Adopción tecnológica: Ponerse al día con la frontera

Felix Wellschmied

Universidad Carlos III de Madrid

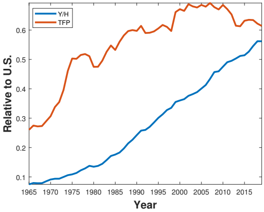
Crecimiento Económico

Introducción

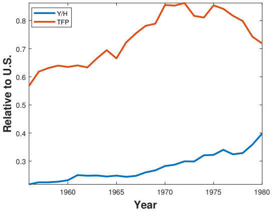
- Hemos visto un modelo que describe el descubrimiento de ideas completamente nuevas por parte de investigadores en la frontera.
- Hemos visto, en el caso de Corea, que es posible un crecimiento tecnológico mucho más rápido para un país alejado de la frontera.
- Sin embargo, incluso en el caso de Corea, 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

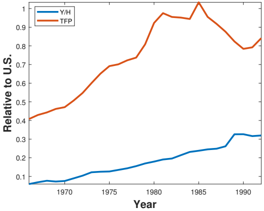
(a) Korea



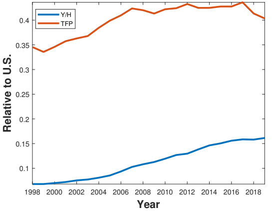
(b) Brazil



(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:

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

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:

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

Además, cada unidad se utiliza en la misma proporción:

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

Sustitución en la función de producción:

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

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

Ingreso del hogar

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

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

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

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

Acumulación de factores de producción

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

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

La población crece a un ritmo n:

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

Acumulación de habilidades

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

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

- 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, $\gamma > 0$.

Reescribir en tasas de crecimiento

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

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

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

El estado estacionario

Dada la función de producción, ya sabemos que un estado estacionario en $\tilde{k} = \frac{K}{hL}$ existe:

$$\tilde{k}^* = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} . \tag{13}$$

Por lo tanto, en ll estado estacionario, la producción por trabajador es

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)} \right)^* = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t). \tag{14}$$

Crecimiento en el estado estacionario

Para que la tasa de crecimiento de las habilidades

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \mu \exp(\psi u) \left(\frac{A(t)}{h(t)} \right)^{\gamma} \tag{15}$$

sea constante, vemos directamente que $\frac{A(t)}{h(t)}$ debe ser constante, es decir, $g_h = g$.
Por lo tanto, en el estado estacionario,

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

$$\frac{h(t)}{A(t)} = \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g} \right)^{1/\gamma} . \tag{17}$$

Cuanto más tiempo dedican los individuos a acumular habilidades, más cerca está la economía de la frontera.

Producción por trabajador en el estado estacionario

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right)^* = \left(\frac{s}{n+g_h+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g}\right)^{1/\gamma} A(t). \qquad (18)$$

- Un mayor capital por trabajador conduce a una mayor producción por trabajador. Por lo tanto, para una economía en desarrollo, el crecimiento de la población disminuye la producción por trabajador de manera inequívoca, ya que ya no afecta a $A(t)$.

- El modelo proporciona una razón por la cual la educación conduce a una mayor producción por trabajador. La educación no hace que los trabajadores sean más productivos en abstracto, sino que los hace más productivos al permitirles utilizar bienes de capital más avanzados.

- 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

Recuerde que las habilidades evolucionan con el tiempo de acuerdo con

$$\dot{h}(t) = \mu \exp(\psi u) A^{\gamma} h(t)^{1-\gamma}, \tag{19}$$

donde, para simplificar, asumo que $A(t)$ es una constante. Es decir, estudiamos la convergencia hacia una frontera tecnológica más alta pero fija. Ahora defina

$$v(t) = h(t)^{\gamma} \tag{20}$$

con

$$\dot{v}(t) = \dot{h}(t) \gamma h(t)^{\gamma-1} \tag{21}$$

Sustitución da:

$$\dot{v}(t) = \gamma \mu \exp(\psi u) A^{\gamma}. \tag{22}$$

Acumulación de habilidades fuera del estado estacionario II

$$\dot{v}(t) = \gamma\mu \exp(\psi u) A^{\gamma} \tag{23}$$

con solución

$$v(t) = \gamma\mu \exp(\psi u) A^{\gamma} t + v(0) \tag{24}$$

Sustituir de nuevo $v(t) = h(t)^{\gamma}$ da

$$h(t) = \left[\gamma\mu \exp(\psi u) A^{\gamma} t + h(0)^{\gamma}\right]^{\frac{1}{\gamma}} . \tag{25}$$

Acumulación de habilidades fuera del estado estacionario III

Por lo tanto, la tasa de crecimiento de $h(t)$ viene dada por

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \frac{1}{\gamma t + \frac{1}{\mu \exp(\psi u)} \left(\frac{h(0)}{A}\right)^{\gamma}}. \tag{26}$$

- La tasa de crecimiento es mayor cuanto más lejos está el nivel inicial de habilidades por debajo de la frontera tecnológica.

- La tasa de crecimiento se ralentiza con el tiempo, es decir, la recuperación tecnológica debe producirse de forma cóncava.

- Para cualquier $h(0), A$, el aumento de *mu*, *psi* o u aumenta $\frac{\dot{h}(t)}{h(t)}$.

Dinámica de transición para la producción por trabajador

Como antes, escribamos la producción en función de la relación capital/producción

$$Y(t) = h(t)L(t)\left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \tag{27}$$

$$y(t) = h(t)\left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \tag{28}$$

$$y(t) = h(t)\tilde{k}(t)^{\alpha} \tag{29}$$

$$\frac{\dot{y}(t)}{y(t)} = \frac{\dot{h}(t)}{h(t)} + \alpha\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} \tag{30}$$

con

$$\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} = \frac{\dot{K}(t)}{K(t)} - \frac{\dot{h}(t)}{h(t)} - n \tag{31}$$

$$\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} = s\tilde{k}(t)^{\alpha-1} - \delta - \frac{\dot{h}(t)}{h(t)} - n \tag{32}$$

Dinámica de transición para la producción por trabajador II

$$\frac{\dot{y}(t)}{y(t)} = \frac{\dot{h}(t)}{h(t)} + \alpha\left[s\tilde{k}(t)^{\alpha-1} - \left(n + \delta + \frac{\dot{h}(t)}{h(t)}\right)\right] \tag{33}$$

De manera similar al modelo de Romer, un aumento temporal en $\frac{\dot{h}(t)}{h(t)}$ aumenta la tasa de crecimiento de $y(t)$ pero lo aumenta inicialmente en menos que el aumento en $\frac{\dot{h}(t)}{h(t)}$ porque la relación capital/producto disminuye inicialmente.

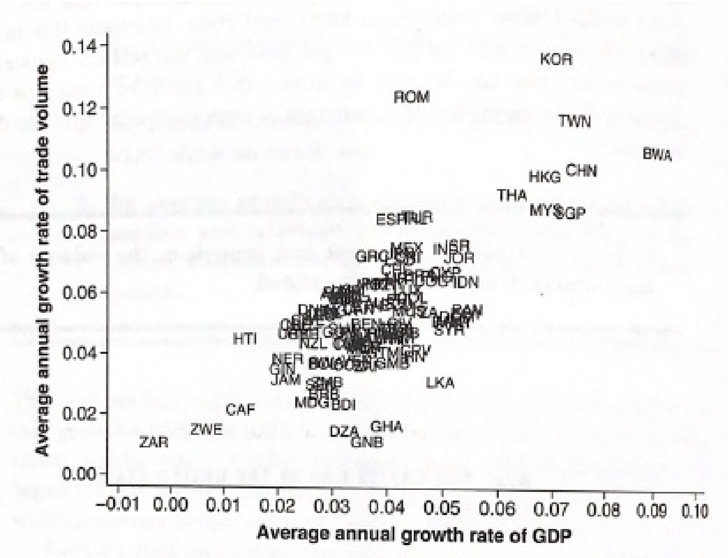
Derrame de conocimientos y comercio

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



Los datos sugieren que existe un vínculo II

Table 3: Bilateral trade linkages and the European MTC

	GDP per working age population			
Bilateral exports US	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*
	Investment per working age population			
Bilateral exports US	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*
	Relative price of capital			
Bilateral exports US	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: **?**

Modificación de la función de fabricación

Supongamos que los bienes de capital h se producen en el país y m son importados:

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)+m(t)} x_j(t)^{\alpha} dj. \tag{34}$$

Un país produce $z(t)$ unidades de cada bien de capital basado en el hogar y, por lo tanto:

$$z(t)h(t) = K(t). \tag{35}$$

El país se queda sólo con el $x(t)h(t)$ de estos bienes y compra el $x(t)$ de los bienes importados. Por lo tanto, un comercio equilibrado implica:

$$x(t)m(t) = K(t) - x(t)h(t) \tag{36}$$

$$K(t) = x(t)[m(t) + h(t)]. \tag{37}$$

Reescritura de la función de producción

El uso equitativo de los insumos implica

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)+m(t)} x_j(t)^\alpha dj \tag{38}$$

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha}(h(t) + m(t))x(t)^\alpha. \tag{39}$$

Utilizando la balanza comercial:

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha}(h(t) + m(t)) \left(\frac{K(t)}{m(t) + h(t)} \right)^\alpha \tag{40}$$

$$Y(t) = ([m(t) + h(t)]L(t))^{1-\alpha} K(t)^\alpha \tag{41}$$

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

Estado estacionario

Define $\tilde{k}(t) = \frac{K(t)}{h(t)L(t)}$:

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t) \tag{43}$$

$$\frac{\dot{K}(t)}{K(t)} = s\frac{Y(t)}{K(t)} - \delta \tag{44}$$

$$\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} = s\frac{Y(t)}{K(t)} - (n + g_h + \delta) \tag{45}$$

En estado estacionario

$$s\left(\frac{Y(t)}{K(t)}\right)^* = n + g_h + \delta \tag{46}$$

$$\left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^* = \frac{s}{n + g_h + \delta} \tag{47}$$

La trayectoria de crecimiento balanceado

Desde la función de producción:

$$Y(t)^{1-\alpha} = \left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\alpha} (h(t)L(t))^{1-\alpha} \left[1 + \frac{m(t)}{h(t)}\right]^{1-\alpha} \tag{48}$$

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

$$\tag{50}$$

A lo largo de la senda de la trayectoria de crecimiento balanceado:

$$Y(t)^{*} = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t)L(t) \left[1 + \frac{m(t)}{h(t)}\right] \tag{51}$$

$$y(t)^{*} = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t) \left[1 + \frac{m(t)}{h(t)}\right] \tag{52}$$

La trayectoria de crecimiento balanceado II

Utilizando la información anterior, tenemos para la producción por trabajador a lo largo de la trayectoria de crecimiento balanceado:

$$y(t)^* = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left[1 + \frac{m(t)}{h(t)}\right] \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g}\right)^{1/\gamma} A(t) \tag{53}$$

$$\tag{54}$$

El ingreso por trabajador está aumentando en la relación entre la importación y la producción nacional de bienes de capital. El comercio nos hace más ricos ya que nos permite acceder a bienes de capital que actualmente no se producen en nuestro país.

Comercio y acumulación de capital humano

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right)^{*} = \left(\frac{s}{n+g_h+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left[1+\frac{m(t)}{h(t)}\right] \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g}\right)^{1/\gamma} A(t) \quad (55)$$

- El comercio puede ser un sustituto de la inversión en capital humano. Vendiendo bienes de capital "poco sofisticado", el país puede acceder a bienes de capital más avanzados. Nótese que las implicaciones serían algo diferentes en un modelo schumpeteriano.

- China es un buen ejemplo. Gracias a que los países extranjeros trajeron consigo sus tecnologías y utilizaron una mano de obra china poco educado, la producción pudo crecer a tasas enormes.

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.

References