

CAPITAL HUMANO Y DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA

ENRIC MARTORELL

CUNEF

CRECIMIENTO ECONÓMICO

2026

ENFOQUE DE ESTE CAPÍTULO

- ▶ Este capítulo se centra en dos elementos clave del desarrollo económico:
 1. **Capital humano:** siguiendo a Lucas (1988), exploramos cómo la educación y las habilidades amplifican la productividad
 2. **Difusión tecnológica:** cómo los países en desarrollo adoptan y adaptan tecnologías de la frontera
- ▶ A diferencia de Romer (innovación en la frontera), aquí estudiamos cómo la tecnología se difunde entre países
- ▶ Veremos que el capital humano juega un doble papel:
 - Efecto directo en la producción
 - Facilita la adopción de nuevas tecnologías

CRECIMIENTO Y DESARROLLO

CRECIMIENTO Y DESARROLLO [1]

- ▶ Hasta ahora hemos hablado de crecimiento y desarrollo económico como si fueran lo mismo
- ▶ Pero el crecimiento es solo una parte del desarrollo. La más **cuantificable**:
 - Aumento en PIB o PIBpc
 - Acumulación de capital físico
 - Crecimiento de la población
 - Aumento en la productividad

CRECIMIENTO Y DESARROLLO [2]

- ▶ **El desarrollo económico es un concepto más amplio** que incluye
 - Mejoras en capital humano (educación)
 - Fortalecimiento institucional
 - Difusión de la tecnología (desde los países más avanzados a los menos avanzados)
 - Cambios estructurales en la economía (como la transición de agricultura a manufactura y servicios)
 - Mejoras en el bienestar humano y calidad de vida
 - Reducción de la pobreza y desigualdad

CRECIMIENTO Y DESARROLLO [3]

- ▶ Para entender el desarrollo económico necesitamos entender el crecimiento económico
- ▶ A estas alturas ya tenemos algunas ideas
 - A través del modelo de Solow sabemos que el crecimiento de la tecnología/productividad es crucial
 - A través del modelo de Romer sabemos que la inversión en I+D es crucial para el crecimiento de la tecnología
- ▶ Sin embargo, estos modelos no capturan muchos de los aspectos del desarrollo económico

CONTABILIDAD DEL DESARROLLO

¿POR QUÉ ALGUNOS PAÍSES SON RICOS Y OTROS POBRES?

- ▶ Empezaremos por introducir una nueva variable: el capital humano y ver como de relevante es para explicar las diferencias en PIBpc
- ▶ ¿Qué parte de la producción es la razón por la que algunos países son ricos? (Hall and Jones 1999)

$$Y_i = K_i^\alpha (A_i h_i L_i)^{1-\alpha} \quad (1)$$

- K_i es el capital físico
- A_i es la productividad
- L_i es el número de trabajadores
- h_i es el capital humano por trabajador (**nuevo!**)
- i indexa el país

PIB PER CÁPITA

- Podemos reescribir (1) como

$$Y_i = \left(\frac{K_i}{A_i h_i L_i} \right)^\alpha A_i h_i L_i, \quad (2)$$

donde $\frac{K_i}{Y_i} = \frac{K_i}{K_i^\alpha (A_i h_i L_i)^{1-\alpha}} = \left(\frac{K_i}{A_i h_i L_i} \right)^{1-\alpha}$

- Hasta ahora asumíamos población (N_i) = fuerza laboral (L_i)
- Vamos a permitir que potencialmente $L_i \neq N_i$, de tal forma que el PIBpc

$$y_i = \left(\frac{K_i}{Y_i} \right)^{\alpha/(1-\alpha)} A_i h_i \frac{L_i}{N_i}. \quad (3)$$

CAPITAL HUMANO

- ▶ Definimos el capital humano como $h_i = e^{\mu E_i}$,
 - E_i son años de educación
 - μ es el rendimiento de cada año de educación (p. ej. $\mu \approx 0.10$)
 - Acorde a los estudios típicos del mercado laboral que indican que cada año de educación aumenta los salarios en aproximadamente 10%
 - **La escolaridad no es el único aspecto del capital humano, pero podemos medirla**
- ▶ Ejemplo numérico: con $\mu = 0.10$
 - 4 años de educación: $h = e^{0.4} \approx 1.49$ (49% más productivo)
 - 10 años de educación: $h = e^{1.0} \approx 2.72$ (172% más productivo)
 - 16 años de educación: $h = e^{1.6} \approx 4.95$ (395% más productivo)

COMPARANDO PAÍSES

- Comparemos algún país i con un punto de referencia (EE.UU.):

$$\frac{y_i}{y_{US}} = \left[\frac{(K/Y)_i}{\underbrace{(K/Y)_{US}}_{\text{Capital}}} \right]^{\alpha/(1-\alpha)} \times \underbrace{\frac{A_i}{A_{US}}}_{\text{Prod.}} \times \underbrace{\frac{h_i}{h_{US}}}_{\text{Cap. Humano}} \times \underbrace{\frac{(L_i/N_i)}{(L_{US}/N_{US})}}_{\text{Fuerza Laboral}} \quad (4)$$

- Podemos evaluar por qué el país i es más rico o más pobre que EE.UU.
 - Diferentes ratios de capital/producción
 - Diferentes niveles de productividad
 - Diferentes ratios de capital humano
 - Diferente participación de la fuerza laboral

MIDIENDO LA PRODUCTIVIDAD

- ▶ ¿Cómo se mide la productividad en un país? Difícil de observar
- ▶ Podemos usar la ecuación (3) para obtener la productividad como función de variables observables

$$A_i = \frac{y_i}{\left(\frac{K_i}{Y_i}\right)^{\alpha/(1-\alpha)} h_i \frac{L_i}{N_i}} \quad (5)$$

- ▶ Recordad que con la contabilidad del crecimiento de Solow hicimos algo muy similar para encontrar que explica las diferencias en **tasas de crecimiento del PIBpc**, no en niveles

CONTABILIDAD DEL DESARROLLO

País	PIB per cápita $\frac{y_i}{y_{US}}$	Componentes del PIB per cápita:			
		Capital / producción	Capital humano	Participación laboral	Prod.
		$\left[\frac{(K/Y)_i}{(K/Y)_{US}} \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$	$\frac{h_i}{h_{US}}$	$\frac{(L_i/N_i)}{(L_{US}/N_{US})}$	$\frac{A_i}{A_{US}}$
Estados Unidos	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Alemania	0.818	1.175	0.971	1.115	0.643
Reino Unido	0.707	1.197	1.010	1.015	0.576
Japón	0.634	1.205	0.940	1.147	0.489
China	0.226	1.084	0.617	1.158	0.291
Egipto	0.193	0.709	0.609	0.555	0.804
Indonesia	0.185	1.266	0.511	1.008	0.284
Nigeria	0.080	0.982	0.441	0.755	0.243

¿QUÉ IMPULSA LAS DIFERENCIAS?

- ▶ Las diferencias entre países en el PIB per cápita dependen de:
 - Tecnología/Productividad: principal factor (Alemania, Reino Unido)
 - Capital humano - Es importante (China, Nigeria)
 - Participación de la fuerza laboral: Determinante en algunos casos (Egipto)
 - Capital físico - Poco poder explicativo (valores cerca de 1)

- ▶ Esto nos está diciendo que la productividad es el principal determinante de las diferencias en PIB per cápita entre países avanzados
 - El modelo de Romer centrado en determinar el crecimiento de la tecnología parece un buen marco para comparar estos países
- ▶ Sin embargo para los países en desarrollo, el capital humano también juega un rol importante
 - Para explicar las diferencias en PIBpc entre China o Nigeria y EE.UU. necesitamos un modelo que incluya capital humano y su interacción con la tecnología

UN MODELO CON CAPITAL HUMANO Y DIFUSIÓN TECNOLÓGICA

INNOVACIÓN VS. DIFUSIÓN

- ▶ Hasta ahora (Solow, Romer): la tecnología *A* era igual para todos los países o crecía por I+D
- ▶ Pero observamos que los países usan tecnologías **muy diferentes**:
 - EE.UU., Alemania: tractores modernos, robots, software avanzado
 - Países en desarrollo: tecnologías más antiguas, menos automatización
- ▶ Para la mayoría de países, el crecimiento no viene de *inventar* nuevas tecnologías
- ▶ Sino de *adoptar y adaptar* tecnologías que ya existen en la frontera
- ▶ Pregunta clave: ¿qué determina la velocidad de adopción?

DIFERENCIAS DE PRODUCTIVIDAD

- ▶ Hasta ahora hemos modelado el crecimiento de la productividad como creación de nuevas ideas
- ▶ Esta elección parece razonable para países en la vanguardia tecnológica
- ▶ Pero para los países en desarrollo, la I+D de vanguardia es limitada
 - Modelamos la productividad como difusión o adopción más que como innovación
 - La distancia a la frontera importa; brechas más grandes significan más oportunidades
 - El capital humano importa; canal adicional que permite la adopción
- ▶ ¿Cómo evoluciona la productividad cuando la difusión impulsa el crecimiento?

CONFIGURACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

- ▶ En el modelo existe un nivel de tecnología de vanguardia en países *líderes*, A_t , que es **exógeno para los países en desarrollo**
- ▶ Cada país *seguidor* tiene un nivel de tecnología distinto, $D_t^i < A_t$
- ▶ Transformar tecnología en mejoras productivas depende del cap. humano, h_t
- ▶ El PIB por lo tanto es igual a

$$Y_t = K_t^\alpha (D_t h_t L_t)^{1-\alpha}. \quad (6)$$

- ▶ Todo lo relacionado con el capital funciona como en Solow/Romer.

DINÁMICA DE DIFUSIÓN

- ▶ La tecnología se adquiere mediante difusión de ideas (desde países líderes hacia seguidores)
- ▶ La difusión tecnológica evoluciona de acuerdo a

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \psi h A_t^\gamma D_t^{1-\gamma}. \quad (7)$$

- ψ es un parámetro de escala (podemos asumir 1)
- A_t es el nivel de tecnología en los países *líderes*
- D_t es el nivel actual de tecnología en el país *seguidor*
- $0 < \gamma < 1$ dicta cuán importante es el líder para la difusión
- El capital humano, h , aumenta la difusión en el país *seguidor*

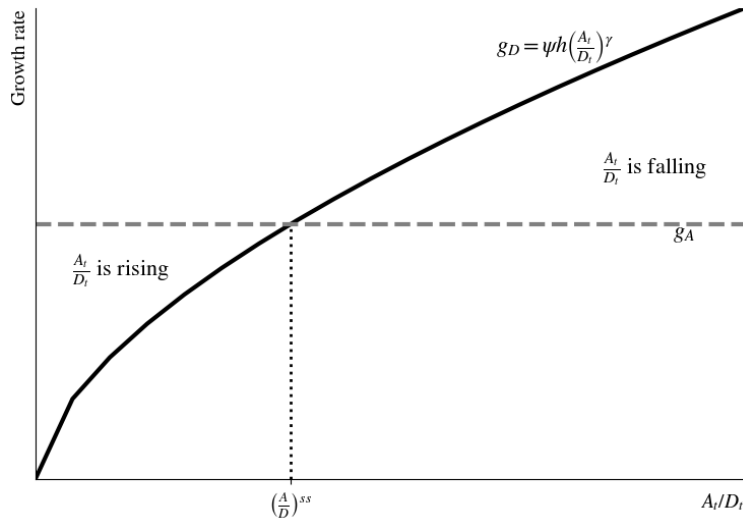
DINÁMICA DE DIFUSIÓN

- La tasa de crecimiento de la difusión es por lo tanto

$$g_D = \psi h \left(\frac{A_t}{D_t} \right)^\gamma \quad (8)$$

- La ratio A/D dicta el ritmo relativo de crecimiento de la tecnología en de vanguardia y en el país en desarrollo
- Similar a Solow/Romer donde la ratio de stocks dicta una tasa de crecimiento
 - en Solow/Romer, $k = K/AL$ dicta g_K
 - en Romer, L_R/A dicta g_A
- Nótese que a medida que D aumenta, g_D disminuye

DINÁMICA DE DIFUSIÓN



ESTADO ESTACIONARIO

- ▶ Dada cualquier ratio inicial A_0/D_0
 - La tasa de crecimiento $g_D = g_A$
 - Los seguidores solo pueden crecer tan rápido como los líderes
 - A medida que alcanzan, se ralentizan
 - El nivel de D determina qué tan cerca de la frontera está un país

ESTADO ESTACIONARIO

- ¿Cuál es la ratio A/D en estado estacionario?

$$\left(\frac{A}{D}\right)^{ss} = \left(\frac{g_A}{\psi h}\right)^{1/\gamma}. \quad (9)$$

- Esta ratio es *menor* y el seguidor está *más cerca* cuando
 - h es alto. Más capital humano significa más fácil adoptar nuevas tecnologías
 - g_A es bajo. Si el líder crece lentamente, es más fácil mantenerse al día

SENDA DE CRECIMIENTO EQUILIBRADO (BGP)

- ▶ En cualquier punto en el tiempo, el nivel de D_t es

$$D_t = \left(\frac{\psi h}{g_A} \right)^{1/\gamma} A_t, \quad (10)$$

- ▶ lo que significa que el BGP para el PIB per cápita en el seguidor es

$$y_t^{BGP} = \left(\frac{s_I}{g_A + g_L + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h \left(\frac{\psi h}{g_A} \right)^{1/\gamma} A_t. \quad (11)$$

- ▶ y el seguidor corre “paralelo” al BGP del líder.

CAPITAL HUMANO

- Nótese que con esta senda de crecimiento equilibrado

$$y_t^{BGP} = \left(\frac{s_I}{g_A + g_L + \delta} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} h \left(\frac{\psi h}{g_A} \right)^{1/\gamma} A_t. \quad (12)$$

- El capital humano es más importante que solo a través del efecto directo en el uso de la tecnología (h)
- El término $h^{1/\gamma}$ influye en la difusión
- La contabilidad del desarrollo puede subestimar la importancia del capital humano

COMERCIO Y GLOBALIZACIÓN

IMPORTANDO IDEAS

- Vamos a pensar en el comercio internacional como una forma de importar ideas a través de productos diferenciados

$$Y_t = \left(\sum_{j=0}^{J=D_t+M_t} x_{jt} \right) (h_t L_t)^{1-\alpha}. \quad (13)$$

- donde D_t son las variedades domésticas y M_t son las variedades importadas
- El comercio puede aumentar el PIB al añadir nuevos tipos de bienes

PRODUCCIÓN DOMÉSTICA

- En el lado doméstico,

$$D_t z_t = K_t.$$

- El país usa K_t en capital para producir z_t unidades de las D_t variedades que pueden hacer

$$K_t - D_t x_t = D_t(z_t - x_t) = M_t x_t. \quad (14)$$

- Pero el país solo *usa* x_t unidades de esas variedades, dejando $D_t(z_t - x_t)$ para exportación, que se intercambian por $M_t x_t$ unidades de variedades extranjeras

BALANZA COMERCIAL

► Interpretando el comercio:

- Puede pensar en $D_t(z_t - x_t)$ como una cantidad literal de bienes enviados a países extranjeros
- Puede pensar en $M_t x_t$ como la cantidad de bienes importados de esos países
- O puede pensar en $D_t(z_t - x_t)$ como capital que es propiedad del país doméstico en un país extranjero (IED saliente)
- y entonces $M_t x_t$ es la cantidad de capital propiedad de un país extranjero en el país doméstico (IED entrante)

► Esto asume comercio equilibrado en todo momento. Añadir déficits o superávits implica trabajo adicional en el lado del consumo

COMERCIO Y PIB [1]

- ▶ Cualesquiera que sean las interpretaciones, tenemos

$$K_t = x_t(D_t + M_t),$$

- ▶ lo que nos permite escribir el PIB como

$$Y_t = K_t^\alpha (D_t h_t L_t)^{1-\alpha} \left(1 + \frac{M_t}{D_t}\right)^{1-\alpha}.$$

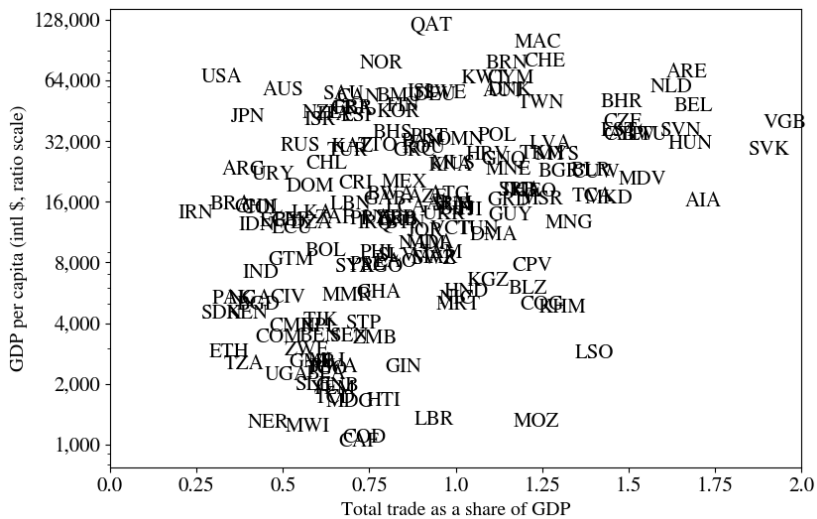
- ▶ Las variedades domésticas D_t actúan como "tecnología", como hasta ahora

COMERCIO Y PIB [2]

$$Y_t = K_t^\alpha (D_t h_t L_t)^{1-\alpha} \left(1 + \frac{M_t}{D_t}\right)^{1-\alpha}.$$

- ▶ Pero también tenemos esta ratio M_t/D_t que puede impulsar la productividad
- ▶ Además de las dinámicas de difusión anteriores, ahora tenemos que una mayor ratio de importaciones sobre variedades domésticas puede aumentar la productividad
 - Captura la idea de que mediante la importación de nuevos productos también importamos nuevas ideas
- ▶ El comercio es inequívocamente bueno para el PIB en esta formulación

COMERCIO Y PIB



Hall, R. E. and Jones, C. I. (1999). Why do Some Countries Produce So Much More Output Per Worker than Others? *The Quarterly Journal of Economics*, 114(1):83–116.