# Adopción tecnológica: Ponerse al día con la frontera


Felix Wellschmied

Universidad Carlos III de Madrid

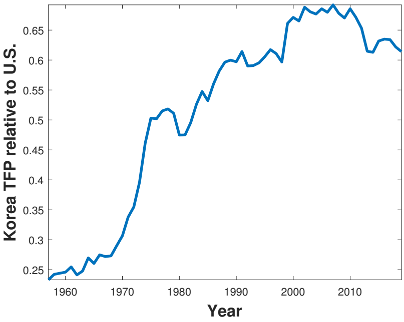

Crecimiento Económico / Growth Theory

2023

# Introducción

- Hemos visto un modelo que describe el descubrimiento de ideas completamente nuevas por parte de investigadores en la frontera.
- Es razonable pensar que poner en práctica una idea ya existente es más sencillo que descubrirla de nuevo.
- Hemos visto que la mayoría de las diferencias de ingresos entre países se deben a diferencias en la PTF.
- Sin embargo, dadas las grandes diferencias de PTF, la implementación no puede ser sin fricciones.
- Aquí, consideraremos un modelo de adopción tecnológica que es relevante para países alejados de la frontera.

# Crecimiento de la PTF




Hemos visto que parte del rápido crecimiento de la producción por trabajador de Corea se debió a la acumulación de capital. Sin embargo, también la PTF creció rápidamente.

# Un modelo de adopción tecnológica

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

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t), \tag{1}$$

donde $Y$ es el producto final. La población crece a un ritmo $n$:

$$\dot{L}(t) = nL(t). \tag{2}$$

# Producción

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

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)} x_j(t)^{\alpha} dj. \tag{3}$$

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:

$$\int_0^{h(t)} x_j(t)dj = K(t). \tag{4}$$

Además, cada unidad se utiliza en la misma proporción:

$$x_j(t) = x(t) = \frac{K(t)}{h(t)}. \tag{5}$$

Sustitución en la función de producción:

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} h(t) x(t)^{\alpha} \tag{6}$$

$$Y(t) = (L(t)h(t))^{1-\alpha} K(t)^{\alpha}. \tag{7}$$

# Acumulación de habilidades

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

$$\dot{h}(t) = \mu \exp(\psi u) A(t)^{\gamma} h(t)^{1-\gamma} \tag{8}$$

Al igual que en el modelo de acumulación de capital humano, el $u$ mide el tiempo que las personas dedican a aprender nuevas habilidades. Puede tratarse de una actividad de investigación explícita o de un aprendizaje práctico.

# Reescritura de las tasas de crecimiento

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \mu \exp(\psi u) \left( \frac{A(t)}{h(t)} \right)^{\gamma} \tag{9}$$

La velocidad de adopción depende de la distancia a la frontera tecnológica. Cuando esa distancia es grande, $\frac{A}{h}$ es grande, la acumulación de habilidades es rápida. Es decir, es más fácil copiar tecnologías que ya están en uso durante mucho tiempo. Por último, asumimos que la frontera crece de acuerdo con

$$\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} = g. \tag{10}$$

# El estado estacionario

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

$$\tilde{k}^* = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}. \tag{11}$$

Por lo tanto, a lo largo de la trayectoria de crecimiento balanceado, la producción por trabajador es

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right)^* = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t). \tag{12}$$

# La trayectoria de crecimiento balanceado

Para que la tasa de crecimiento de las habilidades sea constante, vemos directamente que

$$\frac{\dot{h}(t)}{h(t)} = \mu \exp(\psi u) \left( \frac{A(t)}{h(t)} \right)^{\gamma} \tag{13}$$

$\frac{A(t)}{h(t)}$ debe ser constante, es decir, $g_h = g$.
Por lo tanto, a lo largo de la trayectoria de crecimiento balanceado,

$$g = \mu \exp(\psi u) \left( \frac{A(t)}{h(t)} \right)^{\gamma} \tag{14}$$

$$\frac{h(t)}{A(t)} = \left( \frac{\mu \exp(\psi u)}{g} \right)^{1/\gamma} . \tag{15}$$

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

# Producción por trabajador a lo largo de la trayectoria de crecimiento balanceado

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right)^{*} = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g}\right)^{1/\gamma} A(t). \qquad (16)$$

- 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.

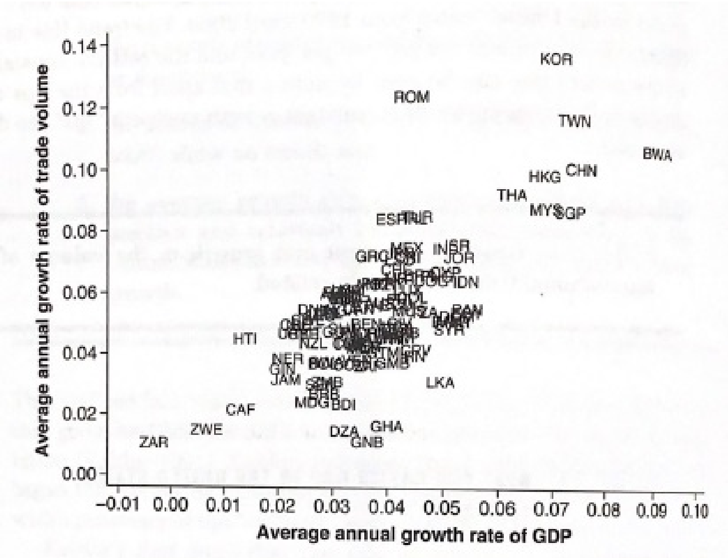
# Derrame de conocimientos y comercio

# 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: López and de Blas Pérez (2018)

# Modificación de la función de fabricación

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

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)+m(t)} x_j(t)^\alpha dj. \tag{17}$$

# Producción y comercio en el hogar

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

$$z(t)h(t) = K(t). \tag{18}$$

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:

$$x(t)m(t) = K(t) - x(t)h(t) \tag{19}$$

$$K(t) = x(t)[m(t) + h(t)]. \tag{20}$$

# Reescritura de la función de producción

El uso equitativo de los insumos implica

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha} \int_0^{h(t)+m(t)} x_j(t)^\alpha dj \tag{21}$$

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha}(h(t) + m(t))x(t)^\alpha. \tag{22}$$

Utilizando la balanza comercial:

$$Y(t) = L(t)^{1-\alpha}(h(t) + m(t)) \left( \frac{K(t)}{m(t) + h(t)} \right)^\alpha \tag{23}$$

$$Y(t) = ([m(t) + h(t)]L(t))^{1-\alpha} K(t)^\alpha \tag{24}$$

$$Y(t) = K(t)^\alpha (h(t)L(t))^{1-\alpha} \left[ 1 + \frac{m(t)}{h(t)} \right]^{1-\alpha} \tag{25}$$

# Estado estacionario

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

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t) \tag{26}$$

$$\frac{\dot{K}(t)}{K(t)} = s\frac{Y(t)}{K(t)} - \delta \tag{27}$$

$$\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} = s\frac{Y(t)}{K(t)} - (n + g_h + \delta) \tag{28}$$

En estado estacionario

$$s\left(\frac{Y(t)}{K(t)}\right)^{*} = n + g_h + \delta \tag{29}$$

$$\left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{*} = \frac{s}{n + g_h + \delta} \tag{30}$$

# La trayectoria de crecimiento balanceado

Desde la función de producción:

$$Y(t)^{1-\alpha} = \left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\alpha} (h(t)L(t))^{1-\alpha} \left[1 + \frac{m(t)}{h(t)}\right]^{1-\alpha} \tag{31}$$

$$Y(t) = \left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t)L(t) \left[1 + \frac{m(t)}{h(t)}\right] \tag{32}$$

$$\tag{33}$$

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

$$Y(t)^{*} = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t)L(t) \left[1 + \frac{m(t)}{h(t)}\right] \tag{34}$$

$$y(t)^{*} = \left(\frac{s}{n + g_h + \delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h(t) \left[1 + \frac{m(t)}{h(t)}\right] \tag{35}$$

# 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:

$$y(t)^* = \left(\frac{s}{n+g_h+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left[1+\frac{m(t)}{h(t)}\right] \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g}\right)^{1/\gamma} A(t) \tag{36}$$

$$\tag{37}$$

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

$$\left(\frac{Y(t)}{L(t)}\right)^{*} = \left(\frac{s}{n+g_h+\delta}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left[1+\frac{m(t)}{h(t)}\right] \left(\frac{\mu \exp(\psi u)}{g}\right)^{1/\gamma} A(t) \quad (38)$$

- 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

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.