

► El progreso tecnológico y el crecimiento

Nuestra conclusión del Capítulo 12 de que la acumulación de capital no puede mantener por sí sola el crecimiento tiene una sencilla consecuencia. Para que el crecimiento sea continuo, es *necesario* que haya progreso tecnológico. En este capítulo analizamos el papel que desempeña el progreso tecnológico en el crecimiento.

- En el apartado 13.1 analizamos el papel que desempeñan el progreso tecnológico y la acumulación de capital en el crecimiento. Mostramos que en el estado estacionario la tasa de crecimiento de la producción por persona es simplemente igual a la tasa de progreso tecnológico.

Eso no significa, sin embargo, que la tasa de ahorro carezca de importancia; la tasa de ahorro afecta al nivel de producción por persona, pero no a su tasa de crecimiento.

- En el apartado 13.2 analizamos los determinantes del progreso tecnológico, centrando la atención especialmente en el papel de la investigación y el desarrollo (I+D).
- En el 13.3 volvemos a analizar los hechos del crecimiento presentados en el Capítulo 11 y los interpretamos a la luz de lo que hemos aprendido en este capítulo y en el anterior.

€ 13.1 El progreso tecnológico y la tasa de crecimiento

En una economía en la que hay tanto acumulación de capital como progreso tecnológico, ¿a qué tasa crece la producción? Para responder a esta pregunta, es necesario ampliar el modelo desarrollado en el Capítulo 12 con el fin de tener en cuenta el progreso tecnológico. Para ello debemos reconsiderar primero la función de producción agregada.

El progreso tecnológico y la función de producción

El progreso tecnológico tiene muchas dimensiones:

- Puede significar mayores cantidades de producción con unas cantidades dadas de capital y trabajo. Piénsese en un nuevo tipo de lubricante que permite que una máquina funcione a mayor velocidad y, por tanto, produzca más.
- Puede significar mejores productos. Piénsese en las continuas mejoras que se han introducido en la seguridad y la comodidad de los automóviles con el paso del tiempo.
- Puede significar nuevos productos. Piénsese en la introducción del lector de discos compactos, del fax, de los teléfonos móviles y de las pantallas planas.
- Puede significar más variedad de productos. Piénsese en el continuo aumento del número de cereales para desayunar que hay en el supermercado local.

Estas dimensiones son más similares de lo que parece. Si pensamos que a los consumidores no les interesan los propios bienes sino los servicios que prestan, todos estos ejemplos tienen algo en común: en todos los casos los consumidores reciben más servicios. Un automóvil mejor da más seguridad, un producto nuevo como el fax o un servicio nuevo como Internet suministra más servicios de información, etc. Si concebimos la producción como el conjunto de servicios subyacentes que prestan los bienes producidos en la economía, podemos pensar que el progreso tecnológico eleva la producción con unas cantidades dadas de capital y trabajo. En ese caso, podemos concebir el *estado de la tecnología* como una variable que nos dice cuánta producción se obtiene con unas cantidades dadas de capital y de trabajo en un momento cualquiera. Si representamos el estado de la tecnología por medio de la letra A , podemos formular la función de producción de la manera siguiente:

$$Y = F(K, N, A)$$

(+, +, +)

Esta es nuestra función de producción ampliada. La producción depende tanto del capital como del trabajo, K y N , como del estado de la tecnología, A : dados el capital y el trabajo, una mejora del estado de la tecnología, A , da lugar a un aumento de la producción.

Resultará útil, sin embargo, emplear una forma algo más restrictiva de la ecuación anterior, a saber:

$$Y = F(K, AN) \quad [13.1]$$

Esta ecuación establece que la producción depende del capital y del trabajo multiplicado por el estado de la tecnología. Esta manera de introducir el estado de la tecnología facilita el estudio de la influencia del progreso tecnológico en la relación entre la producción, el capital y el trabajo. Según la ecuación [13.1], podemos concebir el progreso tecnológico de dos formas equivalentes:

- El progreso tecnológico *reduce* el número de trabajadores necesarios para conseguir una determinada cantidad de producción. Una duplicación de A genera la misma cantidad de producción solo con la mitad del número inicial de trabajadores, N .
- El progreso tecnológico *aumenta* la producción que puede obtenerse con un número dado de trabajadores. Podemos concebir AN como la cantidad de **trabajo efectivo** que hay en la economía. Si se duplica el estado de la tecnología, A , es como si la economía tuviera el doble de trabajadores. En otras palabras, podemos imaginar que la producción es producida por dos factores: capital, K , y trabajo efectivo, AN .

El número medio de artículos existentes en un supermercado aumentó de 2.200 en 1950 a 45.500 en 2005 en Estados Unidos. Para hacerse una idea de lo que eso significa, obsérvese a Robin Williams (que hace el papel de emigrante de la Unión Soviética) en la escena del supermercado de la película *Moscú en Nueva York*.

Como vimos en el recuadro del Capítulo 2 titulado «El PIB real, el progreso tecnológico y el precio de los computadores», concebir los productos como algo que presta una serie de servicios subyacentes es el método que se utiliza para elaborar el índice de precios de los computadores.

Para simplificar el análisis, aquí prescindiremos del capital humano. Volveremos a él más adelante en este capítulo.

AN también se denomina a veces **trabajo en unidades de eficiencia**. El uso del término *eficiencia* para referirse a *unidades de eficiencia* aquí y a *salarios de eficiencia* en el Capítulo 7 es una casualidad: los dos conceptos no guardan ninguna relación.

¿Qué restricciones debemos imponer a la función de producción ampliada [13.1]? Podemos basarnos directamente en nuestro análisis del Capítulo 11.

Es razonable suponer de nuevo que hay rendimientos constantes de escala: *dado el estado de la tecnología, A*, es probable que una duplicación tanto de la cantidad de capital, K , como de la cantidad de trabajo, N , provoque una duplicación de la producción:

$$2Y = F(2K, 2AN)$$

En términos más generales, dado cualquier número positivo x :

$$xY = F(xK, xAN)$$

También es razonable suponer que los dos factores —el capital y el trabajo efectivo— tienen rendimientos decrecientes. Dado el trabajo efectivo, es probable que un aumento del capital eleve la producción, pero a una tasa decreciente. Asimismo, dado el capital, es probable que un aumento del trabajo efectivo eleve la producción, pero a una tasa decreciente.

En el Capítulo 11 resultó útil analizar la producción *por trabajador* y el capital *por trabajador*, ya que el estado estacionario de la economía era un estado en el que la producción y el capital *por trabajador* permanecían constantes. Aquí resulta útil analizar la producción *por trabajador efectivo* y el capital *por trabajador efectivo*. La razón es la misma: como veremos en seguida, en el estado estacionario la producción *por trabajador efectivo* y el capital *por trabajador efectivo* permanecen constantes.

Para hallar la relación entre la producción por trabajador efectivo y el capital por trabajador efectivo, tomemos $x = 1/AN$ de la ecuación anterior. De esa manera tenemos que:

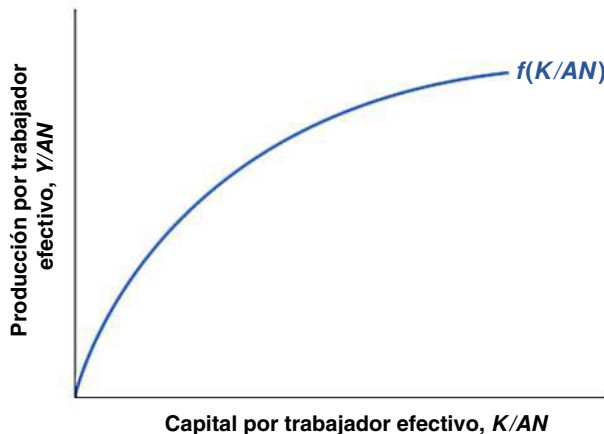
$$\frac{Y}{AN} = F\left(\frac{K}{AN}, 1\right)$$

O si definimos la función f de tal forma que $f(K/AN) \equiv F(K/AN, 1)$,

$$\frac{Y}{AN} = f\left(\frac{K}{AN}\right)$$

En palabras, la producción *por trabajador efectivo* (el primer miembro) es una función del capital *por trabajador efectivo* (la expresión incluida en la función del segundo miembro).

La Figura 13.1 muestra la relación entre la producción por trabajador efectivo y el capital por trabajador efectivo. Se parece mucho a la relación que representamos en la Figura 11.2 entre la producción por trabajador y el capital por trabajador en ausencia de progreso tecnológico. Entonces, los aumentos de K/N elevaban Y/N , pero a una tasa decreciente. Aquí los aumentos de K/AN elevan Y/AN , pero a una tasa decreciente.



Por trabajador: dividido por el número de trabajadores, N . Por trabajador efectivo: dividido por el número de trabajadores efectivos, AN , es decir, el número de trabajadores, N , multiplicado por el estado de la tecnología, A .

Suponga que F tiene forma de doble raíz cuadrada:

$$Y = F(K, AN) = \sqrt{K} \sqrt{AN}$$

En ese caso:

$$\frac{Y}{AN} = \frac{\sqrt{K} \sqrt{AN}}{AN} = \frac{\sqrt{K}}{\sqrt{AN}}$$

Por tanto, la función f es simplemente la función de raíz cuadrada:

$$f(K/AN) = \sqrt{\frac{K}{AN}}$$

Figura 13.1

Relación entre la producción por trabajador efectivo y el capital por trabajador efectivo

Debido a los rendimientos decrecientes del capital, los aumentos del capital por trabajador efectivo generan unos aumentos cada vez menores de la producción por trabajador efectivo.

Interacciones entre la producción y el capital

He aquí una sencilla clave para comprender los resultados de este apartado: los resultados que obtuvimos en el caso de la *producción por trabajador* en el Capítulo 12 siguen siendo válidos en este, pero ahora en el caso de la *producción por trabajador efectivo*. Por ejemplo, en el Capítulo 12 vimos que la producción por trabajador se mantenía constante en el estado estacionario. En este veremos que la producción por trabajador efectivo se mantiene constante en el estado estacionario. Y así sucesivamente.

Ahora tenemos los elementos necesarios para examinar los determinantes del crecimiento. Nuestro análisis será paralelo al del Capítulo 12. Entonces analizamos la dinámica de la *producción por trabajador y el capital por trabajador*. Ahora estudiamos la dinámica de la *producción por trabajador efectivo y el capital por trabajador efectivo*.

En el Capítulo 12 caracterizamos la dinámica de la producción y el capital por trabajador utilizando la Figura 12.2. En esa figura, trazamos tres relaciones:

- La relación entre la producción por trabajador y el capital por trabajador.
- La relación entre la inversión por trabajador y el capital por trabajador.
- La relación entre la depreciación por trabajador —o lo que es lo mismo, la inversión por trabajador necesaria para mantener un nivel constante de capital por trabajador— y el capital por trabajador.

La dinámica del capital por trabajador y, por implicación, de la producción por trabajador era determinada por la relación entre la inversión por trabajador y la depreciación por trabajador. Dependiendo de que la inversión por trabajador fuera mayor o menor que la depreciación por trabajador, el capital por trabajador aumentaba o disminuía con el paso del tiempo, y lo mismo ocurría con la producción por trabajador.

Aquí seguiremos el mismo enfoque para trazar la Figura 13.2. La diferencia se halla en que centramos la atención en la producción, el capital y la inversión *por trabajador efectivo* en lugar de centrarla en la producción, el capital y la inversión por trabajador:

- En la Figura 13.1 hemos obtenido la relación entre la producción por trabajador efectivo y el capital por trabajador efectivo. En la 13.2 repetimos esta relación: la producción por trabajador efectivo aumenta con el capital por trabajador efectivo, pero a una tasa decreciente.
- Partiendo de los mismos supuestos que en el Capítulo 12 —la inversión es igual al ahorro privado y la tasa de ahorro privado es constante—, la inversión viene dada por:

$$I = s = sY$$

Dividiendo los dos miembros por el número de trabajadores efectivos, AN , tenemos que:

$$\frac{I}{AN} = s \frac{Y}{AN}$$

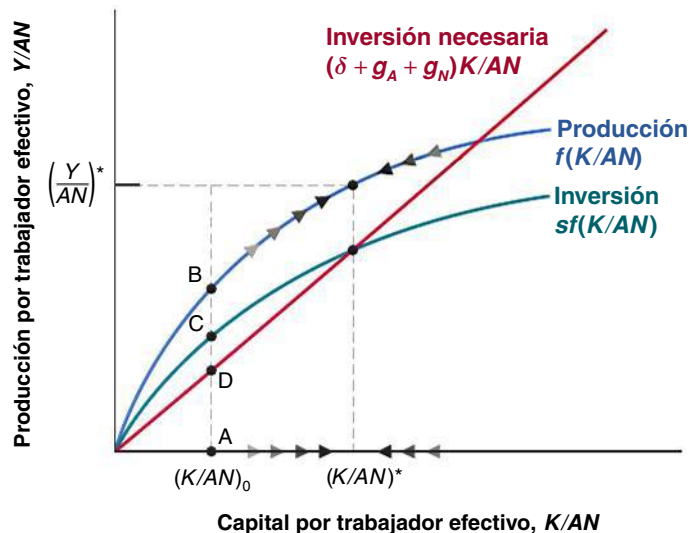


Figura 13.2

La dinámica del capital por trabajador efectivo y de la producción por trabajador efectivo

El capital por trabajador efectivo y la producción por trabajador efectivo tienden hacia valores constantes a largo plazo.

Sustituyendo la producción por trabajador efectivo, Y/AN , por su expresión de la ecuación [13.2], tenemos que:

$$\frac{I}{AN} = sf\left(\frac{K}{AN}\right)$$

La Figura 13.2 muestra la relación entre la inversión por trabajador efectivo y el capital por trabajador efectivo. Es igual a la curva superior —la relación entre la producción por trabajador efectivo y el capital por trabajador efectivo— multiplicada por la tasa de ahorro, s . De esa manera obtenemos la curva inferior.

- Por último, tenemos que preguntarnos qué nivel de inversión por trabajador efectivo es necesario para mantener un nivel dado de capital por trabajador efectivo.

En el Capítulo 12 la respuesta era que para que el capital se mantuviera constante, la inversión tenía que ser igual a la depreciación del *stock* de capital existente. Aquí la respuesta es algo más complicada: ahora que tenemos en cuenta el progreso tecnológico (por lo que A aumenta con el paso del tiempo), el número de trabajadores efectivos, AN , aumenta con el paso del tiempo. Por tanto, para mantener el mismo cociente entre el capital y los trabajadores efectivos, K/AN , es necesario un aumento del stock de capital, K , proporcional al aumento del número de trabajadores efectivos, AN . Examinemos más detenidamente esta condición.

Sea δ la tasa de depreciación del capital. Sea g_A la tasa de progreso tecnológico. Sea g_N la tasa de crecimiento de la población. Si suponemos que el cociente entre el empleo y la población total permanece constante, el número de trabajadores, N , también crece a la tasa anual g_N . Estos supuestos implican conjuntamente que la tasa de crecimiento del trabajo efectivo, AN , es igual a $g_A + g_N$. Por ejemplo, si el número de trabajadores está creciendo un 1 % al año y la tasa de progreso tecnológico es del 2 % al año, la tasa de crecimiento del trabajo efectivo es de un 3 % al año.

Estos supuestos implican que el nivel de inversión necesario para mantener un determinado nivel de capital por trabajador efectivo es:

$$I = \delta K + (g_A + g_N)K$$

o lo que es lo mismo,

$$I = (\delta + g_A + g_N)K \quad [13.3]$$

Se necesita una cantidad, δK , simplemente para mantener constante el *stock* de capital. Si la tasa de depreciación es del 10 %, la inversión debe ser igual al 10 % del *stock* de capital simplemente para mantener el mismo nivel de capital. Y se necesita una cantidad adicional, $(g_A + g_N)K$, para que el *stock* de capital aumente a la misma tasa que el trabajo efectivo. Por ejemplo, si este aumenta un 3 % al año, el capital debe aumentar también un 3 % al año para mantener el mismo nivel de capital por trabajador efectivo. Uniendo δK y $(g_A + g_N)K$ en este ejemplo, si la tasa de depreciación es del 10 % y la tasa de crecimiento del trabajo efectivo es del 3 %, la inversión debe ser igual al 13 % del *stock* de capital para mantener un nivel constante de capital por trabajador efectivo.

Para hallar con mayor precisión la cantidad de inversión por unidad de trabajador efectivo necesaria para mantener un nivel constante de capital por unidad de trabajador efectivo, es necesario repetir los pasos que seguimos en el apartado 12.1, en el que obtuvimos la dinámica del capital por trabajador a lo largo del tiempo. Aquí hallamos de una manera parecida la dinámica del capital por unidad de trabajador efectivo a lo largo del tiempo. Esta puede expresarse de la manera siguiente:

$$\frac{K_{t+1}}{A_{t+1}N_{t+1}} = \left[(1 - \delta) \frac{K_t}{A_t N_t} + sf\left(\frac{K_t}{A_t N_t}\right) \right] \frac{A_t N_t}{A_{t+1} N_{t+1}} \quad [13.4]$$

En el Capítulo 12 partimos del supuesto de que $g_A = 0$ y $g_N = 0$. En este centramos la atención en las consecuencias del progreso tecnológico, $g_A > 0$. Pero una vez que tenemos en cuenta el progreso tecnológico, es sencillo introducir el crecimiento de la población, $g_N > 0$. Por consiguiente, permitimos tanto que $g_A > 0$ como que $g_N > 0$.

La tasa de crecimiento del producto de dos variables es la suma de las tasas de crecimiento de las dos variables. Véase la proposición 7 del apéndice 1 situado al final del libro.

En palabras, el capital por unidad de trabajador efectivo es al comienzo del año $t + 1$ igual al capital por unidad de trabajador efectivo al comienzo del año t , teniendo en cuenta la tasa de depreciación, más la inversión por unidad de trabajador efectivo del año t , que es igual a la tasa de ahorro multiplicada por la producción por unidad de trabajador efectivo del año t .

Si restamos $K_t/A_t N_t$ de los dos miembros de la ecuación y reordenamos los términos, podemos reescribir la ecuación anterior de la manera siguiente:

$$\frac{K_{t+1}}{A_{t+1}N_{t+1}} - \frac{K_t}{A_t N_t} = (1 - \delta) \frac{K_t}{A_t N_t} \left(\frac{1}{1 + g_A} \frac{1}{1 + g_N} \right) + sf \left(\frac{K_t}{A_t N_t} \right) \left(\frac{1}{1 + g_A} \frac{1}{1 + g_N} \right) - \frac{K_t}{A_t N_t}$$

Si suponemos para simplificar el análisis que $g_A g_N \cong 0$ y que $(1 + g_A)(1 + g_N) \cong 1$, la expresión anterior se convierte en:

$$\frac{K_{t+1}}{A_{t+1}N_{t+1}} - \frac{K_t}{A_t N_t} = sf \left(\frac{K_t}{A_t N_t} \right) - (\delta + g_A + g_N) \frac{K_t}{A_t N_t} \quad [13.5]$$

En palabras, la variación del *stock* de capital por unidad de trabajador efectivo —que viene dada por la diferencia entre los dos términos del primer miembro— es igual al ahorro por unidad de trabajador efectivo —que viene dado por el primer término del segundo miembro— menos la depreciación por unidad de trabajador efectivo, que viene dada por el segundo término del segundo miembro.

Para hallar el valor del capital por unidad de trabajador efectivo en el estado estacionario, igualamos a cero el primer miembro de la ecuación anterior y obtenemos:

$$sf \left(\frac{K_t}{A_t N_t} \right) = (\delta + g_A + g_N) \frac{K_t}{A_t N_t} \quad [13.6]$$

El valor del capital por unidad de trabajo efectivo en el estado estacionario es tal que la cantidad de ahorro (el primer miembro) es exactamente la suficiente para cubrir la depreciación del *stock* de capital existente (el segundo miembro).

El nivel de inversión por trabajador efectivo necesario para mantener un determinado nivel de capital por trabajador efectivo está representado por la línea de pendiente positiva llamada *inversión necesaria* en la Figura 13.2. La pendiente de la línea es igual a $(\delta g_A + g_N)$.

La dinámica del capital y de la producción

Ahora podemos describir gráficamente la dinámica del capital por trabajador efectivo y la producción por trabajador efectivo. Consideremos en la Figura 13.2 un determinado nivel de capital por trabajador efectivo, por ejemplo, $(K/AN)_0$. En ese nivel, la producción por trabajador efectivo es igual a la distancia vertical AB. La inversión por trabajador efectivo es igual a AC. La cantidad de inversión necesaria para mantener ese nivel de capital por trabajador efectivo es igual a AD. Como la inversión efectiva es superior al nivel necesario para mantener el nivel existente de capital por trabajador efectivo, K/AN aumenta.

Por tanto, partiendo de $(K/AN)_0$, la economía se mueve hacia la derecha y el nivel de capital por trabajador efectivo aumenta con el paso del tiempo. Este proceso continúa hasta que la inversión por trabajador efectivo es justo la suficiente para mantener el nivel existente de capital por trabajador efectivo, hasta que el capital por trabajador efectivo es igual a $(K/AN)^*$.

A largo plazo, el capital por trabajador efectivo alcanza un nivel constante y lo mismo ocurre con la producción por trabajador efectivo. En otras palabras, el estado estacionario de esta economía es tal que *el capital por trabajador efectivo y la producción por trabajador efectivo son constantes e iguales a $(K/AN)^*$ y $(Y/AN)^*$* , respectivamente.

Eso implica que en el estado estacionario, la producción, Y , crezca a la misma tasa que el trabajo efectivo, AN (por lo que el cociente entre los dos es constante). Como el trabajo

efectivo crece a la tasa $g_A + g_N$, el crecimiento de la producción en el estado estacionario también debe ser igual a $g_A + g_N$. El razonamiento es el mismo en el caso del capital: como el capital por trabajador efectivo se mantiene constante en el estado estacionario, el capital también crece a la tasa $g_A + g_N$.

Estos resultados, expresados en términos del capital o de la producción por trabajador efectivo, parecen bastante abstractos, pero es sencillo expresarlos de una manera más intuitiva y obtener nuestra primera conclusión importante:

En el estado estacionario, la tasa de crecimiento de la producción es igual a la tasa de crecimiento de la población (g_N) más la tasa de progreso tecnológico (g_A). Por implicación, la tasa de crecimiento de la producción es independiente de la tasa de ahorro.

Para comprender mejor intuitivamente este resultado, volvamos al argumento que empleamos en el Capítulo 12 para mostrar que sin progreso tecnológico y sin crecimiento de la población, la economía no podía mantener indefinidamente un crecimiento positivo:

- El argumento era el siguiente: supongamos que la economía tratara de mantener un crecimiento positivo de la producción. Como consecuencia de los rendimientos decrecientes del capital, este tendría que crecer más deprisa que la producción. La economía tendría que dedicar una proporción cada vez mayor de la producción a la acumulación de capital. Llegaría un momento en el que no habría más producción para dedicar a la acumulación de capital y el crecimiento se detendría.
- En este caso, el razonamiento es exactamente el mismo. El trabajo efectivo crece a la tasa $g_A + g_N$. Supongamos que la economía tratara de mantener un crecimiento de la producción superior a $g_A + g_N$. Como consecuencia de los rendimientos decrecientes del capital, este tendría que aumentar más deprisa que la producción. La economía tendría que dedicar una proporción cada vez mayor de la producción a la acumulación de capital. Llegaría un momento en que eso sería imposible. Por tanto, la economía no puede crecer permanentemente a una tasa superior a $g_A + g_N$.

Hemos centrado la atención en la conducta de la producción agregada. Para hacerse una idea de lo que ocurre, no con la producción agregada sino con el nivel de vida con el paso del tiempo, debemos examinar, por el contrario, la conducta de la producción por trabajador (no la conducta de la producción por trabajador *efectivo*). Como la producción crece a la tasa $(g_A + g_N)$ y el número de trabajadores crece a la tasa, g_N , la producción por trabajador crece a la tasa g_A . En otras palabras, *cuando la economía se encuentra en el estado estacionario, la producción por trabajador crece a la tasa de progreso tecnológico.*

Como la producción, el capital y el trabajo efectivo crecen todos ellos a la misma tasa, $g_A + g_N$, en el estado estacionario, el estado estacionario de esta economía también se llama estado de **crecimiento equilibrado**: en el estado estacionario, la producción y los dos factores, el capital y el trabajo efectivo, crecen *equilibradamente*, a la misma tasa. Las características del crecimiento equilibrado resultarán útiles más adelante en este capítulo y se resumen en la Tabla 13.1.

Tabla 13.1 Las características del crecimiento equilibrado

	Tasa de crecimiento de:
1. Capital por trabajador efectivo	0
2. Producción por trabajador efectivo	0
3. Capital por trabajador	g_A
4. Producción por trabajador	g_A
5. Trabajo	g_A
6. Capital	$g_A + g_N$
7. Producción	$g_A + g_N$

◀ Si Y/AN es constante, Y debe crecer a la misma tasa que AN . Por tanto, debe crecer a la tasa $g_A + g_N$

◀ El nivel de vida viene dado por la producción por trabajador (o, más exactamente, por la producción por persona), no por la producción por trabajador efectivo.

◀ La tasa de crecimiento de Y/N es igual a la tasa de crecimiento de Y menos la tasa de crecimiento de N (véase la proposición 8 del Apéndice 1 situado al final del libro). Por tanto, la tasa de crecimiento de Y/N viene dada por $(g_A + g_N) - g_N = g_A$.

En la senda de crecimiento equilibrado (o lo que es lo mismo, en el estado estacionario, o sea, a largo plazo):

- El capital *por trabajador efectivo* y la *producción por trabajador efectivo* se mantienen constantes; este es el resultado que hemos obtenido en la Figura 13.2.
- En otras palabras, el capital *por trabajador* y la *producción por trabajador* crecen a la tasa de progreso tecnológico, g_A .
- O expresado en trabajo, capital y producción, el *trabajo* crece a la tasa de crecimiento de la población, g_N ; el *capital* y la *producción* crecen a una tasa igual a la suma del crecimiento de la población y la tasa de progreso tecnológico, $g_A + g_N$.

Los efectos de la tasa de ahorro

En el estado estacionario, la tasa de crecimiento de la producción *solo* depende de la tasa de crecimiento de la población y de la tasa de progreso tecnológico. Las variaciones de la tasa de ahorro no afectan a la tasa de crecimiento del estado estacionario, pero las variaciones de la tasa de ahorro sí aumentan el nivel de producción por trabajador efectivo del estado estacionario.

Como mejor se ve este resultado es en la Figura 13.3, que muestra el efecto de un aumento de la tasa de ahorro de s_0 a s_1 . El aumento de la tasa de ahorro desplaza la relación de inversión hacia arriba, de $s_0 f(K/AN)$ a $s_1 f(K/AN)$. Por tanto, el nivel de capital por trabajador efectivo correspondiente al estado estacionario aumenta de $(K/AN)_0$ a $(K/AN)_1$ y el nivel de producción por trabajador efectivo de $(Y/AN)_0$ a $(Y/AN)_1$.

Cuando aumenta la tasa de ahorro, el capital por trabajador efectivo y la producción por trabajador efectivo aumentan durante un tiempo a medida que convergen hacia su nuevo nivel más alto. La Figura 13.4 representa la evolución de la producción. La producción se mide en una escala logarítmica. La economía se encuentra inicialmente en la senda de crecimiento equilibrado AA: la producción crece a la tasa $g_A + g_N$, por lo que la pendiente de AA es igual a $g_A + g_N$. Tras el aumento de la tasa de ahorro en el momento t , la producción crece más deprisa durante un tiempo. Finalmente, acaba encontrándose en un nivel más alto que si no hubiera aumentado el ahorro, pero su tasa de crecimiento retorna a $g_A + g_N$. En el nuevo estado estacionario, la economía crece a la misma tasa, pero en una senda de crecimiento más alta, BB. BB, al ser paralela a AA, también tiene una pendiente igual a $g_A + g_N$.

Resumamos: en una economía con progreso tecnológico y crecimiento de la población, la producción crece con el paso del tiempo. En el estado estacionario, la producción *por trabajador efectivo* y el capital *por trabajador efectivo* son constantes. En otras palabras, la producción *por trabajador* y el capital *por trabajador* crecen a la tasa de progreso tecnológico. En otras palabras, la producción y el capital crecen a la misma tasa que el trabajo efectivo y, por tanto, a una tasa igual a la tasa de crecimiento del

La Figura 13.4 es igual que la 12.5, que se adelantó al análisis que presentamos aquí.

Para una descripción de las escalas logarítmicas, véase el Apéndice 1 que se encuentra al final del libro.

Cuando se utiliza una escala logarítmica, una variable que crece a una tasa constante se mueve a lo largo de una línea recta. La pendiente de la línea recta es igual a la tasa de crecimiento de la variable.

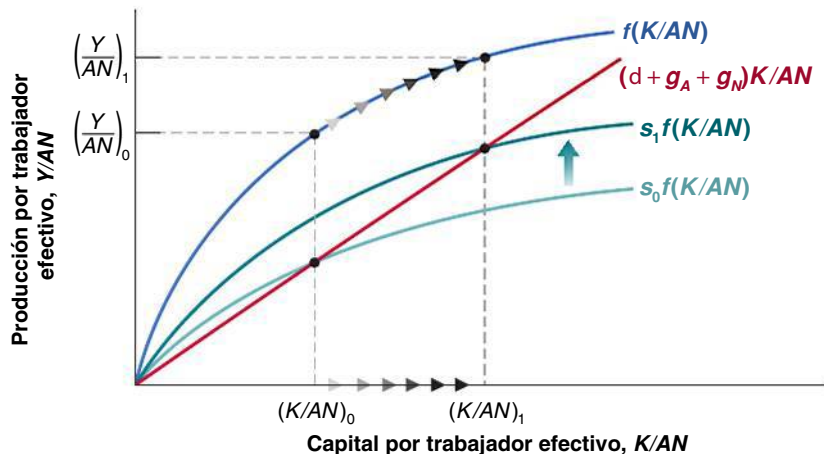


Figura 13.3
Los efectos de un aumento de la tasa de ahorro (1)

Un aumento de la tasa de ahorro provoca un incremento de los niveles de producción por trabajador efectivo y de capital por trabajador efectivo correspondientes al estado estacionario.

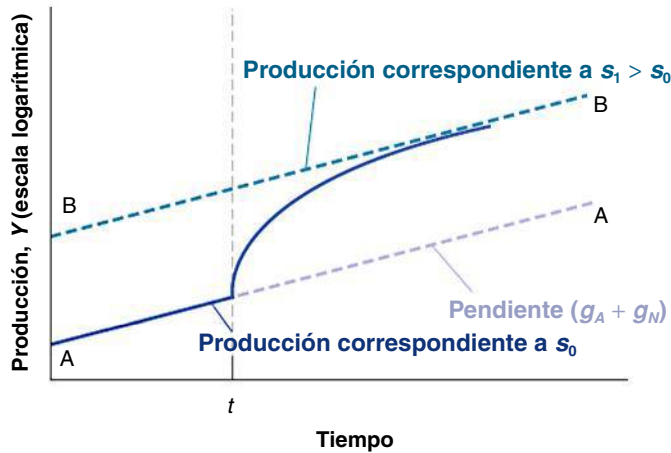


Figura 13.4

Los efectos de un aumento de la tasa de ahorro (2)

Un aumento de la tasa de ahorro provoca un aumento del crecimiento hasta que la economía alcanza su nueva senda, más elevada, de crecimiento equilibrado.

número de trabajadores más la tasa de progreso tecnológico. Cuando la economía se encuentra en un estado estacionario, se dice que se halla en una *senda de crecimiento equilibrado*.

La tasa de crecimiento de la producción en el estado estacionario es independiente de la tasa de ahorro. Esta afecta, sin embargo, al nivel de producción por trabajador efectivo del estado estacionario. Los aumentos de la tasa de ahorro provocan durante un tiempo un aumento de la tasa de crecimiento por encima de la tasa de crecimiento del estado estacionario.

13.2 Los determinantes del progreso tecnológico

Acabamos de ver que la tasa de crecimiento de la producción por trabajador depende, en última instancia, de la tasa de progreso tecnológico. Eso nos lleva naturalmente a hacernos la siguiente pregunta: ¿de qué depende la tasa de progreso tecnológico? Esta es la pregunta de la que nos ocupamos en el presente apartado.

El término *progreso tecnológico* evoca las imágenes de grandes descubrimientos: la invención del microchip, el descubrimiento de la estructura del ADN, etc. Estos descubrimientos sugieren un proceso impulsado en gran medida por las investigaciones científicas y el azar más que por las fuerzas económicas. Pero lo cierto es que en las economías modernas la mayor parte del progreso tecnológico es fruto de un proceso rutinario: el resultado de las actividades de **investigación y desarrollo (I+D)** de las empresas. Los gastos en I+D industrial representan entre el 2 y el 3 % del PIB en cada uno de los cuatro países más ricos que examinamos en el Capítulo 11 (Estados Unidos, Francia, Japón y el Reino Unido). Alrededor de un 75 % de cerca de un millón de científicos e investigadores estadounidenses que se dedican a la I+D trabaja en empresas. El gasto de las empresas estadounidenses en I+D representa más del 20 % de su gasto en inversión bruta y más del 60 % de su gasto en inversión neta (inversión bruta menos depreciación).

Las empresas gastan en I+D por la misma razón por la que compran máquinas nuevas o construyen plantas nuevas: para aumentar los beneficios. Incrementando el gasto en I+D, una empresa aumenta la probabilidad de descubrir y desarrollar un nuevo producto (utilizamos *producto* genéricamente para referirnos a los nuevos bienes o a las nuevas técnicas de producción). Si un nuevo producto tiene éxito, los beneficios de la empresa aumentan. Existe, sin embargo, una importante diferencia entre comprar una máquina y gastar más en I+D. La diferencia se halla en que el resultado de la I+D son fundamentalmente *ideas*. Y las ideas, a diferencia de una máquina, pueden ser utilizadas por muchas empresas al mismo tiempo. Una empresa que acaba de adquirir una máquina nueva no tiene que preocuparse de que otra la utilice. Una empresa que ha descubierto y desarrollado un nuevo producto no puede hacer lo mismo.

Este último punto implica que el nivel de gasto en I+D depende no solo de la **fecundidad** del proceso de *investigación*, es decir, de cómo se traduce el gasto en I+D en nuevas ideas y nuevos productos, sino también de la **posibilidad de apropiarse** de los resultados de esa investigación, es decir, del grado en que las empresas se benefician de los resultados de su propia I+D. Veamos cada uno de estos aspectos por separado.

La fecundidad del proceso de investigación

Si la investigación es muy fecunda —es decir, si el gasto en I+D se traduce en muchos productos nuevos—, entonces, manteniéndose todo lo demás constante, las empresas tendrán muchos incentivos para realizar I+D y, por implicación, el progreso tecnológico será grande. Los determinantes de la fecundidad de la investigación se encuentran en gran parte fuera del reino de la economía. Son muchos los factores que interactúan en este caso: la fecundidad de la investigación depende de la interacción fructífera de la investigación básica (la búsqueda de principios y resultados generales) y la investigación y el desarrollo aplicados (la aplicación de estos resultados a fines específicos y el desarrollo de nuevos productos). La investigación básica no genera por sí sola progreso tecnológico, pero el éxito de la investigación y el desarrollo aplicados depende, en última instancia, de la investigación básica. Una gran parte del desarrollo de la industria informática puede atribuirse a unos pocos avances, desde la invención del transistor hasta la invención del microchip. De hecho, el aumento que ha experimentado recientemente la productividad en Estados Unidos y que analizamos en el Capítulo 1 se atribuye en general a la difusión en su economía de los avances de la tecnología de la información (esta cuestión se analiza más extensamente en el recuadro titulado «La tecnología de la información, la nueva economía y el crecimiento de la productividad»).

En el Capítulo 12 analizamos el papel del capital humano como factor de producción: las personas que tienen un nivel de estudios más alto pueden utilizar máquinas más complejas o realizar tareas más complejas. Aquí vemos un segundo papel del capital humano: mejores investigadores y científicos, y, por implicación, una tasa más alta de progreso tecnológico.

Parece que algunos países tienen más éxito en la investigación básica; otros tienen más éxito en la investigación y el desarrollo aplicados. Algunos estudios apuntan, entre otras razones, a las diferencias entre los sistemas de educación. Por ejemplo, suele decirse que el sistema francés de enseñanza superior, con su enorme énfasis en el pensamiento abstracto, produce investigadores mejores para la investigación básica que para la investigación y el desarrollo aplicados. Otros estudios también apuntan a la importancia de la *cultura de empresa*, en la que una gran parte del progreso tecnológico se debe a la capacidad de los empresarios para organizar con éxito el desarrollo y la comercialización de nuevos productos, aspecto en el que Estados Unidos parece mejor que casi todos los demás países.

Se tarda muchos años y a menudo muchas décadas en aprovechar todo el potencial de los grandes descubrimientos. Normalmente, un gran descubrimiento lleva a explorar sus posibles aplicaciones, a desarrollar a continuación nuevos productos y, finalmente, a adoptar estos nuevos productos. Un ejemplo que nos resulta familiar a todos es el ordenador personal. Veinte años después de que se introdujera, a menudo parece como si acabáramos de descubrir sus usos.

Un viejo temor es que la investigación sea cada vez menos fecunda, que ya se hayan realizado casi todos los grandes descubrimientos y que se desacelere el progreso tecnológico. Este temor podría deberse a que se piensa en la minería, donde primero se explotaron las minas mejores y luego se ha tenido que recurrir a las de peor calidad. Pero esta no es más que una analogía y hasta ahora no hay pruebas de que sea válida.

La posibilidad de apropiarse de los resultados de la investigación

El segundo determinante del nivel de I+D y del progreso tecnológico es la *posibilidad de apropiarse* de los resultados de la investigación. Si las empresas no pueden apropiarse de los beneficios generados por el desarrollo de nuevos productos, no realizarán I+D y el progreso tecnológico será lento. Una vez más, son muchos los factores que entran en juego.

TEMAS CONCRETOS

La tecnología de la información, la nueva economía y el crecimiento de la productividad



En Estados Unidos, el crecimiento anual medio de la productividad fue entre 1996 y 2006 de un 2,8 %, cifra alta en relación con la anémica media de 1,8 % registrada entre 1970 y 1995. Eso ha llevado a algunos a proclamar la **revolución de la tecnología de la información**, a anunciar la aparición de una **nueva economía** y a predecir un largo periodo de elevado crecimiento de la productividad en el futuro.

¿Qué debemos pensar de estas afirmaciones? Las investigaciones realizadas hasta la fecha dan motivos para mostrarse tanto optimistas como cautos. Sugieren que el elevado crecimiento reciente de la productividad está ligado realmente al desarrollo de la tecnología de la información. También sugieren que debe hacerse una clara distinción entre lo que está ocurriendo en el sector de la tecnología de la información (TI), que es el sector que produce computadores, programas y servicios

informáticos, y equipos de comunicaciones, y el resto de la economía, que utiliza esta tecnología:

- En el sector de TI, el progreso tecnológico ha avanzado realmente a un ritmo extraordinario. En 1965, el investigador Gordon Moore, que fundó más tarde Intel Corporation, predijo que el número de transistores que hay en un chip se duplicaría cada año y medio o dos años, lo que permitió que las computadoras fueran cada vez más potentes. Como muestra la Figura 13.5, esta relación —conocida hoy con el nombre de **ley de Moore**— se ha cumplido extraordinariamente bien con el paso del tiempo. El primer chip lógico fabricado en 1971 tenía 2.300 transistores; el Pentium 4, que apareció en 2000, tenía 42 millones (el Intel Core 2, que salió en 2006, por lo que no se ha incluido en la figura, tiene 291 millones).

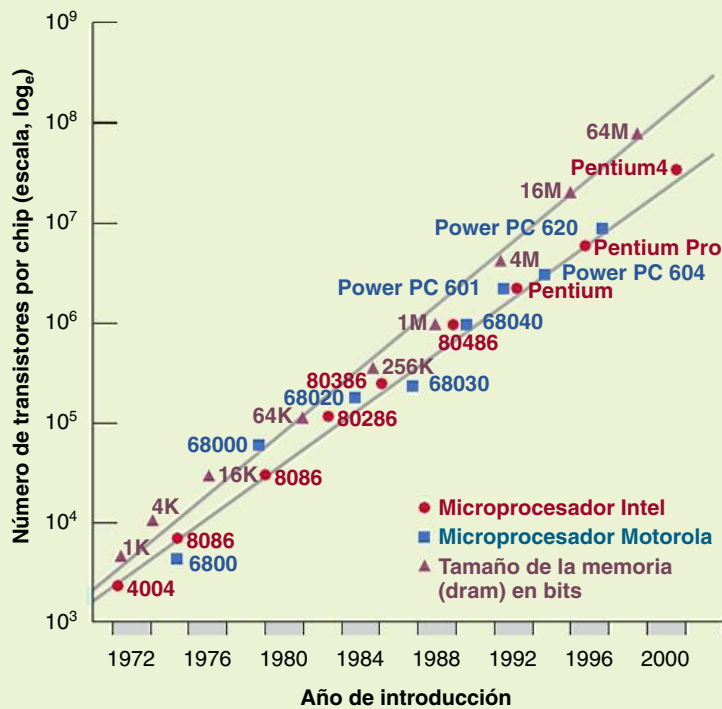


Figura 13.5

La ley de Moore: número de transistores por chip, 1970-2000

Fuente: Dale Jorgenson, «Information Technology and the US Economy», *American Economic Review*, 2001, 91(1), págs. 1-32.



El progreso tecnológico en el resto del sector de TI, aunque ha avanzado a un ritmo menos extraordinario, también ha sido muy alto. Y la participación del sector de TI en el PIB está aumentando ininterrumpidamente: ha pasado de un 3 % del PIB en 1980 a un 7 % hoy. Esta combinación de elevado progreso tecnológico en el sector de TI y creciente participación del sector ha provocado un continuo aumento de la tasa de progreso tecnológico en el conjunto de la economía. Este es uno de los factores que se encuentran tras el elevado crecimiento que ha experimentado la productividad en Estados Unidos desde mediados de los años noventa.

Sin embargo, en el sector no relacionado con la IT —la *vieja economía*, que en Estados Unidos sigue representando más de un 90 % de la economía—, apenas existen pruebas de que se haya producido una revolución tecnológica paralela.

- Por una parte, el continuo descenso del precio del equipo de TI (debido al progreso tecnológico del sector) ha llevado a las empresas del sector no relacionado con la TI a aumentar su *stock* de capital de TI, lo cual ha provocado un aumento del cociente del capital por trabajador y un aumento del crecimiento de la productividad en este sector.

Formulemos este argumento en términos algo más formales. Volvamos a la ecuación [13.2], que muestra la relación entre la producción por trabajador efectivo y el cociente del capital por trabajador efectivo:

$$Y/AN = f(K/AN)$$

Imaginemos que esta ecuación indica la relación entre la producción por trabajador efectivo y el capital por trabajador efectivo en el sector no relacionado con la TI. Según los datos, el descenso del precio del capital de TI ha llevado a las empresas a aumentar su *stock* de capital de TI y, por implicación, su *stock* total de capital. En

otras palabras, K/AN ha aumentado en el sector no relacionado con la TI, provocando un aumento de Y/AN .

- Por otra parte, la revolución de la TI no parece que haya producido un gran efecto directo en el ritmo de progreso tecnológico en el sector no relacionado con la TI. Seguramente el lector habrá oído decir que la revolución de la tecnología de la información estaba obligando a las empresas a reorganizarse totalmente, lo que ha provocado un gran incremento de la productividad. Es posible que las empresas estén reorganizándose, pero hasta ahora no existen pruebas de que eso haya aumentado mucho la productividad: las medidas del progreso tecnológico solo muestran un pequeño aumento de la tasa de progreso tecnológico en el sector no relacionado con la TI con respecto a la media posterior a 1970.

Utilizando la relación de la función de producción que acabamos de analizar, no existen pruebas de que la revolución tecnológica haya elevado la tasa de crecimiento de A en el sector no relacionado con la TI.

¿Hay razones para esperar que el crecimiento de la productividad sea mayor en el futuro que en los últimos 25 años? La respuesta es afirmativa: los factores que acabamos de analizar están ahí. Es probable que el progreso tecnológico en el sector de TI siga siendo alto y que la proporción de TI continúe aumentando. Además, las empresas del resto de sectores probablemente aumentarán aún más su *stock* de capital de TI, lo que provocará nuevos incrementos de la productividad.

¿Cuánto es de esperar que crezca la productividad en el futuro? Probablemente no tanto como entre 1996 y 2006, pero según algunas previsiones, podría ser 0,5 puntos porcentuales mayor que la media posterior a 1970. Esta cifra tal vez no sea el milagro que han afirmado algunos, pero si se mantiene, es un aumento que influirá notablemente en el nivel de vida de Estados Unidos en el futuro.

Nota: para más información sobre estas cuestiones, véase Dale Jorgenson, «*Information Technology and the U.S. Economy*», *American Economic Review*, 2001, 91(1), págs. 1-32.

La naturaleza del propio proceso de investigación es importante. Por ejemplo, si se cree en general que el descubrimiento de un nuevo producto por parte de una empresa llevará rápidamente a otra a descubrir otro aún mejor, es posible que sea poco rentable ser el primero en realizar el descubrimiento. En otras palabras, un fecundo campo de investigación puede no generar un elevado nivel de I+D, ya que a ninguna empresa le parecerá que la inversión merece la pena. Este ejemplo es extremo, pero revelador.

Aún más importante es el grado de protección que dan las leyes a los nuevos productos. Sin esa protección legal, es probable que los beneficios generados por el desarrollo de un nuevo producto sean bajos. Salvo en los casos excepcionales en los que el producto se basa en un secreto comercial (como Coca-Cola), generalmente otras empresas no tardan mucho en producir el mismo producto y eliminar cualquier ventaja que tenga inicialmente la empresa innovadora. Esa es la razón por la que los países tienen leyes sobre patentes.

Una **patente** concede a la empresa que ha descubierto un nuevo producto —normalmente una nueva técnica o dispositivo— el derecho a excluir a todas las demás de la producción o del uso de ese nuevo producto durante un tiempo.

¿Cómo deben elaborar los gobiernos la legislación sobre patentes? Por una parte, la protección es necesaria para dar a las empresas incentivos para gastar en I+D. Por otra, una vez que las empresas han descubierto nuevos productos, sería mejor para la sociedad que los conocimientos plasmados en esos nuevos productos se pusieran a disposición de otras empresas y del público sin restricción alguna. Pensemos, por ejemplo, en la investigación biogenética. La perspectiva de obtener grandes beneficios es lo único que lleva a las empresas de bioingeniería a embarcarse en caros proyectos de investigación. Una vez que una empresa ha encontrado un nuevo producto y este puede salvar muchas vidas, sería claramente mejor ponerlo a disposición de todos los posibles usuarios a su coste. Pero si se siguiera sistemáticamente esa política, desaparecerían los incentivos de las empresas para hacer investigación. La legislación sobre patentes debe encontrar, pues, un difícil punto medio. Un grado excesivamente bajo de protección genera poca I+D. Un grado excesivo de protección hace que resulte difícil para la nueva I+D basarse en los resultados de la I+D pasada, lo que también puede generar poca I+D (la tira cómica sobre la clonación ilustra la dificultad de elaborar unas buenas leyes de patentes o de derechos de reproducción).

◀ Este tipo de dilema se conoce con el nombre de *incoherencia temporal*. En el Capítulo 23 veremos otros ejemplos y analizaremos extensamente la cuestión.

Estas cuestiones van más allá de las leyes de patentes. Por poner dos controvertidos ejemplos, ¿debe mantenerse Microsoft tal como está o dividirse para estimular la I+D? ¿Debe limitar el gobierno los precios máximos de los medicamentos contra el sida?



Fuente: © Chappatte-www.globecartoon.com.

Los países menos avanzados desde el punto de vista tecnológico suelen tener un grado más bajo de protección por medio de patentes. Por ejemplo, China es un país en el que apenas se vela por el cumplimiento de los derechos de patente. Nuestro análisis ayuda a explicar por qué. Estos países generalmente son usuarios de las nuevas tecnologías más que productores. Una gran parte de la mejora de su productividad no se debe a los inventos realizados por ellos, sino a la adaptación de tecnologías extranjeras. En este caso, los costes de una débil protección por medio de patentes son bajos, ya que de todas maneras habría pocos inventos nacionales. Pero los beneficios de un bajo grado de protección son evidentes: permiten a las empresas nacionales utilizar y adaptar la tecnología extranjera sin tener que pagar *royalties* a las empresas que la desarrollaron, lo cual es bueno para el país.

13.3 Reconsideración de los hechos del crecimiento

Ahora podemos utilizar la teoría que hemos desarrollado en este capítulo y en el 12 para interpretar algunos de los hechos que vimos en el 11.

Acumulación de capital o progreso tecnológico en los países ricos desde 1950

Supongamos que observamos una economía que tiene una elevada tasa de crecimiento de la producción por trabajador durante un tiempo. Nuestra teoría implica que este rápido crecimiento puede deberse a una de las dos causas siguientes:

- Puede deberse a una elevada tasa de progreso tecnológico con un crecimiento equilibrado.
- O puede deberse al ajuste del capital por trabajador efectivo, K/AN , a un nivel más alto. Como hemos visto en la Figura 13.5, ese ajuste lleva a un periodo de mayor crecimiento, aunque la tasa de progreso tecnológico no haya aumentado.

¿Podemos saber qué parte del crecimiento se debe a una de las fuentes y cuál a la otra? Sí. Si el elevado crecimiento refleja un elevado crecimiento equilibrado, la producción por trabajador debe estar creciendo a una tasa *igual* a la tasa de progreso tecnológico (véase la cuarta fila de la Tabla 13.1). Si se debe, en cambio, al ajuste a un mayor nivel de capital por trabajador efectivo, este ajuste debe traducirse en una tasa de crecimiento de la producción por trabajador *superior* a la tasa de progreso tecnológico.

Apliquemos este enfoque para interpretar los hechos sobre el crecimiento de los países ricos que vimos en la Tabla 11.1. Lo aplicamos en la Tabla 13.2, que indica en la primera columna la tasa media de crecimiento de la producción por trabajador, $g_Y - g_N$, y en la segunda la tasa media de progreso tecnológico, g_A , desde 1950, de cada uno de los seis países —Francia, Irlanda, Japón, Suecia, Reino Unido y Estados Unidos— que analizamos en la Tabla 11.1 (obsérvese una diferencia entre las tablas 11.1 y 13.2: como sugiere la teoría, la 13.2 analiza la tasa de crecimiento de la producción por trabajador, mientras que la 11.1, que centra la atención en el nivel de vida, analiza la tasa de crecimiento de la producción por persona; las diferencias son pequeñas). La tasa de progreso tecnológico, g_A , se calcula utilizando un método introducido por Robert Solow; este método y los detalles del cálculo se explican en el recuadro titulado «Cálculo de una medida del progreso tecnológico».

La tabla lleva a dos conclusiones. En primer lugar, el crecimiento registrado desde 1950 ha sido el resultado del rápido progreso tecnológico, no de una acumulación de capital excepcionalmente elevada. Esta conclusión se desprende del hecho de que en los cuatro países la tasa de crecimiento de la producción (columna 1) ha sido aproximadamente igual a la tasa de progreso tecnológico (columna 2). Eso es lo que cabría esperar cuando los países crecen a lo largo de su senda de crecimiento equilibrado.

Tabla 13.2 Tasas anuales medias de crecimiento de la producción por trabajador y de progreso tecnológico de seis países ricos desde 1950

	Tasa de crecimiento de la producción por trabajador (%) 1950-2004	Tasa de progreso tecnológico (%) 1950-2004
Francia	3,02	3,01
Irlanda	—	—
Japón	4,02	3,08
Suecia	—	—
Reino Unido	2,04	2,06
Estados Unidos	1,08	2,00
Media		

Nota: la *media* es una media simple de las tasas de crecimiento de cada columna.

Fuentes: 1950-1960: Angus Maddison, *Dynamic Forces in Capitalist Development*, Nueva York, Oxford University Press, 1991. 1970-2004: base de datos de *Economic Outlook* de la OCDE.

En Estados Unidos, por ejemplo, el cociente entre el empleo y la población aumentó del 38 % en 1950 al 51 en 2006, lo que representa un aumento del 0,18 % al año. Por tanto, en Estados Unidos la producción por persona ha aumentado un 0,18 % más al año que la producción por trabajador, diferencia pequeña en relación con las cifras de la tabla.

Obsérvese lo que no dice esta conclusión: no dice que la acumulación de capital fuera irrelevante. La acumulación de capital fue tal que permitió a estos países mantener un cociente más o menos constante entre la producción y el capital, y lograr un crecimiento equilibrado. Lo que dice es que durante el periodo examinado el crecimiento no se debió a un aumento excepcional de la acumulación de capital, sino a un aumento del cociente entre el capital y la producción,

En segundo lugar, la convergencia de la producción por trabajador de los distintos países se ha debido al aumento del progreso tecnológico más que a una aceleración de la acumulación del capital en los países que comenzaron rezagados. Esta conclusión se desprende de la ordenación de las tasas de progreso tecnológico de los cuatro países en la segunda columna, en la que Japón ocupa el primer lugar y Estados Unidos el último.

Esta conclusión es importante. Cabe pensar, en general, en dos causas de la convergencia de los países. En primer lugar, los países más pobres lo son porque tienen menos capital inicial. Con el paso del tiempo, acumulan capital más deprisa que los demás, por lo que convergen. En segundo lugar, los países más pobres lo son porque son menos avanzados que los demás desde el punto de vista tecnológico. Con el paso del tiempo se vuelven más sofisticados, bien importando tecnología de los países avanzados, bien desarrollando la suya propia. A medida que convergen los niveles tecnológicos, también converge la producción por trabajador. La conclusión que podemos extraer de la Tabla 13.2 es que en el caso de los países ricos la fuente más importante de la convergencia en este caso es claramente la segunda.

◀ ¿Qué habría ocurrido con la tasa de crecimiento de la producción por trabajador si estos países hubieran tenido la misma tasa de progreso tecnológico pero ninguna acumulación de capital durante ese periodo?

◀ Aunque en la tabla solo se mencionan cuatro países, se extrae una conclusión parecida cuando se examina todo el conjunto de países de la OCDE. La convergencia se debe principalmente a que los países que se encontraban rezagados en 1950 han tenido desde entonces unas tasas de progreso tecnológico más altas.

TEMAS CONCRETOS

Elaboración de una medida del progreso tecnológico



En 1957, Robert Solow ideó un método para calcular el progreso tecnológico. Este método, que aún se emplea se basa en un importante supuesto: cada factor de producción recibe su producto marginal.

Con este supuesto, es fácil calcular la contribución de un aumento de cualquier factor de producción al incremento de la producción. Por ejemplo, si un trabajador gana 30.000 euros al año, el supuesto implica que su contribución a la producción es igual a 30.000 euros. Supongamos ahora que este trabajador aumenta un 10 % el número de horas que trabaja. El aumento de la producción generado por el incremento de su número de horas es, pues, igual a $30.000 \text{ €} \times 10 \%$, o sea, 3.000 euros.

Expresémoslo en términos más formales. Sean Y la producción, N el trabajo y W/P el salario real. En ese caso, acabamos de demostrar que la variación de la producción es igual al salario real multiplicado por la variación del trabajo:

$$\Delta Y = \frac{W}{P} \Delta N$$

Dividiendo los dos miembros de la ecuación por Y , dividiendo y multiplicando el segundo por N , y reorganizando, tenemos que:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{WN}{PY} \frac{\Delta N}{N}$$

Obsérvese que el primer término del segundo miembro, WN/PY , es igual a la participación del trabajo en la producción, es decir, la masa salarial total en euros dividida por el valor de la producción en euros. Representemos esta participación por medio de α . Obsérvese que $\Delta Y/Y$ es la tasa de crecimiento de la producción y representémosla por medio de g_Y . Obsérvese también que $\Delta N/N$ es la tasa de variación del trabajo y representémosla por medio de g_N . En ese caso, la relación anterior puede expresarse de la forma siguiente:

$$g_Y = \alpha g_N$$

En términos más generales, este razonamiento implica que la parte del crecimiento de la producción atribuible al crecimiento del trabajo es igual a α multiplicado por g_N . Por ejemplo, si el empleo crece un 2 % y la participación del trabajo es de 0,7, el crecimiento de la producción que se debe al crecimiento del empleo es igual a 1,4 % ($0,7 \times 2 \%$).

También podemos calcular la proporción del crecimiento de la producción atribuible al crecimiento del *stock* de capital. Como solo hay dos factores de

producción, trabajo y capital, y como la participación del trabajo es igual a α , la participación del capital en la renta debe ser igual a $1 - \alpha$. Si la tasa de crecimiento del capital es igual a g_K , la parte del crecimiento de la producción atribuible al crecimiento del capital es igual a $1 - \alpha$ multiplicado por g_K . Por ejemplo, si el capital crece un 5 % y la participación del capital es 0,3, el crecimiento de la producción que se debe al crecimiento del *stock* de capital es igual a un 1,5 % ($0,3 \times 5$ %).

Uniendo las aportaciones del trabajo y del capital, el crecimiento de la producción atribuible al crecimiento tanto del trabajo como del capital es igual a $\alpha g_N + (1 - \alpha)g_K$.

Podemos medir entonces los efectos del progreso tecnológico calculando lo que Solow llama *residuo*, que es el exceso de crecimiento efectivo de la producción, g_Y , sobre el crecimiento atribuible al crecimiento del trabajo y del capital, $\alpha g_N + (1 - \alpha)g_K$:

$$\text{Residuo} \equiv g_Y - [\alpha g_N + (1 - \alpha)g_K]$$

Esta medida se denomina **residuo de Solow**. Es fácil calcularla: lo único que se necesita es saber cuáles son la tasa de crecimiento de la producción, g_Y , la tasa de crecimiento del trabajo g_N , y la tasa de crecimiento del capital, g_K , así como las participaciones del trabajo, α , y del capital, $1 - \alpha$.

Para continuar con nuestros ejemplos numéricos anteriores, supongamos que el empleo crece un 2 %, el *stock* de capital crece un 5 % y la participación del trabajo es de 0,7 (y, por tanto, la del capital es de 0,3). En ese caso, la parte del crecimiento de la producción atribuible al crecimiento del trabajo y al crecimiento del capital es igual a 2,9 % ($0,7 \times 2$ % + $0,3 \times 5$ %). Si el crecimiento de la producción es igual, por ejemplo, a un 4 %, el residuo de Solow es igual a un 1,1 % (4 % - $2,9$ %).

El residuo de Solow se denomina a veces **tasa de crecimiento de la productividad total de los factores** (o **tasa de crecimiento de la PTF** para abreviar) para distinguirlo de la *tasa de crecimiento de la productividad del trabajo*, que es $g_Y - g_N$, es decir, la tasa de crecimiento de la producción menos la tasa de crecimiento del trabajo.

El residuo de Solow está relacionado con la tasa de progreso tecnológico de una sencilla manera. El residuo es igual a la participación del trabajo multiplicada por la tasa de progreso tecnológico:

$$\text{Residuo} = \alpha g_A$$

No demostraremos aquí este resultado. Pero la idea intuitiva de esta relación se deduce del hecho de que lo que importa en la función de producción $Y = F(K, AN)$ (ecuación [13.1]) es el estado de la tecnología multiplicado por el trabajo, AN . Hemos visto que para hallar la contribución del crecimiento del trabajo al crecimiento de la producción, debemos multiplicar la tasa de crecimiento del trabajo por su participación. Como N y A entran de la misma forma en la función de producción, es evidente que para hallar la contribución del progreso tecnológico al crecimiento de la producción, también debemos multiplicarla por la participación del trabajo.

Si el residuo de Solow es igual a 0, también lo es el progreso tecnológico. Para calcular g_A , debemos hallar el residuo de Solow y dividirlo por la participación del trabajo. Es así como se han realizado las estimaciones de g_A presentadas en el texto.

En el ejemplo numérico que hemos visto antes, el residuo de Solow es igual a 1,1 % y la participación del trabajo es igual a 0,7. Por tanto, la tasa de progreso tecnológico es igual a 1,6 % ($1,1$ % / $0,7$).

Tenga el lector claras las definiciones del crecimiento de la productividad que hemos visto en este capítulo:

- Crecimiento de la productividad del trabajo (en otras palabras, tasa de crecimiento de la producción por trabajador), $g_Y - g_N$.
- Tasa de progreso tecnológico: g_A .

En el estado estacionario, el crecimiento de la productividad del trabajo, $g_Y - g_N$, es igual a la tasa de progreso tecnológico, g_A . Fuera del estado estacionario no tienen por qué ser iguales: un aumento del cociente del capital por trabajador efectivo causado, por ejemplo, por un aumento de la tasa de ahorro hace que $g_Y - g_N$ sea mayor que g_A durante un tiempo.

Fuente: Robert Solow, «Technical Change and the Aggregate Production Function», *Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3), págs. 312-320.

¿Acumulación de capital o progreso tecnológico en China desde 1980?

Dejando de lado el crecimiento de los países de la OCDE, uno de los hechos destacados del Capítulo 11 eran las elevadas tasas de crecimiento que han logrado algunos países asiáticos. Eso plantea de nuevo las mismas cuestiones que acabamos de analizar: ¿se deben estas elevadas tasas de crecimiento a un rápido progreso tecnológico o a una acumulación de capital excepcionalmente alta?

Para responder a estas preguntas, centraremos la atención en China por sus dimensiones y por la tasa asombrosamente alta de crecimiento de la producción, de casi un 10 %,

que ha logrado desde principios de los años ochenta. La Tabla 13.3 muestra la tasa media de crecimiento, g_y , la tasa media de crecimiento de la producción por trabajador, $g_Y - g_N$, y la tasa media de progreso tecnológico, g_A , del periodo 1983-2003. El hecho de que las dos últimas cifras sean casi iguales lleva a una conclusión muy clara: en China el crecimiento ha sido casi equilibrado desde principios de los años ochenta y el elevado crecimiento de la producción por trabajador se debe a una elevada tasa de progreso tecnológico, del 8,2 % al año, en promedio.

Tabla 13.3 Tasa anual media de crecimiento de la producción por trabajador y de progreso tecnológico en China, 1983-2003

Tasa de crecimiento de la producción (%)	Tasa de crecimiento de la producción por trabajador (%)	Tasa de progreso tecnológico (%)
9,7	8,0	8,0

Fuente: *Economic Survey of China*, OCDE, 2005.

Esta conclusión es importante, ya que muestra el papel fundamental que desempeña el progreso tecnológico en la explicación del crecimiento de China. Pero, al igual que en nuestro análisis de los países de la OCDE, sería un error extraer la conclusión de que la acumulación de capital es irrelevante. Para mantener un crecimiento equilibrado a una tasa de crecimiento tan alta, el *stock* de capital chino ha tenido que aumentar a la misma tasa que la producción, para lo cual ha sido necesaria, a su vez, una elevadísima tasa de inversión. Para ver qué tasa de inversión ha sido necesaria, volvamos a la ecuación [13.3] y dividamos los dos miembros por la producción, Y , para obtener:

$$\frac{1}{Y} = (\delta + (g_A + g_N)) \frac{K}{Y}$$

Introduzcamos las cifras de China correspondientes al periodo 1983-2003. El cálculo de d , la tasa de depreciación del capital de China, es de un 5 % al año. Como acabamos de ver, el valor medio de g_A en ese periodo es del 8,2 %. El valor medio de g_N , la tasa de crecimiento del empleo, es del 1,7 %. El valor medio del cociente entre el capital y la producción es 2,6. Eso implica un cociente entre la inversión y la producción de $(5 \% + 9,2 \% + 1,7 \%) \times 2,6 = 41 \%$. Por tanto, para mantener un crecimiento equilibrado, China ha tenido que invertir el 41 % de su producción, lo que representa una elevadísima tasa de inversión en comparación, por ejemplo, con la de Estados Unidos. Por tanto, la acumulación de capital desempeña un importante papel en la explicación del crecimiento chino, pero aun así el continuo crecimiento se ha debido a una elevada tasa de progreso tecnológico.

¿Cómo ha sido capaz China de lograr tamaño progreso tecnológico? El análisis más detenido de los datos sugiere dos grandes vías. En primer lugar, China ha transferido trabajo del campo, donde la productividad es muy baja, a la industria y a los servicios de las ciudades, donde la productividad es mucho mayor. En segundo lugar, ha importado la tecnología de los países más avanzados desde el punto de vista tecnológico. Por ejemplo, ha fomentado el desarrollo de proyectos conjuntos entre empresas chinas y empresas extranjeras. Las empresas extranjeras han aparecido con mejores tecnologías y las empresas chinas han aprendido con el tiempo a utilizarlas.

Eso nos lleva a una cuestión general: es probable que el tipo de progreso tecnológico sea diferente en las economías más avanzadas y en las menos avanzadas. Las economías más avanzadas, al estar por definición en la **frontera tecnológica**, necesitan desarrollar nuevas ideas, nuevos procesos y nuevos productos. Necesitan innovar. Los países que se encuentran rezagados pueden mejorar su nivel de tecnología imitando y adaptando los nuevos procesos y productos desarrollados en las economías más avanzadas. Necesitan imitar. Cuanto más rezagado se encuentre un país, mayor es el papel de la imitación en relación con la innovación. Como es probable que la imitación sea más fácil que la innovación, eso puede explicar por qué la convergencia tanto dentro de la OCDE como en el caso de China y otros

◀ **Recuérdese** que en la Tabla 13.1 hemos visto que cuando el crecimiento está equilibrado, $g_K = g_Y = g_A + g_N$.

◀ **Este cociente se parece mucho, de hecho, al que obtenemos cuando analizamos directamente la inversión y la producción en la contabilidad nacional china.**

países normalmente adopte la forma de **convergencia tecnológica**. Plantea, sin embargo, otra cuestión: si la imitación es tan fácil, ¿por qué otros muchos países no parecen capaces de hacer lo mismo y crecer? Eso apunta a los aspectos más generales de la tecnología que hemos analizado antes en este capítulo. La tecnología es algo más que un conjunto de proyectos. La eficiencia con que pueden utilizarse y lo productiva que es una economía dependen de sus instituciones, de la calidad de su estado, etc.

► Resumen

- Cuando analizamos las consecuencias del progreso tecnológico para el crecimiento, resulta útil concebirlo como el aumento de la cantidad de trabajo efectivo de la que se dispone en la economía (es decir, el trabajo multiplicado por el estado de la tecnología). En ese caso, podemos pensar que la producción se realiza con capital y trabajo efectivo.
- En el estado estacionario, la producción *por trabajador* efectivo y el capital *por trabajador efectivo* se mantienen constantes. En otras palabras, la producción *por trabajador* y el capital *por trabajador* crecen a la tasa de progreso tecnológico. En otras palabras, la producción y el capital crecen a la misma tasa que el trabajo efectivo y, por tanto, a una tasa igual a la tasa de crecimiento del número de trabajadores más la tasa de progreso tecnológico.
- Cuando la economía se encuentra en un estado estacionario, se dice que se encuentra en una senda de crecimiento equilibrado. La producción, el capital y el trabajo efectivo están creciendo *equilibradamente*, es decir, a la misma tasa.
- La tasa de crecimiento de la producción en el estado estacionario es independiente de la tasa de ahorro. Sin embargo, la tasa de ahorro afecta al nivel de producción por trabajador efectivo en el estado estacionario. Y su aumento da lugar durante un tiempo a un aumento de la tasa de crecimiento superior a la tasa de crecimiento correspondiente al estado estacionario.
- El progreso tecnológico depende tanto (1) de la fecundidad de la investigación y el desarrollo, es decir, de cómo se traduce el gasto en I+D en nuevas ideas y nuevos productos, como (2) de la posibilidad de apropiarse de los resultados de la I+D, es decir, del grado en que las empresas se benefician de los resultados de su I+D.
- Cuando los gobiernos elaboran una ley sobre patentes, deben encontrar el punto medio entre su deseo de proteger los futuros descubrimientos y dar incentivos a las empresas para que realicen I+D y su deseo de poner los descubrimientos existentes a disposición de los posibles usuarios sin restricción alguna.
- Francia, Japón, Reino Unido y Estados Unidos han tenido un crecimiento más o menos equilibrado desde 1950: el crecimiento de la producción por trabajador ha sido aproximadamente igual a la tasa de progreso tecnológico. Lo mismo ha ocurrido en China. El crecimiento de China es más o menos equilibrado, sostenido por una elevada tasa de progreso tecnológico y una elevada tasa de inversión.

► Términos clave

- **trabajo efectivo o trabajo en unidades de eficiencia**, 298
- **crecimiento equilibrado**, 303
- **investigación y desarrollo (I+D)**, 305
- **fecundidad de la investigación**, 306
- **posibilidad de apropiarse de los resultados de la investigación**, 306
- **revolución de la tecnología de la información**, 307
- **nueva economía**, 307
- **ley de Moore**, 307
- **patente**, 309
- **residuo de Solow o tasa de crecimiento de la productividad total de**
- **los factores o tasa de crecimiento de PTF**, 312
- **frontera tecnológica**, 313
- **convergencia tecnológica**, 314



PREGUNTAS Y PROBLEMAS

COMPRUEBE

1. Indique si son verdaderas, falsas o inciertas cada una de las siguientes afirmaciones utilizando la información de este capítulo. Explique brevemente su respuesta:

- a) Expresar la función de producción por medio del capital y el trabajo efectivo implica que cuando el nivel de tecnología aumenta un 10 %, el número de trabajadores necesarios para conseguir el mismo nivel de producción disminuye un 10 %.
- b) Si la tasa de progreso tecnológico aumenta, la tasa de inversión (el cociente entre la inversión y la producción) debe aumentar para mantener constante el capital por trabajador efectivo.
- c) En el estado estacionario, la producción por trabajador efectivo crece a la tasa de crecimiento de la población.
- d) En el estado estacionario, la producción por trabajador crece a la tasa de progreso tecnológico.
- e) Un aumento de la tasa de ahorro implica un nivel más alto de capital por trabajador efectivo en el estado estacionario y, por tanto, un aumento de la tasa de crecimiento de la producción por trabajador efectivo.
- f) Aunque los rendimientos potenciales del gasto en I+D sean idénticos a los de la inversión en una nueva máquina, el gasto en I+D es mucho más arriesgado para las empresas que la inversión en nuevas máquinas.
- g) El hecho de que no se pueda patentar un teorema implica que las empresas privadas no realizarán investigación básica.
- h) Como al final acabaremos sabiéndolo todo, el crecimiento tendrá que detenerse.

2. La I+D y el crecimiento

- a) ¿Por qué es importante para el crecimiento la cantidad de gasto en I+D? ¿Cómo afectan la posibilidad de apropiarse de la investigación y su fecundidad a la cantidad de gasto en I+D?

¿Cómo afecta cada una de las medidas propuestas en b) y e) a las posibilidades de apropiarse de la investigación y a su fecundidad, y al gasto en I+D a largo plazo y a la producción a largo plazo?

- b) Un tratado internacional que garantiza que las patentes de cada país se protegerán legalmente en todo el mundo.
- c) Unas deducciones fiscales por cada euro de gasto en I+D.

- d) Una reducción de la financiación de las conferencias entre las universidades y las empresas patrocinadas por el Estado.
- e) La eliminación de las patentes de los medicamentos que suponen un gran avance, con el fin de que estos puedan venderse con un bajo coste tan pronto como se disponga de ellos.

3. Fuentes del progreso tecnológico: los líderes económicos frente a los países en vías de desarrollo

- a) ¿De dónde proviene el progreso tecnológico en el caso de los líderes económicos mundiales?
- b) ¿Tienen los países en vías de desarrollo alternativas a las fuentes del progreso tecnológico que ha mencionado en la parte a)?
- c) ¿Cree usted que hay alguna razón por la que los países en vías de desarrollo podrían optar por tener una escasa protección mediante patentes? ¿Tiene algún riesgo una política de ese tipo (para los países en vías de desarrollo)?

PROFUNDICE

4. Evalúe el efecto que producirá probablemente cada uno de los cambios enumerados en a) y b) en la tasa de crecimiento y en el nivel de producción en los próximos cinco años y en los próximos cincuenta.

- a) Una reducción permanente de la tasa de progreso tecnológico.
- b) Una reducción permanente de la tasa de ahorro.

5. Error de medición, inflación y crecimiento de la productividad

Suponga que en la economía solo se producen dos bienes: cortes de pelo y servicios bancarios. Los precios, las cantidades y el número de trabajadores ocupados en la producción de cada bien en el año 1 y en el año 2 son los siguientes:

	Año 1			Año 2		
	P1	Q1	N1	P1	Q1	N1
Cortes de pelo	10	100	50	12	100	50
Servicios bancarios	10	200	50	12	230	60

- a) ¿Cuál es el PIB nominal en cada año?
- b) Utilizando los precios del año 1, ¿cuál es el PIB real del año 2? ¿Y su tasa de crecimiento?
- c) ¿Cuál es la tasa de inflación utilizando el deflactor del PIB?

- d) Utilizando los precios del año 1, ¿cuál es el PIB real por trabajador en el año 1 y en el año 2? ¿Cuál es el crecimiento de la productividad del trabajo entre el año 1 y el año 2 en el conjunto de la economía?

Ahora suponga que los servicios bancarios no son iguales en el año 2 que en el año 1 porque incluyen la telebanca, que no está incluida en los servicios bancarios del año 1. La tecnología de la telebanca ya existía en el año 1, pero el precio de los servicios bancarios con telebanca era de 13 euros ese año y nadie eligió esa combinación. Sin embargo, en el año 2 su precio era de 12 euros y ese año todo el mundo eligió esa combinación (es decir, nadie decidió tener los servicios bancarios del año 1 sin telebanca). Pista: suponga que ahora hay dos tipos de servicios bancarios, los servicios con telebanca y los servicios sin telebanca. Rehaga la tabla anterior, pero ahora con tres bienes: cortes de pelo y dos tipos de servicios bancarios.

- e) Utilizando los precios del año 1, ¿cuál es el PIB real del año 2? ¿Y su tasa de crecimiento?
- f) ¿Cuál es la tasa de inflación utilizando el deflactor del PIB?
- g) ¿Cuál es el crecimiento de la productividad del trabajo entre el año 1 y el 2 en el conjunto de la economía?
- h) Considere esta afirmación: «Si los servicios bancarios no se midieran correctamente —por ejemplo, por no tener en cuenta la introducción de la telebanca—, sobreestimaríamos la inflación y subestimaríamos el crecimiento de la productividad». Analice esta afirmación a la luz de sus respuestas a las partes de la a) a la g).

6. Suponga que la función de producción de la economía es:

$$Y = \sqrt{K} \sqrt{AN}$$

Que la tasa de ahorro, s , es igual al 16 % y que la tasa de depreciación, δ , es igual al 10 %. Suponga, además, que el número de trabajadores crece un 2 % al año y que la tasa de progreso tecnológico es del 4 % al año.

- a) Halle los valores en el estado estacionario de las variables enumeradas de i) a v).
- El stock de capital por trabajador efectivo.
 - La producción por trabajador efectivo.
 - La tasa de crecimiento de la producción por trabajador efectivo.
 - La tasa de crecimiento de la producción por trabajador.
 - La tasa de crecimiento de la producción.

- b) Suponga que la tasa de progreso tecnológico se duplica y pasa a ser del 8 % al año. Vuelva a calcular las respuestas a la parte (a). Explique su respuesta.
- c) Ahora suponga que la tasa de progreso tecnológico vuelve a ser del 4 % al año, pero que el número de trabajadores ahora crece un 6 % al año. Vuelva a calcular las respuestas a la parte a). ¿Es mayor el bienestar de la gente en a) o en c)? Explique su respuesta.

7. Analice el papel que puede desempeñar cada uno de los factores enumerados de a) a g) en el nivel de producción por trabajador del estado estacionario. Indique en cada caso si el efecto se produce a través de A , a través de K o a través de H , o a través de una combinación de A , K y H :

- Localización geográfica.
- Educación.
- Protección de los derechos de propiedad.
- Apertura al comercio.
- Bajos tipos impositivos.
- Buena infraestructura pública.
- Bajo crecimiento de la población.

AMPLÍE

8. Contabilidad del crecimiento

En el recuadro titulado «Elaboración de una medida del progreso tecnológico» mostramos cómo pueden utilizarse los datos de la producción, el capital y el trabajo para calcular la tasa de crecimiento del progreso tecnológico. En este problema modificamos ese enfoque para examinar el crecimiento del capital por trabajador. La función $Y = K^{1/3}(A/N)^{2/3}$ es una buena descripción de la producción en los países ricos. Siguiendo los mismos pasos que en el recuadro, puede demostrar que:

$$\begin{aligned} (2/3)g_A &= g_Y - (2/3)g_N - (1/3)g_K \\ &= (g_Y - g_N) - (1/3)(g_K - g_N), \end{aligned}$$

Donde g_x representa la tasa de crecimiento de x .

- ¿Qué representa la cantidad $g_Y - g_N$? ¿Qué representa la cantidad $g_K - g_N$?
- Reordene la ecuación anterior y halle la tasa de crecimiento del capital por trabajador.
- Observe la Tabla 13.2 del capítulo. Basándose en su respuesta a la parte b) introduzca la tasa anual media de crecimiento de la producción por trabajador y la tasa anual media de progreso tecnológico de Estados Unidos correspondientes al periodo 1950-2004 para obtener una medida aproximada del crecimiento anual medio del capital por trabajador (estrictamente hablando, deberíamos calcular estas medidas individualmente para cada año, pero nos limitamos a los

datos de los que es fácil disponer en este problema). Haga lo mismo con los demás países enumerados en la Tabla 13.2. ¿Qué diferencia hay entre las tasas medias

de crecimiento del capital por trabajador de los países de la Tabla 13.2? ¿Tienen sentido para usted los resultados? Explique su respuesta.

Invitamos al lector a visitar la página del libro www.pearson.es/blanchard, para los ejercicios de este capítulo.

▶ Lecturas complementarias

- Para más información sobre el crecimiento, tanto sobre la teoría como sobre los datos, véase Charles Jones, *Introduction to Economic Growth*, Nueva York, NY, Norton, 2.^a edición, 2002. La página web de Jones (<http://stanford.edu/~chadj/>) es un útil portal para investigar el crecimiento.
- Para más información sobre las patentes, véase el reportaje de *The Economist* «Patents and Technology», 20 de octubre de 2005.

Para dos cuestiones que no hemos analizado en el texto:

- El crecimiento y el calentamiento del planeta: véase el *Stern Review on the Economics of Climate Change*, 2006. Puede encontrarlo en www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm (el informe es muy largo; lea solo el resumen).
- El crecimiento y el medio ambiente: véase el reportaje de *The Economist* «The Global Environment; The Great Race», 4 de julio de 2002.