

Adopción tecnológica: Ponerse al día con la frontera

Felix Wellschmied

Universidad Carlos III de Madrid

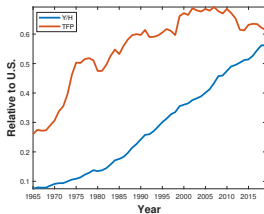
Crecimiento Económico

Introducción

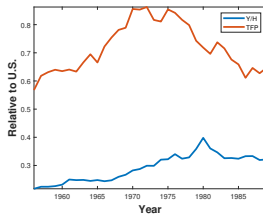
- Hemos visto un modelo que describe el descubrimiento de ideas completamente nuevas por parte de investigadores en la frontera.
- Hemos visto, en el caso de Corea, que es posible un crecimiento tecnológico mucho más rápido para un país alejado de la frontera.
- Sin embargo, incluso en el caso de Corea, hemos visto que no logró converger por completo.
- Es razonable pensar que implementar una idea ya existente es más sencillo que descubrirla desde cero.
- Sin embargo, dadas las grandes diferencias en la PTF en el corte transversal, la convergencia tomando décadas y el hecho de que muchas veces no sea completa, la implementación no puede ser libre

Crecimiento de la PTF

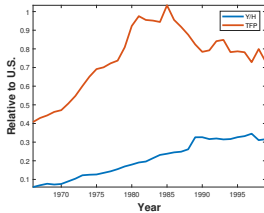
(a) Korea



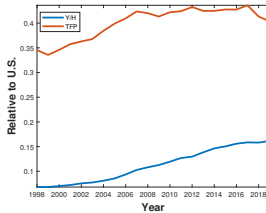
(b) Brazil



(c) Botswana



(d) China



Un modelo de adopción tecnológica

Utilizamos los conocimientos del modelo de Romer y asumimos que la producción utiliza bienes de capital diferenciados:

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)} x_j(t)^\alpha dj. \quad (1)$$

Aquí, $h(t)$ es la medida de los bienes de capital que el país sabe utilizar en el período t . Esto puede ser diferente de la frontera tecnológica $A(t)$. Por ejemplo, Estados Unidos puede saber cómo producir vacunas de ARNm, pero China no.

Reescritura de la función de producción

Al igual que en el modelo de Romer, cada unidad de bienes de capital debe producirse utilizando una unidad del stock de capital disponible agregado:

$$\int_0^{h(t)} x_j(t) dj = K(t). \quad (2)$$

Además, cada unidad se utiliza en la misma proporción:

$$x_j(t) = x(t) = \frac{K(t)}{h(t)}. \quad (3)$$

Sustitución en la función de producción:

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} h(t) x(t)^\alpha \quad (4)$$

$$Y(t) = (L(t) h(t))^{1-\alpha} K(t)^\alpha. \quad (5)$$

No hay un sector de investigación, sino que toda la mano de obra trabaja en el sector de producción. El salario y el precio de alquiler del capital son

$$w(t) = \frac{\partial Y(t)}{\partial L(t)} = 1 - \alpha \frac{Y(t)}{L(t)} \quad r(t) = \frac{\partial Y(t)}{\partial K(t)} = \alpha \frac{Y(t)}{K(t)}. \quad (6)$$

Por lo tanto, nuevamente tenemos que el ingreso del hogar es

$$\tilde{Y}(t) = w(t)L(t) + r(t)K(t) = Y(t). \quad (7)$$

El sector de los hogares, como antes, acumula el stock de capital agregado:

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t), \quad (8)$$

La población crece a un ritmo n :

$$\dot{L}(t) = nL(t). \quad (9)$$

La clave del modelo es la acumulación del nivel de habilidad h . Las habilidades evolucionan con el tiempo de acuerdo con

$$\dot{h}(t) = \mu \exp(\psi u) A(t)^\gamma h(t)^{1-\gamma} \quad (10)$$

- Como en el modelo de acumulación de capital humano, u mide el tiempo que las personas dedican a aprender nuevas habilidades. Esto puede ser actividad de investigación explícita o aprendizaje mediante la práctica.
- El nivel actual de habilidades facilita el aprendizaje de nuevas habilidades, es decir, $\gamma < 1$.
- Una frontera tecnológica más avanzada facilita el aprendizaje de nuevas habilidades, es decir, $\gamma > 0$.

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \mu \exp(\psi u) \left(\frac{A(t)}{h(t)} \right)^\gamma \quad (11)$$

La velocidad de adopción depende de la distancia a la frontera tecnológica. Cuando esa distancia es grande, $\frac{A}{h}$ es grande, el crecimiento de habilidades es rápida. Es decir, es más fácil copiar tecnologías que ya se han utilizado durante mucho tiempo. Finalmente, asumimos que la frontera crece de acuerdo con

$$\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} = g. \quad (12)$$

Las habilidades como una externalidad

En el modelo de Solow, consideramos un tipo particular de habilidad: la educación. Utilizando un enfoque neoclásico, cuantificamos la contribución del nivel educativo observando las diferencias salariales entre habilidades. El modelo actual muestra por qué esto puede ser engañoso:

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)} x_j(t)^\alpha dj. \quad (13)$$

Mejorar las habilidades, $\dot{h}(t)$, mejora la productividad de todos los bienes de capital $[0, h(t) - \dot{h}(t)]$, es decir, las nuevas habilidades crean una externalidad positiva. De hecho, si pensamos en trabajadores con diferentes habilidades operando distintos bienes de capital en el intervalo $[0, h(t)]$, el modelo representa una versión extrema en la que los salarios se igualan entre los diferentes grupos de habilidades.

Dada la función de producción, ya sabemos que la razón capital-producto satisface:

$$z^* = \left(\frac{K(t)}{Y(t)} \right)^* = \frac{s}{n + g_h(t) + \delta}, \quad (14)$$

la cual tiene un estado estacionario si $g_h(t) = g_h$, una constante, en el estado estacionario.

Por lo tanto, en el estado estacionario, el producto por trabajador es

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)} \right)^* = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t). \quad (15)$$

A continuación, derivamos g_h y $h(t)$.

Para que la tasa de crecimiento de las habilidades

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \mu \exp(\psi u) \left(\frac{A(t)}{h(t)} \right)^\gamma \quad (16)$$

sea constante, vemos directamente que $\frac{A(t)}{h(t)}$ debe ser constante, es decir, $g_h = g$.

Crecimiento de la producción por trabajador en el estado estacionario

Volviendo a la ecuación de la producción por trabajador:

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right)^* = \left(\frac{s}{n + g_h(t) + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t) \quad (17)$$

Aquí, $h(t)$ es la única variable que varía en el tiempo. Sabemos que su tasa de crecimiento en el estado estacionario es g y, por lo tanto, sabemos que la producción por trabajador también crece a una tasa g en el estado estacionario.

La distancia a la frontera en el estado estacionario

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \mu \exp(\psi u) \left(\frac{A(t)}{h(t)} \right)^\gamma \quad (18)$$

$$g = \mu \exp(\psi u) \left(\frac{A(t)}{h(t)} \right)^\gamma \quad (19)$$

$$\frac{h(t)}{A(t)} = \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g} \right)^{\frac{1}{\gamma}}. \quad (20)$$

Un entorno más favorable a la acumulación de habilidades impulsa a la economía a acercarse a la frontera tecnológica. Sin embargo, la economía puede estar permanentemente por debajo de la frontera tecnológica.

Obteniendo $h(t)$

Para obtener el nivel de habilidades, necesitamos resolver la ecuación diferencial de acumulación de habilidades:

$$\dot{h}(t) = \mu \exp(\psi u) A(t)^\gamma h(t)^{1-\gamma}, \quad (21)$$

Se puede demostrar que la solución es

$$h(t) = \left(h(0)^\gamma + \frac{1}{g} \mu \exp(\psi u) A(0)^\gamma [\exp(\gamma g t) - 1] \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (22)$$

El nivel de $h(t)$

$$h(t) = \left(h(0)^\gamma + \frac{1}{g} \mu \exp(\psi u) A(0)^\gamma [\exp(\gamma g t) - 1] \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (23)$$

- Un mayor nivel inicial de habilidades incrementa las habilidades actuales.
- Un mayor nivel inicial de tecnología en el resto del mundo incrementa las habilidades.
- Una tasa de crecimiento más alta en la frontera aumenta el nivel de habilidad.
- Un entorno más favorable para la acumulación de habilidades incrementa el nivel de habilidades.

Producción por trabajador en el estado estacionario

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right)^* = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left(h(0)^\gamma + \frac{1}{g} \mu \exp(\psi u) A(0)^\gamma [\exp(\gamma g t) - 1]\right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (24)$$

- Una mayor relación capital-producción conduce a una mayor producción por trabajador. Por lo tanto, para una economía en desarrollo, el crecimiento poblacional disminuye de forma inequívoca la producción por trabajador, ya que ya no afecta a $A(t)$.
- El modelo proporciona una razón por la cual las habilidades conducen a una mayor producción por trabajador. Las habilidades no hacen que los trabajadores sean más productivos en abstracto, sino que los hacen más productivos al permitirles utilizar más bienes de capital.
- Ampliar la frontera tecnológica beneficia a todos los países, ya que pueden copiar esas nuevas ideas con el tiempo.

Acumulación de habilidades fuera del estado estacionario

Podemos usar la solución para el nivel de habilidades para resolver la dinámica de transición:

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \mu \exp(\psi u) \left(\frac{A(t)}{h(t)} \right)^\gamma \quad (25)$$

$$h(t) = \left(h(0)^\gamma + \frac{1}{g} \mu \exp(\psi u) A(0)^\gamma [\exp(\gamma g t) - 1] \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (26)$$

Combinando las ecuaciones y reescribiendo:

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \mu \exp(\psi u) \frac{A(t)^\gamma}{h(0)^\gamma + \frac{1}{g} \mu \exp(\psi u) A(t)^\gamma - \frac{1}{g} \mu \exp(\psi u) A(0)^\gamma} \quad (27)$$

$$= g \frac{\mu \exp(\psi u) A(t)^\gamma}{h(0)^\gamma g + \mu \exp(\psi u) A(t)^\gamma - \mu \exp(\psi u) A(0)^\gamma} \quad (28)$$

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \frac{g}{1 + \left(\frac{h(0)}{A(t)}\right)^\gamma \frac{g}{\mu \exp(\psi u)} - \left(\frac{A(0)}{A(t)}\right)^\gamma} \quad (29)$$

- Al comenzar en el estado estacionario: $\frac{h(0)}{A(0)} = \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g}\right)^{1/\gamma}$ y $A(0) = A(t)$, entonces $\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = g$.
- Cuanto menor sea $\frac{h(0)}{A(0)}$ en relación con su estado estacionario, mayor será la tasa de crecimiento inicial.
- A medida que pasa el tiempo, $A(t)$ crece y $\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} \mapsto g$.
- Para cualquier $h(0), A(0)$, un aumento en μ, ψ, u o g incrementa $\frac{\dot{h}(t)}{h(t)}$.

Dinámica de transición de la producción por trabajador

Como antes, escribamos la producción como una función de la relación capital-producción:

$$Y(t) = h(t)L(t) \left(\frac{K(t)}{Y(t)} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (30)$$

$$y(t) = h(t) \left(\frac{K(t)}{Y(t)} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (31)$$

$$\frac{\dot{y}(t)}{y(t)} = \frac{\dot{h}(t)}{h(t)} + \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{\dot{z}(t)}{z(t)} \quad (32)$$

con

$$\frac{\dot{z}(t)}{z(t)} = (1-\alpha) \frac{s}{z(t)} - (1-\alpha) \left(n + \frac{\dot{h}(t)}{h(t)} + \delta \right). \quad (33)$$

$$\frac{\dot{y}(t)}{y(t)} = \frac{\dot{h}(t)}{h(t)} + \alpha \left[\frac{s}{z(t)} - \left(n + \frac{\dot{h}(t)}{h(t)} + \delta \right) \right]. \quad (34)$$

Similar al modelo de Romer, un aumento temporal en $\frac{\dot{h}(t)}{h(t)}$ incrementa la tasa de crecimiento de $y(t)$, pero la incrementa inicialmente en menos que el aumento en $\frac{\dot{h}(t)}{h(t)}$ porque la relación capital-producción disminuye al principio.

Derrame de conocimientos y comercio

Hasta ahora, asumimos que la frontera tecnológica está al alcance de todos los países. Sin embargo, hay buenas razones para creer que el comercio es importante para que los países dispongan de nuevas tecnologías:

- Un ejemplo famoso es la restricción severa del comercio por parte de China en el siglo XIV, que coincide con su caída como líder tecnológico.
- El embargo comercial al Irán moderno coincide con la pérdida de producción por trabajador en Irán.
- La IED en China fue una fuente importante de adopción tecnológica.
- El patentamiento puede asegurar que las invenciones recientes sólo puedan comprarse a bordo.

Los datos sugieren que existe un vínculo II

Table 3: Bilateral trade linkages and the European MTC

<i>Bilateral exports US</i>	GDP per working age population			
	France	Germany	Italy	Spain
Lag 0	0.6509*	0.7485*	0.7825*	0.7994*
Lag 1	0.7058*	0.7670*	0.7938*	0.7640*
Lag 2	0.7079*	0.7521*	0.7643*	0.6943*
Lag 3	0.6798*	0.7136*	0.7066*	0.6091*
<i>Bilateral exports US</i>	Investment per working age population			
	France	Germany	Italy	Spain
Lag 0	0.6150*	0.7905*	0.4726*	0.7965*
Lag 1	0.6222*	0.7340*	0.4917*	0.7770*
Lag 2	0.5733*	0.6283*	0.4702*	0.7184*
Lag 3	0.5001*	0.5012*	0.4287*	0.6504*
<i>Bilateral exports US</i>	Relative price of capital			
	France	Germany	Italy	Spain
Lag 0	-0.6575*	-0.1974*	-0.7331*	-0.5444*
Lag 1	-0.6416*	-0.2554*	-0.6604*	-0.4967*
Lag 2	-0.6218*	-0.3134*	-0.5667*	-0.4378*
Lag 3	-0.5838*	-0.3694*	-0.4522*	-0.3617*

Source: López and de Blas Pérez (2018)

Cambiando la función de producción

Supongamos que se producen h bienes de capital en el país y se importan m :

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)+m} x_j(t)^\alpha dj. \quad (35)$$

Un país produce $z(t)$ unidades de cada bien de capital producido localmente y, por lo tanto,

$$z(t)h(t) = K(t). \quad (36)$$

Nuevamente, un país desea usar la misma cantidad de cada bien de capital, tanto los producidos localmente como los extranjeros. Sea esta cantidad $x(t) < z(t)$. Así, el país conserva solo $x(t)h(t)$ de estos bienes y compra $x(t)m$ de los bienes importados. Por lo tanto, el comercio balanceado implica:

$$x(t)m = K(t) - x(t)h(t) \quad (37)$$

$$K(t) = x(t)[m + h(t)]. \quad (38)$$

Reescribiendo la función de producción

El uso igual de insumos implica

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)+m} x_j(t)^\alpha dj \quad (39)$$

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} (h(t) + m) x(t)^\alpha. \quad (40)$$

Usando el balance comercial:

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} (h(t) + m) \left(\frac{K(t)}{m + h(t)} \right)^\alpha \quad (41)$$

$$Y(t) = ([m + h(t)] L(t))^{1-\alpha} K(t)^\alpha \quad (42)$$

$$Y(t) = K(t)^\alpha (h(t) L(t))^{1-\alpha} \left[1 + \frac{m}{h(t)} \right]^{1-\alpha} \quad (43)$$

Estado estacionario

Definamos $N(t) = h(t) + m(t)$ y consideremos nuevamente la tasa de crecimiento de la relación capital-producción y la ecuación de acumulación de capital:

$$z(t) = \frac{K(t)^{1-\alpha}}{(N(t)L(t))^{1-\alpha}} \quad (44)$$

$$\frac{\dot{z}(t)}{z(t)} = (1 - \alpha) \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} - (1 - \alpha) \left(n + \frac{\dot{N}(t)}{N(t)} \right) \quad (45)$$

$$\frac{\dot{z}(t)}{z(t)} = \frac{s}{z(t)} - \delta. \quad (46)$$

Combinando las ecuaciones y suponiendo que existe un estado estacionario:

$$n + \frac{\dot{N}(t)}{N(t)} = \frac{s}{z^*} - \delta \quad (47)$$

$$z^* = \frac{s}{n + \frac{\dot{N}(t)}{N(t)} + \delta}, \quad (48)$$

que es constante si $\frac{\dot{N}(t)}{N(t)} = g_N(t)$ es constante. Se puede demostrar que, en el estado estacionario, $g_N(t) = g$, es decir, una constante.

Producción por trabajador en el estado estacionario

A partir de la función de producción:

$$Y(t)^{1-\alpha} = \left(\frac{K(t)}{Y(t)} \right)^{\alpha} ([h(t) + m]L(t))^{1-\alpha} \quad (49)$$

$$Y(t) = \left(\frac{K(t)}{Y(t)} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} [h(t) + m]L(t) \quad (50)$$

$$(51)$$

En el estado estacionario:

$$Y(t)^* = \left(\frac{s}{n + g + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} [h(t) + m]L(t) \quad (52)$$

$$y(t)^* = \left(\frac{s}{n + g + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} [h(t) + m] \quad (53)$$

$$y(t)^* = \left(\frac{s}{n + g + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} [h(t) + m(t)] \quad (54)$$

(55)

El ingreso por trabajador aumenta con el número de variedades importadas de bienes de capital. El comercio nos hace más ricos al permitirnos acceder a bienes de capital que actualmente no se producen en nuestro país.

$$y(t)^* = \left(\frac{s}{n + g + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} [h(t) + m] \quad (56)$$

- El comercio puede ser un sustituto de las habilidades. Al vender bienes de capital “poco sofisticados”, el país puede acceder a bienes de capital más avanzados. Cabe señalar que las implicaciones serían algo diferentes en un modelo schumpeteriano.
- China es un buen ejemplo. Gracias a que países extranjeros trajeron sus tecnologías y usaron una fuerza laboral china poco educada, la producción pudo crecer a tasas tremendas.

Volvamos a nuestras tres grandes preguntas

- ① ¿Por qué somos tan ricos nosotros y ellos tan pobres?
 - Diferentes tasas de ahorro, tasas de crecimiento de la población, tecnologías para la adopción de ideas, niveles de habilidad y apertura comercial.
- ② ¿Por qué hay milagros de crecimiento?
 - Rápida acumulación de capital físico o de ideas.
- ③ ¿Cuáles son los motores del crecimiento económico a largo plazo?
 - Acumulación de habilidades.

LÓPEZ, M. C. AND B. DE BLAS PÉREZ (2018): “Faraway, so close!, technology diffusion and firm heterogeneity in the medium term cycle of advanced economies,” *Documentos de trabajo del Banco de España*, 1–64.