tecnología y cambios en la disponibilidad del capital por trabajador. Como veremos, el autor mide el cambio técnico residualmente una vez que introducidas en la ecuación las dos series que sí podemos observar: el output y el capital por trabajador. Dicho de otro modo, identifica cambio técnico con cambios en el output que no se pueden explicar por cambios en la cantidad física de factores de producción. Esta sencilla estrategia ayuda a sacar a la luz el papel del progreso técnico en el crecimiento del output por trabajador. El ejercicio resulta legítimo en la medida en que la función de producción neoclásica constituye la piedra angular de la teoría del crecimiento que mejor explica el comportamiento agregado de las economías de mercado. Efectivamente, el modelo neoclásico de crecimiento, propuesto en Solow (1956) y Swan (1956), pese a su simplicidad, parte de una base teórica convincente y es capaz de reproducir las regularidades más importantes que observamos a nivel agregado, los llamados hechos estilizados de Kaldor (1961).

En este artículo nos interesaremos por las consecuencias que tiene para la medición del crecimiento una evidencia empírica reciente que contradice en parte los hechos estilizados de Kaldor y que no se puede explicar en el marco del modelo de crecimiento neoclásico tal y como se formuló en sus inicios. Durante décadas se interpretó la estabilidad de la propensión a invertir como una consecuencia de la estabilidad de los precios de los bienes de equipo relativos a los bienes de consumo. Desde los años de 1980, sin embargo, se hizo cada vez más evidente que la calidad

² El interés que tiene el crecimiento económico es evidente; a modo de ejemplo, en 1998 Taiwán producía, en términos reales, 15 veces el PIB per cápita que producía en 1952 (HESTON *et al.*, 2002), y esto no es un pequeño cambio. En palabras de QUAH (2001): «En el largo plazo, a medida que esta transformación económica tiene lugar, se producen también cambios en las normas sociales, políticas y culturales. A medida que el funcionamiento de la economía mejora, las sociedades cambian profundamente y a lo largo de muchas dimensiones».

de los bienes de equipo, y en general de los bienes duraderos, no dejaba de aumentar. Si lo que cuenta de una máquina son sus prestaciones, el siguiente paso consiste en valorar las prestaciones y no la máquina³. Si el precio de la máquina permanece estable al tiempo que sus prestaciones aumentan tenemos que concluir que el precio de las prestaciones está cayendo. A partir de mediados de los años de 1980 el Bureau of Economic Analysis (BEA) comienza a publicar series de precios corregidos por calidad y las primeras series históricas aparecen en Gordon (1990). Es entonces cuando resulta aparente que el precio calidad-constante (*quality-adjusted price*) de los bienes de equipo ha caído a una media del 3 por 100 anual desde mediados del siglo pasado.

Las consecuencias de este descubrimiento son de importancia. A nivel práctico, los institutos nacionales de estadística tuvieron que admitir que habían sobreestimado la inflación (y subestimado el crecimiento real). No sólo eso, el cambio, ahora aparente, de precios relativos obligaba a abandonar los índices de precios (y cantidad) de base fija, como el de Laspeyres, en base a los cuales se habían calculado siempre la inflación y las variaciones reales del PIB. Hoy día se siguen publicando las series de base fija pero para calcular, por ejemplo, el crecimiento real del PIB se utiliza el índice ideal de Fisher, menos sensible a cambios en precios relativos, y se publican series encadenadas, lo que en la práctica significa actualizar la base todos los años⁴. A nivel teórico, el modelo neoclásico, principal caballo de batalla de la teoría del crecimiento durante treinta años, tenía que reformularse para poder explicar la nueva evidencia. Como veremos, el modelo original de Solow-Swan es un modelo de un sector: cada periodo un sólo bien físico puede consumirse o invertirse. En un mundo en el que los precios relativos permanecen estables, ésta no es una hipótesis del todo descabellada. Pero si los precios relativos no sólo cambian sino que tienen una tendencia de largo plazo, se impone la necesidad de formular un modelo que tenga al menos dos sectores: uno produciendo el bien de consumo y otro produciendo el bien de inversión. La introducción de dos sectores, a su vez, nos obliga a pensar qué es lo que vamos a medir. En efecto, en el modelo de un sector la cuestión de la agregación no se plantea: se produce un único bien físico, el PIB se identifica con el producto del único sector de la economía y en ausencia de dinero el crecimiento real se identifica con el crecimiento del producto de ese sector. En cuanto consideramos dos sectores tenemos que pensar en cómo agregar el crecimiento de cada uno de los componentes para obtener una medida equiparable al crecimiento real del PIB de la contabilidad nacional. La cuestión de la agregación, por su parte,

³ Lo que nos interesa de un ordenador es su capacidad productiva, esto es, su capacidad de almacenamiento y proceso de datos. Pero entonces debemos interesarnos por el precio del Mb de capacidad de disco o el GHz de velocidad de proceso. Una introducción a los métodos de corrección por calidad se puede encontrar en BOVER e IZQUIERDO (2003).

⁴ YOUNG (1992b) presenta de manera sucinta los cambios metodológicos introducidos por la National Income and Product Accounts (NIPA). Más técnica es la revisión en WHELAN (2002, 2003). Un condensado de la teoría de los números índice se puede encontrar en IMF (2004, capítulo 17).

nos llevará a reexaminar la conexión entre el crecimiento del PIB per cápita y el bienestar.

2. La medición del crecimiento

Solow (1957) es un trabajo seminal en el sentido de que ha dado origen a toda una literatura que explota una metodología más o menos uniforme para determinar la importancia de cada factor en el crecimiento del PIB per cápita. La idea, sin embargo, es extraordinariamente sencilla.

2.1. El primer ejercicio moderno de medición

Entre los hechos estilizados de Kaldor destaca la estabilidad de la propensión a invertir y la interpretación, antes mencionada, de que los precios relativos de los bienes de inversión permanecen constantes. De acuerdo a esta interpretación se construye el modelo neoclásico de un sector: el producto Y_t en cualquier instante del tiempo t representa un único bien físico que se puede dedicar al consumo C_t o a la inversión X_t . Por construcción, el precio de la inversión con respecto al consumo es simplemente uno y la identidad fundamental de la contabilidad nacional se lee $C_t + X_t = Y_t$. Además, se postula que la relación que existe entre el producto y los factores de producción, capital K_t y trabajo L_t , viene descrita por la función de producción Cobb-Douglas

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \quad (1)$$

donde $\alpha \in (0, 1)$ representa la elasticidad de sustitución entre capital y trabajo mientras que A_t es una medida del estado de la tecnología en el periodo t también llamada productividad total de los factores (PTF). Aunque Solow (1956, 1957) considera un caso más general, la forma funcional anterior resulta ser la que mejor describe el comportamiento agregado de la economía.

Es inmediato mostrar que, si los mercados de los factores son competitivos, α es la fracción de la renta que remunera al factor capital de modo que podemos obtener de la contabilidad nacional un valor razonable para este parámetro. De la contabilidad nacional también podemos extraer datos del producto y el capital así como de la fuerza de trabajo lo que nos permitirá, utilizando (1), recuperar la serie de PTF que no podemos observar directamente. En efecto, a partir de (1) podremos expresar la tasa instantánea de crecimiento del producto $g_{Y,t} = g_{A,t} + \alpha g_{K,t} + (1 - \alpha)g_{L,t}$ como función de la tasa de crecimiento de la PTF $g_{A,t}$ así como del stock de capital $g_{K,t}$ y de la fuerza de trabajo $g_{L,t}$. Pero entonces podemos escribir

$$g_{A,t} = g_{Y,t} - \alpha g_{K,t} - (1 - \alpha)g_{L,t}$$

En primer lugar, observaremos que los valores de $g_{A,t}$ se obtienen de manera residual, dada las observaciones de las demás variables. En este sentido, la medida de progreso técnico obtenida de esta manera se conoce como residuo de Solow. En segundo lugar, una vez obtenido $g_{A,t}$ es inmediato calcular la contribución (media) al crecimiento del producto por trabajador de los determinantes de su crecimiento: el input capital por trabajador y la PTF. La serie de PTF se puede recuperar a partir de $g_{A,t}$ y normalizando $A_0 = 1$.

2.2. *Extensiones del ejercicio básico*

La correcta medición del progreso técnico es clave, ya que la PTF es la fuente principal de crecimiento a largo plazo en el marco neoclásico. Una vez perfilado el método para obtener la PTF podemos realizar diferentes ejercicios de medición.

FIGURA 1
LA MEDICIÓN ESTÁNDAR DE LA PTF: EE.UU., 1960-2002



El más inmediato, del que Solow (1957) es un primer ejemplo, consiste en el examen de la evolución del estado de la tecnología a lo largo del tiempo. La figura 1 muestra la medida de A_t para la economía de EE.UU. en el período 1960-2002 siguiendo el procedimiento descrito. Destacamos, en primer lugar, la existencia de progreso técnico sostenido a lo largo de toda la muestra. En segundo lugar, resulta llamativa la clara reducción en el ritmo de crecimiento de la PTF a partir de 1973, lo cual, a priori, parece sorprendente al darse en plena revolución tecnológica⁵. En efecto, a partir de los años de 1970 se aprecia una caída de la productividad por hora trabajada en EE.UU., fenómeno que es conocido en la literatura como la ralentización de la productividad (*productivity slowdown*). En el marco de Solow (1957), la única explicación posible para esta reducción es, precisamente, una desaceleración de la PTF, al ser ésta estimada de forma residual. Por tanto, este sencillo marco no es capaz de justificar simultáneamente la desaceleración de la productividad por hora y la aceleración del progreso técnico que, al menos heurísticamente, se aprecia en estos tiempos. En la sección 3 veremos que es posible modificar la teoría para reconciliar las dos observaciones anteriores. Para ello, como veremos en la siguiente sección, es suficiente con incorporar al marco de Solow (1957) la noción de progreso técnico incorporado (PTI): que los avances tecnológicos tienden a estar incorporados en los nuevos bienes de equipo y en los bienes de consumo duradero.

Un segundo tipo de ejercicio consiste en utilizar esta manera de estimar la evolución de la PTF para comparar las experiencias de dos economías. Un ejemplo clásico es la comparación en Young (1992a) de las economías de Hong Kong y Singapur. Éstas muestran en principio una evolución del PIB per cápita muy similar. Sin embargo, una simple descomposición de la tasa de crecimiento como la de más arriba permite mostrar que el crecimiento de la economía de Singapur se basa en la acumulación de capital K_t mientras que la de Hong Kong se basa en el desarrollo técnico A_t , con el crecimiento de la PTF jugando un papel importante en el crecimiento del PIB per cápita. Con este punto de partida, el autor teoriza sobre la importancia de la adopción de nuevas tecnologías así como del aprendizaje de las mismas. La conclusión es que, muy posiblemente, las políticas singapurianas de ahorro obligatorio llevan a una acumulación excesiva de capital, excesiva en el sentido de que empuja constantemente a la economía más allá de la frontera de las tecnologías efectivamente adoptadas.

Una tercera categoría de ejercicio de medición incluye todos aquellos que descomponen el capital, el trabajo o ambos factores de producción para examinar el impacto de cambios en cada uno de los componentes. Por ejemplo, a finales de los años de 1990 el PIB per cápita de la Unión Europea (EU15) representaba el 70 por

⁵ El grado de trascendencia de los cambios tecnológicos que nos rodean (ordenadores, teléfonos móviles, internet,...) parece una cuestión controvertida entre los estudiosos del crecimiento económico. Cabe esperar que esta controversia se prolongue hasta que haya acuerdo en que las nuevas tecnologías se encuentran suficientemente extendidas. A modo de ejemplo, véase GORDON (2000).

100 del norteamericano. Examinando las posibles causas, Blanchard (2004) descompone el PIB per cápita en productividad y horas trabajadas per cápita

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

llegando a la conclusión de que la productividad Y_t/L_t es hoy igual en Francia que en EE.UU. Las diferencias en PIB per cápita vienen determinadas por las diferencias en horas trabajadas per cápita L_t/N_t . En el año 2000 las horas trabajadas en Francia apenas representan el 71 por 100 de las horas trabajadas en EE.UU. Ahora bien, si nos quedamos con este dato, podemos llegar a la conclusión de que el progreso técnico ha sido parecido en ambos países desde los años de 1970. Volvemos entonces a nuestra función de producción y notamos que el crecimiento de la productividad

$$\frac{Y_t}{L_t} = A_t \left(\frac{K_t}{L_t} \right)^\alpha$$

puede ser igual en Francia que en EE.UU. con un crecimiento menor de la PTF A_t en Francia compensado por un crecimiento mayor de K_t/L_t . Realizado el ejercicio de medición correspondiente, ésa es la conclusión de van Ark *et al.* (2002); Blanchard (2004) especula entonces con la posibilidad de que una legislación laboral más rígida haya llevado a las empresas francesas a sustituir capital por trabajo, disminuyendo en términos relativos L_t y por ende aumentando Y_t/L_t .

Una variante consiste en descomponer el output como una función del valor del stock de capital K_t/L_t más que en función del capital per capita. Sea N_t la población activa, entonces

$$\frac{Y_t}{N_t} = A_t \left(\frac{K_t}{N_t} \right)^\alpha \left(\frac{L_t}{N_t} \right)^{1-\alpha} = A_t \left(\frac{Y_t}{N_t} \frac{K_t}{Y_t} \right)^\alpha \left(\frac{L_t}{N_t} \right)^{1-\alpha}$$

de modo que

$$\frac{Y_t}{N_t} = A_t^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{K_t}{Y_t} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \frac{L_t}{N_t}$$

⁶ Sobre lo que no hay acuerdo es sobre las causas. Mientras que PRESCOTT (2004) apunta a las transferencias del estado en países europeos, el propio BLANCHARD (2004) o ALESINA, GLAESER y SACERDOTE (2005) apuntan a diferencias en la cultura del ocio o al papel de los sindicatos en Europa.

Esta descomposición permite examinar el papel de la acumulación de capital K_t/Y_t al margen de lo que ocurra con la productividad (la razón de Y_t por L_t). Además, escrito de esta manera, el output por persona Y_t/N_t crece a la misma tasa que el término de la tecnología $A_t^{1/(1-\alpha)}$ cuando la tasa de empleo y la razón capital-producto permanecen constantes. Utilizando esta descomposición, Hayashi y Prescott (2002, página 214) construyen para la economía japonesa una tabla en la que salta a la vista hasta qué punto la PTF determina los cambios en el crecimiento del PIB por persona durante los años de la depresión. La conclusión es que la larga recesión japonesa de la década de 1990 se debe a una desaceleración de la PTF y no a otras causas apuntadas en la literatura, como la crisis del sector bancario.

2.3. Contabilidad y causalidad

Llegados a este punto vale la pena realizar una pequeña advertencia. Tal y como acabamos de discutir, la descomposición $g_{Y,t} = g_{A,t} + \alpha g_{K,t}$ nos ayuda a entender cómo evolucionan a corto plazo los distintos ingredientes del producto. Así, por ejemplo, nos ayuda a distinguir cambios en el progreso técnico A_t de variaciones de la razón K_t/L_t en Francia en torno a algo que podemos interpretar como una senda de crecimiento equilibrado (SCE). En este contexto, e interpretadas como fluctuaciones de corto o medio plazo, tienen sentido afirmaciones como que la PTF *explica* un cierto porcentaje del crecimiento del PIB per cápita.

A largo plazo, sin embargo, el progreso técnico es la única fuente del crecimiento. Por ejemplo, en contexto de Solow (1957), y por simplicidad normalizando $L_t = 1$, tenemos que

$$g_Y = g_K = \frac{g_A}{1 - \alpha}$$

de modo que $g_A = 0$ implica automáticamente $g_Y = g_K = 0$. Está claro que el único motivo por el que el capital se acumula a largo plazo es porque el progreso técnico permite que su producto marginal crezca sin límite, y es en este sentido que podemos decir que el crecimiento de la PTF *causa* en su totalidad el crecimiento del producto a largo plazo. No hay ninguna contradicción entre ambas afirmaciones; sólo se trata de saber si estamos hablando de fluctuaciones o de tendencias. Si la cuestión del largo plazo es relativamente obvia en el contexto de Solow (1957), lo será menos cuando tengamos más de un tipo de progreso técnico, y la distinción entre fluctuaciones y tendencias será crucial para entender un cierto debate como tendremos ocasión de discutir más adelante.

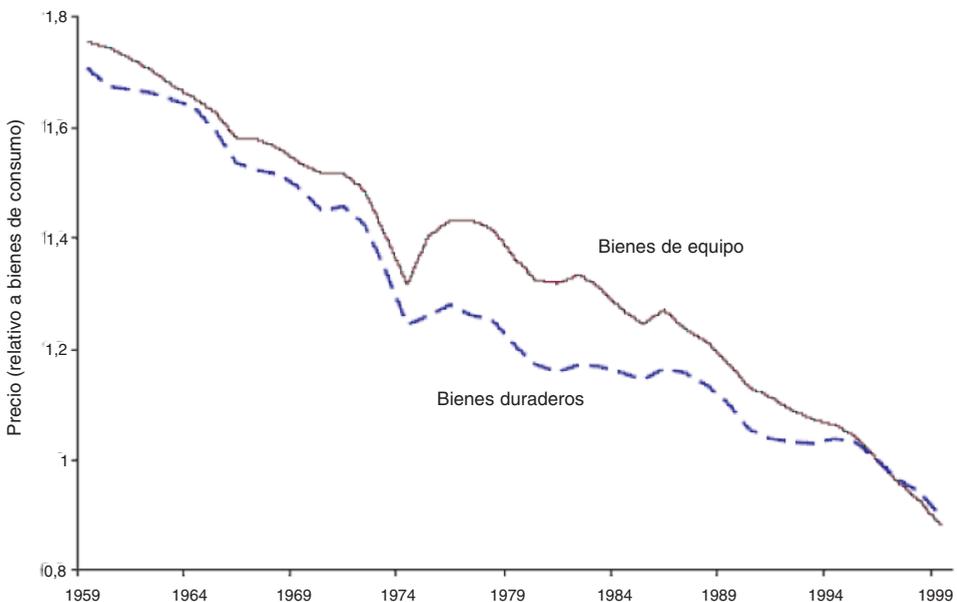
3. Progreso técnico incorporado

La medición del crecimiento económico se ha enfrentado recientemente al reto de asimilar una evidencia empírica nueva, que contradice en parte los hechos estilizados de Kaldor y que no se puede explicar en el marco del modelo de crecimiento neoclásico de un sector. Como apuntábamos en la introducción, desde mediados de los años de 1980 se ha hecho evidente que el precio de los bienes de equipo, y en general de los duraderos, corregido por calidad, no ha dejado de caer. Durante años la estabilidad de la propensión a invertir

$$s = \frac{X_t}{C_t + X_t}$$

se interpretó como una consecuencia de la estabilidad de los precios relativos entre consumo e inversión. Sin embargo, si corregimos los precios por calidad, podemos construir una serie p_t , medida en unidades de consumo, que decrece de manera sostenida en el tiempo. Como consecuencia, la inversión real I_t , construida a partir de esta serie y de la serie de inversión nominal $I_t = X_t/p_t$, crece en la misma medida en que decrece p_t . En otras palabras, durante años se sobreestimó la inflación al no considerar la caída de p_t y, simétricamente, se subestimó el crecimiento real del PIB al no considerar el aumento de I_t .

FIGURA 2
LA CAÍDA DEL PRECIO RELATIVO DE LOS BIENES DE EQUIPO



3.1. Inversión y máquinas efectivas

Una interpretación natural de la observación anterior es que con el paso del tiempo la economía se hace más eficiente en la producción de bienes de equipo y de bienes de consumo duraderos. Esta mayor eficiencia se traduce en una caída de los precios relativos porque la tasa de inversión permanece constante. La diferencia es que ya no interpretamos esta estabilidad de s como resultado de unos precios relativos constantes, sino como la cancelación de los efectos sustitución y renta de la caída de p_t ⁷. Observemos que esta mayor eficiencia en la producción de bienes de equipo sugiere que una parte importante del progreso técnico está incorporado en los nuevos bienes de capital. Es por ello que a este tipo de progreso técnico se le denomina progreso técnico incorporado (PTI).

A nivel teórico, una consecuencia importante es que el modelo de Solow-Swan, con un solo sector, no puede explicar qué ocurre en un mundo con al menos dos sectores. Una manera de reinterpretar los hechos es la siguiente: consideraremos un mundo en el que se produce un bien que consumo

$$Y_t = B_t H_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \quad (2)$$

que se puede consumir o invertir $C_t + X_t = Y_t$. Sin embargo, la inversión pasa por utilizar esa cantidad ahorrada X_t como input en el sector de bienes de equipo que dispone de una tecnología lineal para producir máquinas

$$I_t = q_t X_t \quad (3)$$

donde q_t es el progreso técnico específico al sector de bienes de equipo, esto es, una medida del PTI que crece a la tasa $g_{q,t}$. Notaremos que ahora B_t representa el estado de la tecnología en uno de los sectores de la economía, que llamaremos progreso técnico neutral o no incorporado. No se trata, por tanto, de la PTF que ahora será una función de ambos tipos de desarrollo técnico como veremos más abajo.

El modelo (2)-(3) es una versión simplificada del propuesto por Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) y enlaza directamente con un modelo propuesto por Solow (1960). Este segundo artículo surge como respuesta a lo que el propio autor consideró como el supuesto más insatisfactorio de Solow (1957): que el nuevo y el viejo capital se benefician de la misma manera del progreso técnico. En palabras del autor:

«Es como si todo el progreso técnico fuera una manera de mejorar la organización y operación de los factores de producción sin hacer referencia alguna a la naturaleza de esos mismos factores. Esto contradice la observa-

⁷ Esto es exactamente lo que va a ocurrir si las preferencias son homotéticas, una propiedad que de todas formas es necesaria para que sendas de crecimiento equilibrado sean óptimas, tal y como se demuestra en DOLMAS (1996) o DRUGEON (2000).

ción casual de que muchas, si no todas las innovaciones, tienen que estar incorporadas en nuevas variedades de equipo para ser efectivas.»

Solow (1960) muestra como un sencillo modelo de generaciones de capital (vintage capital), en el que cada generación de nuevo capital es mejor que la anterior generación cuando era nueva, puede agregarse en una versión del modelo de crecimiento neoclásico, básicamente la que hemos presentado en esta sección, a través de la distinción entre depreciación física y depreciación económica.

En este punto debemos realizar dos observaciones importantes. En primer lugar, la medida de PTI es la inversa del precio competitivo de las máquinas en unidades de consumo $p_t = 1/q_t$. Esta observación es crucial porque indica que los índices de precios calidad-constante de bienes de equipo nos permiten calcular automáticamente la medida del PTI, por ejemplo, usando las series de Gordon (1990)⁸. En segundo lugar, es importante observar que Y_t se puede ver como el PIB nominal, pero la tasa de crecimiento de Y_t ya no se puede identificar con la tasa de crecimiento real del PIB⁹. Efectivamente, el PIB de esta economía artificial tiene dos componentes reales, consumo C_t e inversión I_t , medidos en unidades distintas. Aquí es donde aparece la cuestión de la agregación sobre la que volveremos en la siguiente sección.

3.2. Un ejercicio de medición con PTI

Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) se plantean cuál es la contribución del PTI al crecimiento de largo plazo (recordemos la digresión de la sección 3). La construcción de las series, sin embargo, sigue la misma lógica que Solow (1957), sólo que ahora tenemos que recuperar q_t y construir la serie de capital efectivo H_t . Recordemos que el índice de PTI q_t se puede recuperar directamente de las series de precios calidad-constante. Una vez obtenido q_t y observando la serie de inversión nominal X_t obtenemos la inversión efectiva $I_t = q_t X_t$ con la que podemos construir la serie de capital efectivo a partir de la ley de evolución

$$\dot{H}_t = I_t - \delta H_t \quad (4)$$

donde δ es la tasa de depreciación física, dado un K_0 y bajo el supuesto del inventario permanente. Dados $C_t + X_t$ y H_t , que está ajustado por las mejoras de calidad en la medida que q_t lo esté como es el caso que hemos descrito, junto con L_t , se

⁸ Puesto que las series de GORDON (1990, cap. 12, tabla 12.4) sólo cubren el período 1947-1983, diversos autores han extrapolado las series para ampliar la muestra de estudio para EE.UU. y también para extender el análisis a otros países. Véase CUMMINGS y VIOLANTE (2002).

⁹ Literalmente, Y_t es el PIB nominal de nuestra economía cuando se usa el bien de consumo como numerario. Esto equivaldría a construir el PIB deflactando las series de la contabilidad nacional por el índice de precios al consumo.

obtiene una estimación de B_t a partir de (2) del mismo modo que se hizo en la sección 2. Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) calculan para la economía de EE.UU. y para el período 1954-1990 que la tasa de progreso técnico incorporado, la tasa de crecimiento de q_t , es del 3,21 por 100 y la tasa de progreso técnico no incorporado B_t es tan sólo un 0,39 por 100.

Suponiendo, por simplicidad, que el factor trabajo permanece constante y normalizado a uno, las ecuaciones (2)-(4) implican que a lo largo de una senda de crecimiento equilibrado¹⁰ la tasa de crecimiento de Y_t viene dada por la expresión

$$g_Y = \frac{1}{1 - \alpha} (g_B + \alpha g_q) \quad (5)$$

Con los valores de g_B y g_q así como con $\alpha = 0,17$ se puede calcular $g_Y = 0,0113$. Para medir la contribución del PTI al crecimiento de largo plazo los autores se preguntan qué hubiera ocurrido si $g_B = 0$. En otras palabras, se preguntan qué tasa de crecimiento $g_Y(g_B = 0)$ podría haber sostenido el PTI sin otra fuente de progreso técnico. Su cálculo es

$$\frac{g_Y(g_B = 0)}{g_Y} = \frac{\alpha g_q}{g_B + \alpha g_q} = \frac{0,0066}{0,0113} = 0,5840$$

de donde los autores concluyen que el PTI contribuye un 58 por 100 a la tasa de crecimiento del producto, el resto correspondería a la contribución del progreso técnico no incorporado.

3.3. La productividad total de los factores

En la economía con PTI ya no se puede identificar la PTF con B_t o con q_t que ahora no son más que uno de los dos tipos de progreso técnico. Para calcular en este contexto la PTF necesitamos el concepto general propuesto por Domar (1963) o Jorgenson (1966). Estos autores identifican la PTF con las variaciones reales del producto que no se pueden explicar por variaciones reales de los inputs. Estas variaciones reales, a su vez, han de calcularse utilizando algún índice de cantidad, por lo que proponen el uso del índice de Divisia. En el marco de nuestra economía con PTI, y a lo largo de una SCE, la tasa de crecimiento de la PTF se calcula como

$$g^J = (1 - s)g_C + s g_I - \alpha g_H = g_B + s g_q$$

¹⁰ Aún no hemos descrito las preferencias pero (5) es una restricción impuesta por las ecuaciones que describen la tecnología. Se puede comprobar que si la elasticidad intertemporal de sustitución es constante, esta senda de crecimiento equilibrado es, además, de equilibrio competitivo.

donde el superíndice J relaciona esta expresión con la ecuación (4) de Jorgenson (1966). Es interesante notar que el crecimiento de la PTF aparece como función de la propensión a invertir porque ésta es la vía para la adopción de los progresos incorporados en bienes de equipo^{11,12}.

Pero esta definición general de PTF nos permite examinar los efectos de no corregir por calidad. Dicho de otro modo, podemos explorar qué ocurre si creemos estar en un mundo como el de Solow (1957) cuando la realidad está representada por Solow (1960). Si en la economía (2)-(3) no corregimos por calidad y construimos una serie K_t en base a X_t en lugar de I_t , es fácil comprobar que la PTF a lo largo de una SCE es

$$\tilde{g}^J = (1 - s)g_C + sg_X - \alpha g_K = g_B + \alpha q_q$$

Para entender la diferencia, observemos que en el largo plazo $g_I = g_q + g_X$ y por lo tanto $g_H = g_q + g_K$. Pero entonces

$$\begin{aligned} g^J &= (1 - s)g_C + s(g_q + q_X) - \alpha(g_q + g_K) \\ &= (1 - s)g_C + sg_X - \alpha g_K + sg_q - \alpha g_q = \tilde{g}^J + (s - \alpha)g_q \end{aligned}$$

Al no corregir por calidad, estamos, por una parte, subestimando la contribución del PTI a través de la inversión de bienes de equipo al no considerar el término sq_q y, por otra parte, sobreestimando la contribución del progreso técnico al subestimar el crecimiento del stock de capital: creemos que es progreso técnico lo que no es más que la acumulación de máquinas efectivas αg_q .

Esta discusión enlaza directamente con la distinción entre depreciación física y obsolescencia. En particular, debería servir para prevenir contra los ejercicios de contabilidad del crecimiento que normalizan el precio relativo del capital a la unidad como Solow (1957) frente a Solow (1960) que no lo hace. Si el valor de bienes de capital heterogéneos por razón de la edad, es decir de la depreciación económica, pudiera medirse perfectamente, ambos entornos darían exactamente los mismos resultados.

¹¹ Esto no quiere decir que s sea un parámetro exógeno. Para preferencias razonables, s será a su vez una función de g_B , g_q y otros parámetros como la tasa de depreciación del capital o la tasa de descuento de la utilidad futura.

¹² Esta definición de PTF aplicada a SOLOW (1957) da como resultado $g^J = g_A$. No sorprenderá, entonces, que SOLOW (1957) genere las mismas series nominales que SOLOW (1960) cuando $g_A = g_B + \alpha g_q$.

3.4. *Aprendizaje y difusión de las nuevas tecnologías*

Una implicación importante de este ejercicio es que la caída en la tasa de crecimiento del progreso técnico no incorporado es incluso más pronunciada que la de la PTF que presentamos en la figura 1. La razón fundamental de que esto ocurra es porque la desaceleración de B_t ocurre al mismo tiempo que la aceleración de q_t . En nuestra economía, la corrección por las mejoras de calidad que recoge q_t se traslada a H_t , lo que hace que esta serie crezca más rápidamente que en Solow (1957) causando una caída en la productividad del sector de bienes de consumo calculada de manera residual. Como muestran Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997), este efecto opera con mayor intensidad cuando, como es su caso, el equipo y las estructuras se tratan asimétricamente: sólo existe progreso técnico específico en la inversión en bienes de equipo. Hemos visto que el marco que acabamos de presentar reconcilia la caída del progreso técnico neutral con la observación de la aceleración en el cambio técnico que nos rodea, mediante la noción de progreso técnico incorporado. La pregunta entonces es: ¿Cómo puede explicarse la caída en la PTF? Los procesos de aprendizaje y los procesos de difusión de las nuevas tecnologías a lo largo del tiempo parecen resolver el enigma.

Solow (1960) es un modelo sencillo de generaciones de capital. En los modelos de generaciones de capital ocurre que equipos de distinta edad difieren en productividad por razón del progreso técnico o porque la depreciación no es geométrica. Sin embargo, esto no es suficiente para justificar la desaceleración de la productividad a la vez que se registra una aceleración en el progreso técnico. Afortunadamente, diversas extensiones a Solow (1960) permiten incorporar los procesos de adopción de tecnologías a la vez que recogen la noción de PTI. Una dificultad es que los modelos de adopción requieren, por su parte, que existan tecnologías diferentes o tipos de capital diferentes de manera que no sea óptimo utilizar la tecnología de frontera. De esta manera se puede incorporar a los modelos la existencia de retardos en el aprendizaje y la difusión de las nuevas tecnologías, pero con el inconveniente de que el marco para el análisis es necesariamente uno en el que las plantas productivas difieren en las tecnologías que utilizan, en particular por razón de su edad.

En especificaciones en las que plantas de distintas edades coexisten en el mismo período de tiempo, la agregación que permite reformular el problema en el marco de un modelo simple de crecimiento económico a menudo no es posible. Boucekkine, Licandro, Puch y del Río (2005) es un ejemplo de un modelo sencillo de crecimiento endógeno (AK) en el que no es posible encontrar un agregador para unidades de capital de distintas edades. La inclusión de heterogeneidad en el capital por razón de la edad da lugar a una dinámica de transición oscilatoria que viene determinada por el reemplazo del capital. Una especificación de este tipo permite justificar las desviaciones que se observan en el corto plazo entre tasas de crecimiento y tasas de inversión. (Estos aspectos y otros relacionados se discuten en el artículo de Boucekkine, Licandro y Puch en este volumen.)

Los modelos de generaciones de capital y los modelos de progreso técnico incorporado pueden contribuir por tanto a la comprensión de observaciones como la desaceleración de las mejoras de productividad en plena revolución tecnológica, las grandes diferencias de productividad que se observan en plantas distintas dentro de la misma industria, los síntomas de obsolescencia que parece reflejar la caída en el precio relativo de los bienes de inversión o el aumento de la brecha entre rentas salariales generada por diferencias de cualificación (*skill, or wage, premium*). Contrastar las hipótesis de estos modelos requiere a menudo acudir a información desagregada. Al mismo tiempo, la riqueza que puede encontrarse en la información desagregada sobre los procesos de inversión, la actividad innovadora y sus consecuencias sobre la productividad puede organizarse a partir de una estrategia para el análisis empírico que se sustente en el marco teórico de los modelos de generaciones de capital.

4. Crecimiento y bienestar

Si estamos dispuestos a interpretar el PIB per cápita como un índice de bienestar, en nuestras economías artificiales, donde las preferencias se modelizan explícitamente, estamos obligados a examinar la conexión entre crecimiento y utilidad. Como veremos, considerar las preferencias del agente nos dará una idea de cómo medir el crecimiento en presencia de PTI.

4.1. La cuestión de la agregación

En la economía con PTI descrita más arriba, el crecimiento del producto del sector del bien de consumo Y_t ya no se puede identificar con el crecimiento real del PIB calculado por las contabilidades nacionales.

Durante los años en los que se pensó que los precios relativos eran estables, las contabilidades nacionales calculaban el crecimiento real del PIB a partir del índice de Laspeyres, de base fija, actualizada sólo esporádicamente. Las series del índice de Laspeyres se asocian con el concepto un tanto vago del PIB real y, en el contexto de la teoría del crecimiento, éste se identificaba con el producto Y_t del único sector de la economía. En cuanto abandonamos los índices de base fija, el concepto de PIB real se vuelve aún más etéreo y en cualquier caso no se puede identificar con las series encadenadas. El mismo problema se traslada al modelo de crecimiento neoclásico con dos sectores y progreso técnico incorporado. En modelo descrito más arriba tenemos que

$$Y_t = C_t + X_t = C_t + \frac{I_t}{q_t} C_t + p_t I_t$$

de modo que Y_t es el PIB nominal cuando usamos el bien de consumo como numérico. Si identificamos crecimiento real con crecimiento de Y_t estaremos identificando crecimiento real con crecimiento del consumo, uno de los componentes del PIB, ignorando el otro, la inversión, que crece a una tasa mayor. En efecto, a lo largo de una senda de crecimiento equilibrado $g_H = g_I = g_q = g_X = g_q + g_Y$ de modo que usando (5) concluiremos que

$$g_H = \frac{1}{1 - \alpha} (g_A + g_q) > \frac{1}{1 - \alpha} (g_A + \alpha g_q) = g_Y$$

y por lo tanto $g_I > g_C$.

En esta economía disponemos de dos series reales, de consumo C_t e inversión I_t , y de una serie de precios p_t y es a partir de estos elementos que debemos plantearnos cuál es nuestra medida del crecimiento real del PIB. Identificar crecimiento real con crecimiento del consumo sería como si las contabilidades nacionales se limitasen a deflactar la inversión por el índice de precios al consumo, y esto no es lo que observamos.

4.2. *El verdadero índice de cantidad*

Las contabilidades nacionales reaccionaron a la caída de los precios calidad-constante de los bienes de equipo calculando el índice ideal de Fisher y publicando series encadenadas. El índice ideal de Fisher es la media geométrica de los índices de Laspeyres y Paasche para cada par de periodos de modo que compensa los sesgos, en direcciones opuestas, de cada uno de estos índices. Al usar este índice se actualiza la base, y por lo tanto las ponderaciones de consumo e inversión, cada vez que se calcula. El resultado es que somos capaces de extraer los movimientos de precios al mismo tiempo que tenemos en cuenta de manera permanente los cambios en los precios relativos. El coste es la pérdida de multiplicatividad: es inmediato comprobar que el índice ideal de Fisher entre dos años cualesquiera no equivale al índice encadenado que resulta de multiplicar todos los índices intermedios. Es por ello que resulta difícil interpretar las series encadenadas como un PIB real. De hecho el concepto de PIB real se podría abandonar para aceptar definitivamente que las comparaciones reales entre dos puntos muy distantes en el tiempo son, sencillamente, de dudosa legitimidad. Cuando los precios relativos cambian rápidamente el único concepto que tiene sentido es el de crecimiento real entre dos periodos adyacentes¹³.

¿Qué debemos hacer en nuestro modelo?, ¿identificar crecimiento real con el crecimiento del consumo o proceder como en la contabilidad nacional y calcular un índice de cantidad con ambas series?

¹³ Todas estas cuestiones se discuten en profundidad en WHELAN (2002).

Una posibilidad apuntada en Durán, Licandro y Ruiz-Castillo (2005) sugiere recuperar el concepto de verdadero índice de cantidad (true quantity index) formulado en Fisher y Shell (1971). Si los índices de Laspeyres y Paasche mantienen fija la cesta de consumo, el verdadero índice de cantidad mantiene fijo el nivel de utilidad. Supongamos que hoy t observamos unos precios p_t y unas cantidades que se traducen en un cierto nivel de renta Y_t y en un cierto nivel de utilidad W_t . Mañana, con otros precios p_{t+1} y otras cantidades se alcanzará un cierto nivel de utilidad W_{t+1} . El verdadero índice de cantidad se pregunta qué nivel de renta \hat{Y}_{t+1} sería necesaria mañana para alcanzar ese nivel de utilidad W_{t+1} si los precios vigentes y las preferencias mañana fuesen las de hoy. El resultado estará en algún lugar entre el índice de Laspeyres y el de Paasche.

La cuestión ahora es saber qué entendemos por «preferencias en el instante t ». En el modelo descrito las sendas de equilibrio competitivo se pueden describir, por ejemplo, como las soluciones al problema de maximizar a cada instante t la función

$$\int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} \log(C_s) ds$$

sujeito a las restricciones (2)-(4). Un problema práctico es que esta función de utilidad está definida sobre sendas de consumo mientras que el verdadero índice de Fisher-Shell requiere de una representación explícita de las preferencias en t sobre consumo e inversión. Pero esto es precisamente lo que nos da la ecuación de Bellman asociada a este problema

$$\rho V(H) = \max_{\substack{C+X=BH^\alpha L^{1-\alpha} \\ E=qX-\delta H}} \log(C) + V'(H)E$$

donde E juega el papel de la inversión neta \dot{H} . La función objetivo

$$W(C, E, H) = \log(C) + V'(H)E$$

depende del tiempo sólo a través del stock de capital y representa las preferencias del agente en el instante t sobre consumo e inversión neta.

Una vez que tenemos estas preferencias explícitas, Durán, Licandro y Ruiz-Castillo (2005) comprueba que el verdadero índice de cantidad coincide con el índice de Divisia, el índice g^D que calcula el crecimiento real como

$$g^D = (1 - s)g_C + sg_I$$

esto es, la media de g_C y g_I ponderadas por las propensiones al consumo y a la inversión respectivamente (observemos que $g_I = g_E$).

En la medida en que $g_C < g_I$ y que la propensión a invertir es $s > 0$ tendremos que $g_C < g^D < g_I$ y por lo tanto cualquier medida de la importancia del PTI que tome como base g^D dará un peso mayor al papel de g_I y por lo tanto al PTI. Decimos a priori porque la tasa de ahorro se puede comprobar que es

$$s_H = \alpha \frac{g_H + \delta}{g_H + \delta + \rho}$$

y por lo tanto también es una función de g_B , aunque relativamente insensible a pequeños cambios en g_H . El ejercicio de Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) se puede reproducir siguiendo la sugerencia de Durán, Licandro y Ruiz-Castillo (2005). Como vimos más arriba, $g_C = g_Y = 0,0113$, mientras que para los mismos parámetros la tasa de crecimiento de la inversión es $g_I = g_H = 0,0434$. Tomando además los valores de $\delta = 0,124$ y $\rho = 0,0222$, la tasa de ahorro que resulta es $s = 0,15$. A partir de estos valores calcularemos $g^D = 0,0161$. Si ahora simulamos cerrar el progreso técnico no incorporado $g_B = 0$, tendremos que $g_C(g_B = 0) = 0,0066$, mientras que $g_H(g_B = 0) = 0,0387$. La tasa de ahorro experimenta un cambio despreciable $s(g_B = 0) \simeq 0,15$. Con estas tasas ficticias calculamos $g^D(g_B = 0) = 0,01141$ y concluiremos que

$$\frac{g^D(g_B = 0)}{g^D} = \frac{0,01141}{0,0161} = 0,7080$$

de modo que el PTI contribuye un 70 por 100 al crecimiento real del producto de esta economía.

4.3. *La controversia de Solow-Jorgenson*

La distinción entre contabilidad a corto plazo y causalidad a largo a la que hacemos mención en la sección 3 está, al menos en parte, en el origen de un debate que ha venido en llamarse la controversia de Solow-Jorgenson¹⁴. En presencia de PTI existen dos escuelas: la medición del crecimiento tradicional (traditional growth accounting) bien representada por Hulten (1992) y la medición del crecimiento de equilibrio (equilibrium growth accounting) representada por Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997). La pregunta que se plantea en ambos casos es cuál es la contribución del PTI al crecimiento.

¹⁴ La llamada controversia de Solow-Jorgenson tiene su origen en la crítica de JORGENSEN (1966) a SOLOW (1960) y su versión moderna se origina en la crítica de GREENWOOD, HERCOWITZ y KRUSELL (1997) a HULTEN (1992). Véase también HERCOWITZ (1998), OULTON (2005) y GREENWOOD y KRUSELL (2005).

La pregunta, sin embargo, es ambigua en dos sentidos. ¿Estamos realizando un ejercicio de contabilidad de corto plazo o queremos medir la contribución del PTI a largo plazo? ¿Y qué estamos midiendo exactamente, el crecimiento real del producto o el crecimiento de alguna otra serie de la contabilidad nacional?

En lo que concierne a la primera pregunta, es claro que Hulten (1992) realiza un ejercicio de contabilidad para examinar las fluctuaciones de corto plazo del progreso técnico mientras que Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) se interesan por el porcentaje del crecimiento causado por el PTI. Efectivamente, en términos de nuestro modelo, Hulten (1992) utiliza que a lo largo de una SCE $g_H = g_q + g_K$ para descomponer el producto (2) en variaciones de progreso técnico incorporado y no incorporado

$$g_Y = g_B + \alpha g_H = g_B + \alpha g_q + \alpha g_K$$

y es en base a estos cálculos que propone la razón $\alpha g_q / g_Y$ como medida de la contribución del PTI al crecimiento¹⁵. La objeción de Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) es que esta medida subestima la contribución del PTI del mismo modo que g_A / g_Y subestima la contribución del PTF en el modelo de un sector. Como hemos visto anteriormente, el crecimiento de la producción de bienes de consumo en el largo plazo es

$$g_Y = \frac{1}{1 - \alpha} (g_B + \alpha g_q)$$

y la propuesta de Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) no puede ser más razonable: para medir la contribución del PTI hay que comparar esta tasa de crecimiento g_Y con la tasa $g_Y(g_B = 0)$ que resultaría de no existir el progreso técnico no incorporado. Esto es,

$$\frac{g^Y(g_B = 0)}{g_Y} = \frac{\alpha g_q}{g_B + \alpha g_q}$$

exactamente el ejercicio que reproducimos en la sección anterior. Mientras, Hulten (1992) arroja el resultado

$$\frac{\alpha g_q}{g_Y} = (1 - \alpha) \frac{\alpha g_q}{g_B + \alpha g_q} < \frac{\alpha g_q}{g_B + \alpha g_q}$$

¹⁵ Aquí estamos simplificando mucho el argumento de HULTEN (1992). Como veremos enseguida, hay otras diferencias importantes entre ambos enfoques.

De algún modo, lo que ocurre es que Hulten (1992) realiza un ejercicio de contabilidad y atribuye αg_K a la acumulación física de factores cuando, desde el punto de vista de la causalidad, el único motivo por el que acumulamos capital a largo plazo es la presencia de progreso técnico. ¿Quién tiene razón? Desde nuestro punto de vista estos dos ejercicios son complementarios en la medida en que se concentran en dimensiones diferentes del proceso de crecimiento. El ejercicio de Hulten (1992) es útil para comprender cómo fluctúa el producto por fluctuaciones del progreso técnico a corto plazo mientras que Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) proporcionan la correcta medida de la importancia del PTI a largo plazo.

El debate, sin embargo, se produce también en torno a qué identificar como crecimiento del producto. Hulten (1992), siguiendo la tradición de Domar (1963), Jorgenson (1966) y otros, no identifica el crecimiento del producto total de la economía con g_Y sino que utiliza el índice de Divisia $g^D = (1 - s)g_C + sg_I$ como una buena aproximación a la práctica de las contabilidades nacionales; un procedimiento correcto, a la luz de Durán, Licandro y Ruiz-Castillo (2005), si se desea que la medida del crecimiento real del producto esté relacionada con el nivel de bienestar. Consideremos el siguiente ejemplo: un shock positivo al factor de PTI q_t puede provocar a corto plazo una caída del consumo si el efecto sustitución (menor p_t) compensa el efecto renta (mayor q_t). En tal caso podríamos incluso observar una caída del consumo al tiempo que el bienestar, claramente, aumenta con el aumento de q_t . Así pues, el uso de g^D para medir la contribución del PTI a largo plazo es consistente con la medida correcta (desde el punto de vista del bienestar) a corto plazo¹⁶. Así pues, nos inclinaremos a considerar como dato relevante que el PTI causa un 70 por 100 del crecimiento (real del producto) y no que cause un 58 por ciento del crecimiento (del consumo).

5. Conclusiones

Nuestro objetivo ha sido caracterizar las consecuencias que para la medición del crecimiento económico ha tenido la nueva evidencia acerca del carácter incorporado del progreso técnico. En un mundo en el que el precio relativo de los bienes de equipo tiene una tendencia de largo plazo, se impone la necesidad de formular un modelo que tenga al menos dos sectores: uno produciendo el bien de consumo y otro produciendo el bien de inversión. La introducción de dos sectores nos obliga a calcular un índice de cantidad con los dos bienes finales del modelo. Esto es así pues-

¹⁶ GREENWOOD y KRUSELL (2005) defienden concentrarse en la tasa de crecimiento del consumo porque encuentran una relación monótona entre ésta y el nivel de bienestar (representado por la función de valor) a lo largo de una SCE. Esta relación, sin embargo, no hace de la tasa de crecimiento del consumo un buen indicador del bienestar si produce fallos como el aludido en nuestro ejemplo en cuanto nos desviamos de la SCE. Este es probablemente el motivo por el que la contabilidades nacionales no han indentificado nunca crecimiento real con crecimiento del consumo.

to que lo que queremos es medir el crecimiento real del PIB y no el crecimiento de ninguna otra serie real. Una aproximación de este tipo a la medición del crecimiento en presencia de progreso técnico incorporado es consistente con los recientes cambios metodológicos introducidos por los institutos nacionales de estadística, asociados al abandono de los índices de precios (y cantidad) de base fija.

Al poner de manifiesto estas reflexiones, hemos examinado el estado de la cuestión en los ejercicios de medición del crecimiento (growth accounting), así como algunas controversias sobre las que hemos tratado de arrojar luz en este artículo. En particular, interpretamos la controversia Solow-Jorgenson, que en su versión moderna en presencia de PTI, tiene su origen en la crítica de Greenwood, Hercowitz y Krusell (1997) a Hulten (1992), como una expresión de la distinción entre contabilidad a corto plazo y causalidad a largo plazo. Por tanto, desde nuestro punto de vista, la medición de la contribución de las fluctuaciones en el PTI a las fluctuaciones del producto a corto plazo es un ejercicio complementario a la medición de la contribución del PTI al crecimiento a largo plazo.

En parte, estas controversias han servido para dirigir la atención de los estudiosos del crecimiento económico hacia el análisis de los procesos de transferencia y de difusión de la tecnología. El interés por estas cuestiones es indudable.

Referencias bibliográficas

- [1] ALESINA, A.; GLAESER, E. L. y SACERDOTE, B. (2005): «Work and leisure in the U.S. and Europe: Why so different?». Harvard Institute of Economic Research, *Discussion Paper* no. 2068.
- [2] BLANCHARD, B. (2004): «The economic future of Europe», *Journal of Economic Perspectives*, 18 (4), 3-26.
- [3] BOUCEKKINE, R.; LICANDRO, O.; PUCH, L. A. y DEL RIO, F. (2005): «Vintage capital and the dynamics of the AK model», *Journal of Economic Theory*, 120 (1), 39-72.
- [4] BOVER, O. e IZQUIERDO, M. (2003): «Quality-adjusted prices: Hedonic methods and implications for national accounts», *Investigaciones Económicas*, 27 (2), 199-238.
- [5] DOLMAS, J. (1996): «Recursive utility and balanced growth», *Journal of Economic Dynamics and Control*, 20, 657-680.
- [6] DOMAR, E. D. (1963): «Total productivity and the quality of capital», *Journal of Political Economy*, 71 (6), 586-588.
- [7] DRUGEON, J.-P. (2000): «On the roles of impatience in homothetic growth paths», *Economic Theory*, 15, 139-161.
- [8] DURÁN, J.; LICANDRO, O. y RUIZ-CASTILLO, J. (2005): *The measurement of output growth and the decline of equipment prices*, manuscrito, Department of Economics, European University Institute.
- [9] FISHER, F. M. y SHELL, K. (1971): «Taste and quality change in the pure theory of the true-cost-of-living index», en Z. Griliches (ed.), *Price indexes and quality change*, Cambridge (Mass.): Harvard University Press.

- [10] GORDON, R. J. (1990): *The Measurement of Durable Goods Prices*, Chicago: Chicago University Press.
- [11] GORDON, R. J. (2000): «Does the “New Economy” measure up to the great inventions of the past?», *Journal of Economic Perspectives*, 14 (4), 49-74.
- [12] GREENWOOD, J. y KRUSELL, P. (2005): «Growth accounting with investment-specific technological progress: A discussion of two approaches», *Journal Monetary Economics*, forthcoming.
- [13] GREENWOOD, J.; HERCOWITZ, Z. y KRUSELL, P. (1997): «Long-run implications of investment-specific technological change», *American Economic Review*, 87 (3), 342-362.
- [14] HERCOWITZ, Z. (1998): «The “embodiment” controversy: a review essay», *Journal of Monetary Economics*, 41 (1), 217-224.
- [15] HESTON, A.; SUMMERS, R. y ATEN, B. (2002): Penn World Table Version 6.1, Center for International Comparisons at the University of Pennsylvania (CICUP), octubre de 2002.
- [16] HULTEN, C. R. (1992): «Growth accounting when technical change is embodied in capital», *American Economic Review*, 82 (4), 964-980.
- [17] IMF (2004): *Producer Price Index Manual: Theory and Practice*. Statistics Department, International Monetary Fund.
- [18] JORGENSEN, D. W. (1966): «The embodiment hypothesis», *Journal of Political Economy*, 74 (1), 1-17.
- [19] KALDOR, N. (1961): «Capital accumulation and economic growth», en F. Lutz y D. Hague (eds.), *The Theory of Capital*, Londres: Macmillan.
- [20] LICANDRO, O.; MAROTO, R. y PUCH, L. A. (2003): «Innovation, investment and productivity: Evidence from Spanish firms», FEDEA, *Documento de Trabajo* 2003-30.
- [21] OULTON, N. (2004): «Productivity versus welfare; or GDP versus Weitzman’s NDP», *Review of Income and Wealth*, 50 (3), 329-355.
- [22] OULTON, N. (2005): «Investment-specific technological change and growth accounting», *Journal Monetary Economics*, forthcoming.
- [23] PRESCOTT, E. C. (2004): «Why do Americans work so much more than Europeans?», *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, 28 (1), 2-13.
- [24] QUAH, D. (2001): «Economic growth: Measurement», *International Encyclopedia of Social and Behavioral Sciences*, ed. Orley Ashenfelter.
- [25] SOLOW, R. M. (1956): «A contribution to the theory of economic growth», *Quarterly Journal of Economics*, 70 (1), 65-94.
- [26] SOLOW, R. M. (1957): «Technical change and the aggregate production function», *Review of Economics and Statistics*, 39 (3), 312-320.
- [27] 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.
- [28] SWAN, T. W. (1956): «Economic growth and capital accumulation», *Economic Record*, 32 (2), 334-361.
- [29] WEITZMAN, M. L. (1976): «On the welfare significance of national product in a dynamic economy», *Quarterly Journal of Economics*, 90, 156-162.
- [30] WHELAN, K. (2002): «A guide to the use of chain aggregated NIPA data», *Review of Income and Wealth*, 48 (2), 217-233.

- [31] WHELAN, K. (2003): «A two-sector approach to modeling U.S. NIPA data», *Journal of Money, Credit and Banking*, 35 (4), 627-656.
- [32] YOUNG, A. (1992a): «A tale of two cities: Comparing economic growth in Hong Kong and Singapore», en O. J. Blanchard y S. Fisher (eds.), *NBER Macroeconomics Annual 1992*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- [33] YOUNG, A. H. (1992b): «Alternative measures of change in real output and prices», *BEA, Survey of Current Business*, 72 (4), 32-48.