



Competitiveness and Sustainable Development Institute

Paul Romer : *develó que la tecnología es un proceso endógeno y que el capital humano es la principal fuente de crecimiento económico*

Por Jaime E. Luyo

Con motivo de la próxima visita a nuestra capital de Paul Romer, laureado con el Nobel en Economía 2018, para ser orador principal en el XV Encuentro Internacional de Minería, entre el 21 y 23 de mayo, anunciado recientemente en un diario*; sea la oportunidad para dar a conocer un artículo pionero en nuestro medio, publicado en el año 2007, en la revista IECOS *Journal of Economics, Applied Statistics and Social Science*, UNI, sobre la importancia del resurgimiento de la teoría del Crecimiento Económico y que denominamos entonces : *“Notas sobre la Nueva Economía del Crecimiento”*.

Lima, 03 de abril del 2024

*<https://diariocorreo.pe/economia/premio-nobel-de-economia-paul-romer-sera-orador-principal-del-xv-encuentro-internacional-de-mineria-en-lima-noticia/>



Notas sobre la nueva economía del crecimiento

Jaime E. Luyo Kuong*

Resumen

En el presente trabajo hacemos un breve repaso de la Teoría del Crecimiento Económico Endógeno (TCE), a partir del análisis del aporte precursor de Paul Romer y de otros importantes investigadores que han continuado el desarrollo de esta nueva corriente de pensamiento que superó el estancamiento que padecía la Teoría del Crecimiento Económico e hizo posible que adquiriera nueva importancia a partir de la década pasada.

Palabras Clave: Crecimiento Económico Endógeno, Modelos de Innovación Horizontal y Vertical, Capital Humano, Tecnología, Crecimiento Balanceado, Desborde del Conocimiento, Creación Destructiva, *Learning by doing*.

Introducción

La macroeconomía moderna ha venido evolucionando desde sus inicios con los aportes de John Maynard Keynes al estudio de la Gran Depresión de la tercera década del siglo XX, aunque no han sido pocas las controversias en torno al modelo keynesiano y las políticas por adoptarse para la economía real. Las disputas intelectuales entre los economistas clásicos y keynesianos se han centrado fundamentalmente en el comportamiento de la economía a corto plazo y en la política fiscal; pero resulta de gran importancia y trascendencia, para el desarrollo económico, el estudio de las tendencias o tasas de crecimiento económico a largo plazo y las políticas que las afectarían.

Según el nuevo enfoque de la Teoría del Crecimiento Económico, el modelado de la economía debe seguir un análisis dinámico para describir su comportamiento en el largo plazo, en lugar de la tradicional investigación con modelos estáticos de equilibrio general. Se puede considerar que este nuevo enfoque fue iniciado por Robert M. Solow y Trevor W. Swan con sus trabajos publicados en 1956, donde introducen el denominado modelo “neoclásico” de la economía. Posteriormente, este modelo fue ampliado para introducir el comportamiento óptimo intertemporal de los consumidores, con lo que se establece el nexo entre la macroeconomía y la microeconomía, que también se tratará a continuación.

Sin embargo, el modelo neoclásico, al mantener como supuesto básico los rendimientos decrecientes a escala de cada uno de los factores, hizo evidente que el crecimiento a largo plazo no era sustentable con la sola acumulación de capital y que la introducción del progreso tecnológico, como variable exógena, era la fuerza impulsora requerida para conseguirlo. En la década de 1960 la actividad de la corriente neoclásica decayó por falta de una mayor correspondencia entre la teoría, la evidencia empírica y la utilidad práctica, ello hasta la publicación del trabajo de Paul Romer *Increasing Returns and Long-Run Growth* en 1986, que modeló el crecimiento con tasas positivas a largo plazo con la endogenización de la variable tecnológica, reflejando mejor la realidad económica.

A partir de la década de 1990 se produce un incremento notable de la actividad de investigación en la TCE. En la literatura científica se originan diversas manifestaciones de lo que se entiende por progreso tecnológico, como: nuevo conocimiento, variable tecnológica, nuevas ideas, innovación, invención, descubrimiento, cambio técnico, entre otros. El conjunto de todas las investigaciones realizadas se podría agrupar –siguiendo un criterio básico– dentro de dos enfoques o corrientes de investigación: el horizontal y el vertical, puesto que generalmente otros enfoques resultan ser equivalentes o una combinación de los mencionados (MARE, David: 2004).

En primer lugar estudiaremos el enfoque horizontal, que considera la tecnología como un aumento de nuevas variedades y número de productos o bienes de capital disponibles como factores de producción; es decir de “innovación” horizontal. Con este propósito analizaremos el artículo “Endogenous Technological Change”, que publicó Paul Romer en 1989; texto que supera –según el autor– algunas limitaciones del modelo endógeno original de 1986. Luego revisaremos el enfoque de modelización endógena, que considera el progreso tecnológico como una mejora de la calidad de los productos existentes y emplea modelos de “escalera de calidad” a la manera de la “destrucción creativa” de Schumpeter; es decir, a diferencia del anterior enfoque, éste sería de “innovación vertical”. El artículo representativo de esta tendencia es “A Model of Growth Through Creative Destruction”, que publicaron Philippe Aghion y Peter Howitt en 1990.

Para completar esta presentación hacemos una breve referencia de artículos publicados en los últimos años que tratan acerca del crecimiento endógeno y abordan sus diversos aspectos como el efecto de escala y la eficiencia energética en el cambio climático. Finalmente, hacemos comentarios sobre el desarrollo producido en la TCE en el año 2006, incluyendo comprobaciones empíricas para los países en vías de desarrollo, donde se enfatizan explicaciones para el caso del Perú, que

destacan las habilidades y destrezas del trabajador peruano.

Por otro lado, presentamos una breve exposición de los desarrollos matemáticos no explicados o no incluidos en los artículos de investigación analizados. Las posibles interrogantes que podrían surgir en este resumen, donde destacaremos lo esencial de las contribuciones de Paul Romer, de P. Aghion y P. Howitt, serán absueltas –seguramente– cuando se publique la versión completa de la monografía.

I. Un modelo de innovación horizontal

En 1989 Paul Romer publica un artículo que se convierte en la contribución científica necesaria para relacionar el crecimiento con la investigación y el desarrollo (I+D), o con la innovación o tecnología a nivel endógeno.

Siguiendo la visión de cambio tecnológico de Solow, Romer establece tres premisas: primera, el cambio tecnológico es el núcleo del crecimiento económico; segunda, este cambio surge de las acciones e iniciativas de personas que responden a los incentivos del mercado; y tercera, y fundamental, una vez pagado el costo de creación de un nuevo conocimiento tecnológico, éste puede usarse en forma repetida y simultánea por diferentes personas sin costo adicional, característica denominada “no-rival” (JONES, Ch.: 2004) e inherente

a la tecnología. Adicionalmente, esta tercera premisa genera, inexorablemente, no-convexidades (ROMER, Paul: 1990; STOFT, Steven y Paul ROMER: 2002) que impiden lograr el equilibrio descentralizado. La tecnología, al ser un bien no-rival que se utiliza como factor productivo, causa que la función total de producción no satisfaga además la condición de homogeneidad de grado uno o crecimiento constante a escala; lo que genera comportamientos monopólicos en las empresas que compran licencias para producir nuevos bienes durables. Estos problemas son superados en el modelo, como explicamos a continuación.

Descripción del modelo

Se consideran cuatro entradas básicas: el capital físico K , trabajo L , capital humano H y tecnología A . Aquí se separa el componente rival del conocimiento (H) del componente no-rival (A), que además puede crecer ilimitadamente. Las variables agregadas L y H son fijas.

El modelo de la economía tiene tres sectores. El sector de investigación, que emplea capital humano y el stock existente de conocimiento para producir nuevo conocimiento; este nuevo producto de investigación es usado por el sector intermedio conjuntamente con el capital para la producción de bienes durables que serán usados por el sector de bienes finales, que incorpora además trabajo y capital humano para la producción final. El

sector intermedio compra al sector de investigación las licencias (patentes) para el uso del nuevo conocimiento en forma monopólica. Además, hay que considerar el efecto de “desborde del conocimiento” (*knowledge spillover*), y que con el incremento de licencias más empresas entran al mercado, con lo que se produce la eliminación de los rendimientos decrecientes.

La función de producción tiene la forma Cobb-Douglas con retornos constantes a escala.

$$Y(H_1, L, X) = H_1^\alpha L^\beta \int_0^\infty x(i)^{1-\alpha-\beta} di \quad (1.1)$$

donde:

- $x(i)$: número de bienes de producción durables indexados, $0 < i < \infty$
- $H_1 = H - H_2$: capital humano en el sector de bienes finales
- H_2 : Stock de capital humano dedicado al sector de investigación

además, $\int_0^\infty x(i) di < \infty$

en el instante t , para $i > A(t)$; $x(i) = 0$

El aporte esencial en la formulación del modelo está referido al proceso de acumulación de los nuevos conocimientos, es decir el crecimiento de $A(t)$. Se considera que la parte del capital humano agregado que es asignado a la investigación H_2 , multiplicado por el stock de conocimiento A (que es no-rival) y la productividad por unidad de tiempo δ , es igual al incremento por unidad de tiempo del stock de conocimiento; es decir:

$$\frac{dA(t)}{dt} = \dot{A} = \delta.H_2A \quad (1.2)$$

En relación con la ecuación (1.2) el autor señala que cuanto más se dedique capital humano a la actividad de investigación, mayor será la tasa de producción de conocimiento; además, que mientras mayor sea el stock de conocimiento más alta será la productividad de un ingeniero que trabaja en el sector de investigación. Sin embargo, precisa que el ingeniero de hoy y aquel que trabajó cien años atrás tienen el mismo capital humano, y que la mayor productividad del actual solo se debe a que hace uso del stock de conocimiento acumulados y la gran cantidad de problemas de diseño resueltos a lo largo de los últimos cien años.

Romer consideró que existe exclusividad del uso (o derecho de propiedad) de un nuevo conocimiento (*new design*), cuando es utilizado para la producción de nuevos bienes durables (*new producer durables*); pero estos derechos no son extensivos al sector de investigación. Este concepto resalta los roles productivo y de crecimiento del stock de conocimientos, de la tecnología, que son inmanentes en forma indirecta ($A(t)$ es el rango de $x(i)$) en la ecuación (1.1) y directa en la ecuación (1.2).

Estas ecuaciones expresan además no-convexidades evidentes (ROMER, Paul: 1990; STOFT, Steven y Paul ROMER: 2002) que el autor resuelve cuando considera que la ecua-

ción de producción final está sustentada en un equilibrio descentralizado de competencia monopolística; mientras que la ecuación que representa la producción de nuevo conocimiento logra su equilibrio a través de la competencia con los efectos externos del desborde del conocimiento (dado que una vez creado el nuevo conocimiento se difunde por toda la economía sin que el inventor pueda evitarlo). Son, entonces, el *spillover* y la fijación de su precio de manera monopolista, las características básicas para internalizar la tecnología en un modelo de crecimiento.

Solución para un equilibrio de crecimiento balanceado. Resultados

La solución del modelo para un equilibrio de crecimiento balanceado es orientada por el modelo de Solow considerando que $A(t)$ crece a una tasa exponencial constante. Observando la ecuación (1.2), $A(t)$ crece a una tasa constante si el capital humano dedicado a la investigación se mantiene constante, pero condicionado a que el precio del nuevo bien durable sea fijo. A lo largo de la trayectoria de crecimiento balanceado y en condiciones de equilibrio los salarios del capital humano deben ser iguales en cada sector. Además, como L , H_1 , \tilde{x} (nivel de equilibrio de los bienes durables) son fijos, el capital K debe crecer a la misma tasa que $A(t)$ y en conjunto también Y .

La tasa de crecimiento balanceado de la tecnología es:

$$g = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\delta H - \rho \Lambda}{\Lambda \sigma + 1}; \Lambda = \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)} \quad (1.3)$$

y los parámetros de las preferencias σ , ρ , deben además satisfacer la condición:

$$\frac{(1-\sigma)\delta H}{A+I} < \rho; \Lambda = \frac{\alpha}{(1-\alpha-\beta)(\alpha+\beta)}$$

la expresión (1.3) tiene resultados interesantes como que:

- la tasa de crecimiento no depende del tamaño de la fuerza laboral L ;
- g es independiente de η , la tasa de cantidad de unidades de capital requerido por cantidad de bienes durables; es decir, la variación de acumulación de capital físico no afecta el largo plazo;
- el crecimiento se acelera por la reducción de la elasticidad de la utilidad marginal con respecto al consumo o de la tasa de descuento, σ o de ρ , que predispone a sustituir el consumo presente por el consumo futuro;
- Y , K y C , crecen a la misma tasa de la tecnología.

En este modelo la relación A/K es determinada endógenamente, a diferencia de los modelos previos donde era fijada. En consecuencia, la ligazón de A y K producía un aumento de la tasa de crecimiento si se aumentaba el stock de capital.

La solución para el precio de la tecnología producida resulta de:

$$P_A^{\alpha+\beta} = \frac{T'}{\delta^\alpha} \left[\frac{\delta \cdot \sigma H + \Lambda \rho}{\sigma \Lambda + 1} \right]^{\alpha-1} \cdot L^\beta \eta^{\alpha+\beta-1}$$

y número de bienes durables

$$\tilde{x} = \frac{1}{\eta} \cdot P_A \cdot \frac{1-\alpha-\beta}{\alpha+\beta}$$

estos resultados indican que:

- si bien η y L no afectan la tasa de crecimiento, un aumento de L o una disminución de η , causan un aumento de P_A ;
- lo anterior induce al productor de bienes durables a desplazar su inversión de A hacia K , aumentando \tilde{x} y el ratio K/A que no afectará al crecimiento a largo plazo;
- una forma de compensar estos efectos sería a través de subsidios al empleo en investigación financiados con impuestos, lo que tendría el mismo efecto de aumentar δ en la ecuación (1.2); que en el largo plazo producirá un aumento de la tasa de crecimiento y una caída de P_A y reducción de \tilde{x} y K/A .

Romer también obtiene la tasa de crecimiento como solución dentro del contexto de un problema de planificación social. Da como resultado que la tasa de crecimiento es:

$$g^* = \frac{\delta H - \rho \theta}{\theta \sigma + (1-\theta)}; \theta = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} < 1$$

comparando con la expresión anterior de g , ecuación (1.3); se observa que:

- g^* es mayor que g obtenida en el equilibrio descentralizado;
- el óptimo social dedica mayor capital humano a la investigación y menos a la producción de bienes finales.

El capital humano dedicado a la investigación viene expresado por:

$$H_2 = \frac{H - \frac{\rho \Lambda}{\delta}}{\Lambda \sigma + 1} ; H_2 > 0$$

también, $g = \delta H_2$, y nos transmite que:

- cuando la magnitud del capital humano es muy reducida, esta se refleja en una tasa muy baja de crecimiento que puede producir una recesión de la economía. Una medida inclinada a sacrificar el consumo corriente (reducir ρ) no sería una compensación suficiente;
- este resultado explica el porqué existen diferencias en las tasas de crecimiento per cápita entre los países;
- más que el volumen del capital, lo determinante para el crecimiento es la fracción de este capital dedicado a la investigación;
- el comercio e integración de las economías debe tener en cuenta

no tanto el tamaño de la población o densidad sino la magnitud de su capital humano.

Comentarios

- El autor realiza un trabajo meritorio. Introduce nuevas ideas sobre el crecimiento económico y también rectifica y ordena conceptos de autores anteriores que intentaron endogenizar el cambio tecnológico.
- El modelo toma en consideración la visión de Solow de equilibrio de crecimiento balanceado cuando la tecnología crece a una tasa constante. Sin embargo, el autor empleó un procedimiento diferenciado de análisis y desarrollo de modelo, y pone énfasis en aspectos microeconómicos.
- El mayor aporte de Romer es demostrar que el cambio y crecimiento tecnológico es producido por iniciativa de los individuos dedicados a la investigación. Es decir, la tecnología es una variable endógena.
- Se ha resaltado previamente importantes resultados de este modelo. Sin embargo, estos se han logrado partiendo de algunos supuestos como el asumir que la población total es constante y que están dados los factores agregados del trabajo y el stock total de capital humano. No obstante, no incluye el factor de obsolescencia del capital y todo el crecimiento de K está orientado a la producción de nuevos bienes que

en el equilibrio alcanzan el mismo nivel. Asume también que el salario en el sector investigación es igual al del sector de producción final para el capital humano.

- Una importante concesión en el modelo es la introducción de un precio monopolístico para los nuevos bienes durables.
- Investigaciones posteriores deberán tomar en cuenta la flexibilización de algunos supuestos de Romer, como el crecimiento de la población o el efecto de intercambio en una economía abierta.

II. Modelos de innovación vertical

Una corriente alternativa de modelos de crecimiento endógeno basados en el progreso tecnológico, considera el mejoramiento de la calidad de los productos existentes y la formación de escaleras de calidad dentro de un enfoque shumpeteriano, que sostiene que este mejoramiento tiende a hacer obsoleta la generación previa del producto, destruyendo así los beneficios de las empresas con viejas ideas.

El modelo que tratamos en el apartado anterior considera que la innovación adopta la forma de una nueva variedad de productos (innovación horizontal); en cambio, el modelo que presentamos a continuación puede denominarse de innovación vertical (MARE, David: 2004) y tiene su origen en el ya citado trabajo de

Philippe Aghion y Peter Howitt, quienes desarrollan un modelo dentro del espíritu del modelo de Romer (1989). Sin embargo, realizan dos cambios fundamentales: introducen el concepto de obsolescencia de la innovación, que podría detener el crecimiento en los modelos horizontales, y sostienen que el proceso de crecimiento es más bien discontinuo, donde la distribución de los descubrimientos trascendentales son considerados endógenos y aleatorios.

El modelo básico

En este modelo el proceso económico es similar al de Romer y se estructura en tres niveles: el de investigación, el intermedio de producción de bienes de capital durables y el de producción de bienes finales.

Se consideran como objetos transables: la tierra, el trabajo, los bienes de consumo y un *continuum* de bienes intermedios. Se incluye también un *continuum* de individuos que viven infinitamente a través de generaciones en un total N , cada uno dotado con una unidad de flujo de trabajo y con preferencias aditivas intertemporales idénticas definidas para el consumo a lo largo de la vida; la tasa de preferencias en el tiempo es constante $r > 0$. Se asume que hay una provisión fija H de tierra.

Los autores se abstienen de considerar la acumulación de capital en la formulación, cuando se observa que la función de producción de bienes de

consumo está compuesta por tierra, que es constante, y de bienes intermedios, $x(i)$, con retornos constantes de escala.

$$y = \int_0^1 F[x(i)] / c(i). di \quad (2.1)$$

$$i \in [0, I]$$

$$F'(x_i) > 0, \quad F''(x_i) < 0$$

$c(i)$: parámetro que indica el coste unitario de producir un bien de consumo usando el bien intermedio i , dados los precios de los factores.

Además, se asume que el bien intermedio i es producido solo utilizando trabajo, o sea:

$$x(i) = L(i) \quad (2.2)$$

$L(i)$: flujo de trabajo usado en el sector intermedio.

El trabajo también es empleado en el sector de investigación que produce una secuencia aleatoria de innovaciones; siendo $\lambda.n$ la tasa Poisson de surgimiento de innovaciones en la economía en cualquier instante, donde n es el flujo corriente de trabajo en investigación y λ es un parámetro constante dado por la metodología de investigación.

En el nivel intermedio, el monopolista tiene como objetivo maximizar el valor presente de beneficios dentro de un intervalo de tiempo, cuya longitud

es aleatoria; por lo que deberá maximizar el flujo cada instante.

En el modelo no se considera que el actual propietario de una patente no sea amenazado por otro que tiene una patente anterior, puesto que no implementa regularmente descubrimientos extraordinarios. Además, sólo se acepta que una innovación drástica podrá ser implementada generalmente por una empresa nueva que entra en el mercado.

Los autores introducen la noción de innovación como la invención de una nueva línea de bienes intermedios (no necesariamente revolucionaria, más bien similar a la generación anterior) que produce una reducción del parámetro de costos por un factor γ , es decir:

$$c_t(i) = C_t = C_0 \gamma^t \quad (2.4)$$

$$\forall i \in [0, I], \quad t = 0, 1, \dots$$

$$\gamma \in (0, 1)$$

C_t es igual para todo i ,
 C_0 = valor inicial histórico.

En el proceso de investigación, no se considera el desborde del conocimiento (*spillovers*) dentro de un determinado intervalo t . Una empresa de investigación emplea un flujo de trabajo z , que es independiente del empleado por otras firmas, es decir: $\bar{n}t = nt - z$. Mediante la aplicación de la ecuación de Bellman en tiempo discreto (INTRILIGATOR, Michael: 1971; CERDA TENA, Emilio: 2001) para op-

timizar los beneficios de una empresa de I & D por una nueva innovación en el periodo t ; el valor esperado de la patente en el periodo t para una libre entrada a investigación, V_t , tiene la expresión:

$$V_t = \frac{\Pi_t}{r + \lambda \cdot n_t} \quad (2.5)$$

Π_t = flujo constante de beneficios en el intervalo de longitud distribuida exponencialmente ($\lambda \cdot n_t$)

El término $\lambda \cdot n_t$, toma en cuenta el efecto de “creación destructiva”. Cuanta más investigación se realiza en el periodo, más se reduce la valorización de la patente y disminuye su tiempo de posesión por el monopolista. Además, la expresión (2.4) nos dice que el parámetro de costo unitario c_t se reduce en la fracción γ por cada innovación producida y con la misma probabilidad $\lambda \cdot n_t$, por lo cual el productor de una innovación captura parte de las ventas de la actual innovación sin compensar a su innovador; es decir, se produce un *spillover* intertemporal.

Pronóstico de equilibrio

Considerando que el proceso es discreto en el tiempo y aleatorio, los autores definen un “pronóstico perfecto de equilibrio” que se traduce en un número finito de trayectorias asintóticas.

La trayectoria de equilibrio estable con crecimiento positivo estima que la

economía tiene un crecimiento balanceado en el sentido que la asignación del empleo entre la manufactura de bienes intermedios (x^*) y la investigación ($n^* = N - x^*$) permanece fijo, por lo que el crecimiento será positivo si $x^* < N$; cuando $x^* = N$ el crecimiento es cero.

Cuando el empleo en manufactura oscila entre dos valores diferentes con cada innovación exitosa, se produce la trayectoria de “dos ciclos reales”. Un alto empleo en intervalos impares eleva la recompensa a la investigación durante intervalos pares, pero se reduce el empleo en éstos. Por otro lado, un bajo empleo en intervalos pares eleva el empleo en intervalos impares. La trayectoria de “trampa de no-conocimiento” se presenta cuando la perspectiva de bajo empleo en el sector de manufactura en periodos pares va a producir una depresión en el incentivo para la investigación en periodos impares, por lo que la investigación se detiene. Esta situación puede producirse incluso cuando existe un crecimiento balanceado positivo.

En el caso de una función especial Cobb-Douglas, la condición necesaria y suficiente para lograr un crecimiento positivo de la economía es:

$$\gamma < \frac{\lambda}{r} \cdot \frac{1 - \alpha}{\alpha} \cdot N \quad (2.5)$$

o alternativamente, si r , γ , N , λ son dados:

$$\alpha < \alpha^* = \frac{\lambda \cdot N}{\gamma \cdot r + \lambda \cdot N} < 1 \quad (2.6)$$

Además, la magnitud de α permite tener una medida del poder de mercado del monopolista. Si $\alpha \geq \alpha^*$ es monopolio débil, ya que los beneficios $(1-\alpha)$ se reducen y se desincentiva la investigación para la siguiente innovación; se corta también la secuencia de creación destructiva y –según (2.5)– el crecimiento positivo.

Si se observa la relación (2.5) y (2.6), la trampa de no-crecimiento siempre se podrá producir cuando la tasa de interés r es suficientemente pequeña, y como acabamos de mencionar, al reducirse los beneficios del monopolista se paraliza el crecimiento positivo. En este estado es más probable que se produzca esta situación de no-crecimiento.

Para que exista una trayectoria de dos ciclos reales se debe cumplir que la tasa de interés sea suficientemente pequeña y que la elasticidad de la demanda de los bienes intermedios esté suficientemente cercana a uno. O sea cuando:

$$r \text{ ó } r/\lambda \text{ pequeño, y } \eta = \frac{1}{1-\alpha} \approx 1$$

Tasa de crecimiento promedio

Las variaciones que aparecen en el modelo como impulsos (*shocks*) de tecnología dependen de los mismos factores económicos que determinan

la tasa de crecimiento promedio de la economía (AGR). Asimismo, al endogenizar el cambio técnico también se endogeniza la AGR y la variabilidad de la tasa de crecimiento (VGR).

Los autores parten de la condición de crecimiento balanceado positivo, consideran que el comportamiento del logaritmo neperiano de la función de producción (en tiempo real) es aleatorio (TEMPLE, J.: 1999) y además que el proceso estocástico es discreto en el tiempo real. En función de estas premisas establecen que:

$$AGR = -\lambda \cdot n^* \cdot \ln \gamma \quad (2.7)$$

$$VGR = \lambda \cdot n^* \cdot (\ln \gamma)^2 \quad (2.8)$$

n^* : empleo en investigación en equilibrio estable

Considerando (2.5) y (2.6) estos resultados indican que un aumento del monopolio, de la velocidad y la magnitud de introducción de innovaciones y el tamaño de la población laboral, repercutirán en un incremento de la AGR; y que, por el contrario, una mayor tasa de interés la reducirá. Esto igualmente se reflejará en la VGR.

En el modelo se introduce adicionalmente una segunda fuente de crecimiento económico, llamada “aprendizaje en la práctica” (*learning by doing*).

Durante el proceso de manufactura, en el nivel intermedio de la industria –en el intervalo entre dos

innovaciones sucesivas— se puede mejorar la calidad de los bienes durables. El efecto de este mejoramiento se traduce en el parámetro de costo unitario $e(\tau)$, en el instante τ , se asume entonces que su tasa de crecimiento es:

$$\frac{\dot{c}}{c} = -g.x$$

x : trabajo asignado a la manufactura.

$$g > 0$$

Lo que significa que se genera un incremento de la productividad en el sector de bienes de consumo a una tasa $g.x$ entre dos innovaciones. Asimismo, se considera que tanto en el nivel intermedio de la economía como en el de investigación existe un completo *spillover*; y dado que la producción es la actividad que crea aprendizaje externo, las economías privadas crecen muy rápido.

La tasa de crecimiento promedio y su variabilidad de incluir esta segunda fuente, son:

$$AGR = g(N - n^*) - \lambda.n^*. \ln\gamma \quad (2.9)$$

$$VGR = \lambda.n^*. (\ln\gamma)^2 \quad (2.10)$$

Observando (2.9) vemos que tiene un componente determinístico debido a la segunda fuente y uno aleatorio debido al proceso de innovación igual a (2.7). También se ve que la VGR se mantiene igual, ya que la fuente adicional es determinística.

Un incremento de la velocidad de aprendizaje en la práctica g aumenta la AGR. Y según los autores también induce un aumento en el nivel de actividad de investigación (n^*), que cuando es muy alto en un inicio, de producirse un incremento adicional se afectará negativamente al aprendizaje, ocasionando demasiada actividad de investigación.

De lo anterior, se puede afirmar que el aprendizaje inducido por el *spillover* aumenta el nivel de investigación en una economía descentralizada, elevando el valor presente de las ventas de una innovación exitosa, pero no beneficia al trabajo en el sector manufacturero; lo que explica una mayor inversión en investigación en este estado de la economía. En una economía centralizada, con un planificador social, éste más bien responderá a un crecimiento de g , colocando más trabajadores en el sector manufacturero y menos en el de investigación.

Cuando se relaja la condición de utilidad constante y se considera que la función de utilidad tiene una utilidad marginal constante, $\sigma > 0$; y se mantiene la tasa de preferencia intertemporal constante, $r > 0$; los consumidores entonces tendrían un consumo alisado a través del tiempo que afecta el estado de equilibrio sólo en ciertos aspectos. Los parámetros AGR, VGR y n^* serán afectados sólo cuando se produce un incremento de la magnitud de las innovaciones (decremento de γ) que produce un

aumento de la investigación y consecuentemente de AGR y VGR, cuando $\sigma < 1$; mientras que este incremento producirá el efecto contrario cuando $\sigma > 1$.

Si la elasticidad de sustitución intertemporal, $1/\sigma$, es cercana a cero repercutirá en una gran reducción de la investigación (n^* pequeña), que consecuentemente reducirá también el AGR y VGR.

Comentarios

El desarrollo del modelo de innovación vertical que hemos tratado nos permite decir que:

- Amplía y modifica el modelo de Romer analizado en el apartado 1. Entre los aportes se destacan: la introducción del efecto de obsolescencia de la innovación tecnológica y la fuente adicional del aprendizaje en la práctica; así como el comportamiento aleatorio del surgimiento de las innovaciones a lo largo del tiempo, que consecuentemente afectan el comportamiento real del crecimiento económico.
- Se halla una expresión para la tasa de crecimiento promedio de la economía y su variabilidad, considerando el comportamiento real del producto nacional bruto (GNP) cuya tendencia de crecimiento tiene un notorio componente aleatorio; el cual, a criterio de los autores, se debe a *shocks* tecnológicos, que en los modelos previos de crecimiento

no son considerados o son en todo caso externos a las decisiones económicas de acumulación de conocimiento. En el modelo se “endogeniza” este comportamiento.

- Se considera necesario y positivo el comportamiento monopolístico a nivel intermedio de la economía para el crecimiento. Se da una forma de estimar el grado de poder de mercado.
- La introducción del efecto de aprendizaje en la práctica es positivo para aumentar el crecimiento económico, ya que induce también a una mayor actividad de investigación cuya intensidad puede revertir negativamente en el nivel del aprendizaje.
- Se determina además de la condición de equilibrio estable de crecimiento positivo o cero, la denominada condición de “trampa de no-crecimiento” en que la economía se paraliza en un tiempo finito ya que la inversión en investigación no es rentable y se detiene toda actividad. También se identifica la trayectoria de “dos ciclos reales” cuando el nivel del empleo en manufactura tiene una variación temporal cíclica.
- El modelo no incluye el capital físico o humano ni el cambio de magnitud de la población, y por tanto no permite un análisis del efecto de escala. No considera tampoco un análisis del intercambio entre eco-

nomías y la posible intervención de las instituciones.

III. Eliminación del efecto de escala

La predicción dada por el efecto de escala, que sostiene que el crecimiento económico depende del tamaño de la población del número de investigadores no está corroborada empíricamente (TEMPLE, J.: 199; JONES, C.: 1995). Los modelos de crecimiento endógeno desarrollados a partir del modelo de Romer muestran el efecto de escala, por lo que la atención de la investigación se ha centrado en el desarrollo de un modelo que elimine este efecto.

En esta sección presentamos los aspectos esenciales del trabajo publicado por Maria-Joao Ribeiro Thompson (2003) que, tomando como referencia el modelo de Romer, desarrolla un modelo que integra la investigación y desarrollo (I & D) y el capital humano, y logra eliminar el efecto de escala, demostrando más bien que el crecimiento depende del ratio de número de trabajadores de bienes finales al número de investigadores, y que el progreso tecnológico depende de la tasa de crecimiento del capital humano y no del número de investigadores.

Descripción del modelo

La estructura de preferencias adoptada es la de una optimización

estándar, con utilidad descontada y elasticidad constante, con consumidores homogéneos que viven infinitamente a través de generaciones, sujeta a una restricción presupuestal. Resulta la conocida ecuación de Euler:

$$g_c = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma}(r - \rho) \quad (3.1)$$

Donde:

C: consumo

g_c : tasa de crecimiento del consumo

r : tasa de interés constante,

ρ : tasa de descuento en el tiempo

$1/\sigma$: elasticidad de sustitución del consumo en dos periodos

De manera similar al modelo de Romer, la autora considera el lado de la producción conformado por tres sectores: de bienes finales, de bienes de capital (intermedio) y de I & D.

La función de producción final Y_t considera el trabajo en bienes finales L_y , el número de bienes de capital durables A_t , cada uno producido en una cantidad $x(i)$, los cuales tienen efecto aditivo separado en la producción. Su expresión es:

$$Y_t = (u_t h_t L_y)^{1-\alpha} \int_0^{A_t} x_t(i)^\alpha di \quad (3.2)$$

el trabajo efectivo en el sector de bienes finales:

$$L_Y^\phi = u_t h_t L_y$$

h_t : nivel del capital humano;
 u_t : tiempo dedicado al trabajo

$$0 < h_t < \infty$$

$1 - u_t$: tiempo dedicado a la acumulación de h_t

el capital físico es:
$$K_t = \int_0^{A_t} x_t(i) di \quad (3.3)$$

La población total, \bar{L} , es constante,

$$\bar{L} = L_Y + L_A \quad (3.4)$$

L_A : número de investigadores

Se observa que la formulación de Y tiene un tratamiento similar que en el modelo de Romer, pero con énfasis en el capital humano.

El sector de investigación y desarrollo se tiene la función de producción de diseños, a la cual se le da una expresión particular:

$$A_t = \varepsilon(u_t h_t L_A); \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1 \quad (3.5)$$

$$A_t = 0; \quad t < 0$$

Se puede ver que A es considerada como una variable de flujo y se asume que la productividad de las investigaciones es independiente del número de diseños. No se consideran externalidades positivas en I & D a lo largo del tiempo; además se considera que no hay descubrimientos antes del tiempo cero.

Observando la ecuación (3.5), en la senda de crecimiento sostenido, A crecerá a la misma tasa que la población de capital humano, ya que L_A se asume constante al igual que u , que se mantendrá constante en este estado. Por lo tanto:

$$\frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{h}}{h} = gA = gh \quad (3.5a)$$

Inciendo en el tratamiento del capital humano, la autora, tomando la propuesta de R. E. Lucas (1988), define la acumulación de capital humano como:

$$\dot{h}_t = h_t \gamma (1 - u_t) \quad (3.6)$$

γ : eficiencia

Vemos que en la trayectoria de crecimiento sostenido, para que g_h sea constante, u_t debe ser constante. Lo que significa que los trabajadores calificados dedican un tiempo fijo para aprender (no se considera el conocimiento adquirido en la práctica, *learning by doing*).

Ribeiro, considera también el comportamiento monopolístico del productor de bienes de capital durables estableciendo un diferencial sobre el costo marginal del capital, r_t , al determinar el precio monopólico como:

$$R_t(i) = \frac{r_t}{\alpha}; \quad \alpha < 1 \quad (3.7)$$

Aplicando la condición de cero beneficios al valor presente, obtiene una expresión para el costo de inversión inicial, P_{A_t} , (precio de las patentes).

$$\dot{P}_{A_t} = rP_{A_t} - \pi_t \quad (3.8)$$

En el equilibrio,

$$R(i) = \bar{R} = R; \quad x(i) = \bar{x} = x$$

resulta que la función de demanda:

$$x_t = (uh_t L_y) \left[\frac{\alpha^2}{r} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (3.9)$$

Igualando la remuneración al trabajo en bienes finales al del sector investigación, en el estado de equilibrio se tiene:

$$P_{A_t} = \frac{1-\alpha}{\varepsilon} (u \cdot h_t \cdot L_y)^{-\alpha} \cdot A_t \cdot x_t^\alpha \quad (3.10)$$

de (3.8) se halla, en el equilibrio, que P_A crece a una tasa:

$$g_{P_A} = -\alpha \cdot g_h + g_A + \alpha \cdot g_x = g_A = g_h \quad (3.11)$$

$\tilde{x} =$

[]

porque; $g_h = g_x$

Además de (3.8) y (3.7), se halla la tasa de crecimiento de h :

$$g_h = \left[r - \alpha \frac{L_y}{L_A} \right] \quad (3.12)$$

De modo semejante al enfoque de Romer, el comportamiento monopolístico del productor de bienes de capital y la condición de beneficios cero al valor presente implica que la tasa de crecimiento balanceada de la economía finalmente es:

$$g = \frac{2}{2\sigma - 1} \left(\alpha \frac{L_y}{L_A} - \rho \right) \quad (3.13)$$

$$\sigma > 1/2$$

Si se aplican subsidios a la I & D a través de una tasa de impuestos s (3.7), queda modificada de la siguiente manera:

$$g = \frac{2}{2\sigma - 1} \left((1+s)\alpha \frac{L_y}{L_A} - \rho \right) \quad (3.14)$$

Para el caso de dos economías idénticas ($L_1 = L_2 = L^*$, $A_1 = A_2 = A^*$) y asumiendo que el único intercambio es de bienes de capital, Ribeiro demuestra que la tasa de la economía abierta g^T , resulta:

$$g^T = \frac{2}{2\sigma - 1} \left(2\alpha \frac{L_y}{L_A} - \rho \right) \quad (3.15)$$

Ribeiro hace un reconocimiento al iniciador del modelado de crecimiento basado en I & D sin escala, C. Jones (1999), quien modificó la expresión de Romer (cc. 1.2) de acumulación de conocimientos, obteniendo que la tasa de crecimiento de la tecnología es:

$$g_Y = \frac{\lambda \cdot g_L}{1 - \phi} \quad (3.16)$$

g_L : tasa de crecimiento de la población

$$0 < \lambda \leq 1, \quad \phi < 1$$

Sin embargo, señala que en este caso el motor de la economía es la tasa de crecimiento de la población que es además exógena, hecho que es desvirtuado por la evidencia empírica; por lo que considera que es un modelo semiendógeno; a diferencia de (3.7) que es endógeno y el motor de la economía es la acumulación de capital humano.

Comentarios

- El modelo de Ribeiro representa un avance respecto a modelos previos, ya que elimina el efecto de escala en el crecimiento equilibrado de la economía.
- Presenta también posibilidades para el uso en políticas económicas, como en la aplicación de subsidios a la investigación.
- Cuando hay intercambio comercial en una economía abierta, la tasa de crecimiento g^T es mayor que en una economía cerrada.
- A diferencia del modelo de Romer, en este modelo no se tiene el efecto de desborde del conocimiento (*spillover*), es decir no hay externalidades del stock de diseños.
- Este modelo tiene como fuerza impulsora del conocimiento económi-

co el capital humano, determinado endógenamente dentro de una competencia monopolística.

- El progreso tecnológico no depende del número de investigadores sino de la tasa de acumulación de capital humano, y la tasa de crecimiento per cápita de la economía depende del ratio del número de trabajadores en bienes finales al número de investigadores. El incremento sólo de investigadores tendría más bien efecto negativo en el crecimiento.
- Cuando el ratio L_y / L_A es muy bajo se podría producir una recesión que el sacrificio del consumo presente (ρ más pequeño) no podría compensar.

IV. Cambio tecnológico endógeno en modelos de cambio climático global

En los modelos de largo plazo, como los modelos económicos de política medioambiental, generalmente se trata la tecnología como exógena. David Popp (2003) introduce el efecto de innovación inducida en el sector energía.

El autor toma como base los modelos DICE (*Dynamic Integrated Model of Climate and The Economy*) (NORDHAUS, William: 2004) y RICE (*Integrated Model of Climate and The Economy*) (NORDHAUS, William: 2004 y Joseph BOYER: 1999) y lo modifica introduciendo

el efecto tecnológico en su modelo ENTICE (*Endogenous Technological Change*).

En el enfoque de la formulación del modelo, en lugar de considerar la orientación *bottom-up* que se centra en la especificación detallada de los sistemas de energía y que no incluye una descripción macroeconómica más completa, más bien adopta la *top-down* que vincula mejor la política medioambiental y la performance macroeconómica.

El modelo DICE es un modelo de crecimiento dinámico de la economía global que vincula la actividad económica, las emisiones de carbono y el clima; y el RICE es una extensión del DICE que divide el mundo en trece regiones.

El modelo ENTICE toma elementos de estos dos modelos previos; del RICE considera las fuentes de energía del carbono como entrada en la función de producción tipo Cobb-Douglas, compuesta de la fuente proveniente del conocimiento más la de fluidos fósiles; y también del DICE, el enfoque global en lugar del regional. Estas consideraciones son adoptadas para tener mejor posibilidad de medir el cambio tecnológico global.

Formulación del modelo

La contribución de Popp está en la introducción del cambio tecnológico inducido. Primero, establece la rela-

ción entre el stock de conocimiento y la eficiencia energética, y formula la siguiente expresión:

$$H_{E,t} = h(R_{E,t}) + (1 - \delta_H)H_{E,t-1} \quad (6.1)$$

Donde:

$h_{E,t}$: el stock de conocimiento, en tiempo t

$h(R_{E,t})$: frontera de posibilidad de invención

$R_{E,t}$: investigación y desarrollo (R & D) en energía

δ_H : tasa de posibilidad de decaimiento del conocimiento

Esta expresión indica que el stock de conocimiento se va acumulando con base al que existió previamente y que además se va depreciando.

La relación $h(R_{E,t})$ de acuerdo a la información empírica indica que existen retornos decrecientes en la investigación en energía y que, debido a su especialización, el incremento de nuevos inventos se hace más difícil, lo que repercute en la ampliación de la frontera de conocimientos a lo largo del tiempo. En consecuencia, introduce la relación:

$$h(R_{E,t}) = aR_{E,t}^b \cdot H_{E,t}^\phi \quad (6.2)$$

$$0 < a, b, \phi < 1$$

que satisface;

$$\frac{\partial h}{\partial R} > 0, \quad \frac{\partial^2 h}{\partial R^2} < 0$$

Observando las ecuaciones (6.1) y (6.2) resultan prácticamente equivalentes a la ecuación (1.2) de Romer, cuando $\phi = 1$ (investigación a nivel macro); para el caso de investigación en áreas más específicas $\phi < 1$.

Popp incorpora este resultado en la expresión del total de demanda de energía para la producción, conformada por un componente resultante del uso de combustibles fósiles y por otro componente que incorpora los avances tecnológicos que sustituyen y reducen el uso de combustibles fósiles.

Comentarios

Entre los resultados relevantes obtenidos por Popp se tiene que:

- La omisión de la innovación inducida en el modelo DICE produce una sobreestimación de los costos de cumplimiento de las políticas de reducción del carbono.
- Los que diseñan las políticas que incorporan la tecnología para curar el cambio climático, deben dirigirse a los innovadores explicándoles que la eficiencia en la investigación en energía será rentable.
- Las ganancias en bienestar a través de la tecnología serán básicamente en la reducción de costos de la estrategia de cambio climático y no en la reducción de la temperatura global, ya que los objetivos del Protocolo de Kyoto están orientados más a evitar el aumento con relación a los niveles de 1990.

V. Comentarios finales

Al concluir este breve recorrido por la Teoría del Crecimiento Económico Endógeno cabe señalar que hemos partido de la contribución hecha por estudiosos fundamentales en la literatura científica como Paul M. Romer, Philippe Aghion y Peter Howitt; además, se ha revisado artículos adicionales que permiten tener una percepción del avance, perspectiva y limitaciones de este relativamente nuevo campo de estudio en la teoría económica.

- La preocupación por identificar el factor o factores determinantes del crecimiento económico a largo plazo ha centrado la atención de los investigadores en los últimos cincuenta años, desarrollándose los modelos neoclásicos exógenos, luego los de crecimiento endógeno y sus consecuentes ampliaciones y modificaciones, siempre con el propósito de lograr la corroboración empírica.
- Al cumplirse los quince años del artículo seminal de P. Romer (1986), connotados economistas emitieron sus comentarios autorizados. El profesor Sala i Martin (2002) destaca que antes de 1986 la investigación en la economía del crecimiento estaba relegada por la mayor atención dedicada por los investigadores a los ciclos económicos y a las expectativas racionales, lo que se reflejaba además en los libros de texto donde el tema del crecimiento económico tenía sólo un rol marginal. B. Bernanke (2001) recomienda

emplear en investigaciones futuras variantes de modelos de crecimiento endógeno para proporcionar una descripción más completa de la información cruzada entre países. Similarmente, el profesor Mark Rogers (2002) destaca que estos modelos han ampliado su ámbito al comercio internacional y flujo del conocimiento, pero que también deben ser una guía de la acción política.

- Existen también opiniones discrepantes, además de la emitida por Paul Evans que resulta contradictoria al observarse que su modelo sugiere que un aumento de la innovación repercute en un mayor crecimiento, sin embargo recomienda no subsidiar ésta. Podemos mencionar también al profesor Stephen L. Parente (2001) quien sostiene que después del tiempo transcurrido (quince años del artículo de P. Romer), la Teoría de Crecimiento Endógeno todavía no ha sido útil para la comprensión de por qué algunos países son pobres en relación con los EE.UU. ya que ésta es la principal cuestión para los economistas en la actualidad.
- Peter Howitt (2002) publica un artículo donde comenta que las comparaciones cruzadas del PBI per cápita entre países no tienen un buen comportamiento para probar los modelos de crecimiento, y explica más bien que la convergencia se produce sólo en un selecto grupo de países a través del mecanismo de la transferencia tecnológica, debido

a que la tasa de crecimiento de la productividad es igual al producto de la frecuencia por la magnitud de las innovaciones, y que este producto tenderá a un valor internacional común. Su modelo explica además que los países que no tienen suficiente I & D se estancarán cada vez más a lo largo del tiempo. En una posterior publicación con Philippe Aghion (2004) sustenta la versatilidad de su modelo para analizar los factores determinantes del crecimiento a largo plazo y la convergencia. También cabe destacar la nueva demostración –con mayor precisión– del Teorema del Crecimiento Balanceado por el Profesor Charles I. Jones (nov. 2005).

- Recientemente, en mayo del 2006, coincidiendo con los veinte años del inicio de la TCE, los profesores Philippe Aghion, Diego Comin y Peter Howitt han publicado un trabajo que en mi opinión significa un importante avance, ya que da respuesta a observaciones previas, como las de B. Bemanke y S. Parente, ya mencionadas, y responde en gran parte al llamado “acertijo de Lucas” (*Lucas puzzle*) cuya pregunta es, por qué en países pobres, donde el capital es escaso y por lo tanto la productividad marginal del capital debe ser alta, no se atraen inversiones que los harían converger hacia aquellos países o regiones de avanzada.

Los autores desarrollan un modelo de crecimiento endógeno que relaciona el ahorro local y el creci-

miento económico en una economía abierta con inversión interna y externa. La idea central consiste en que el progreso tecnológico en países relativamente pobres requiere generalmente una conjunción de inversión externa y de esfuerzo de emprendimiento local, siendo que este último no puede ser fácilmente observado. El modelo predice que los países que están cerca de la frontera tecnológica no necesitan atraer inversión externa para emprender proyectos de innovación, y por lo tanto el ahorro interno no es determinante para el crecimiento; mientras que en los países relativamente pobres, con atraso tecnológico, el ahorro interno es importante para la innovación y el consecuente crecimiento, ya que permite que la banca local cofinancie proyectos atrayendo la inversión externa.

Las predicciones del modelo son comprobadas empíricamente con una muestra de 118 países, dentro del periodo 1960-2000, lo que demuestra que el retraso en el ahorro interno está notablemente vinculado con el crecimiento de la productividad en los países pobres, pero no en los ricos. Este efecto se produce enteramente a través del Factor Total de Productividad (*Total Factor of Productivity*, TFP) en lugar de la acumulación de capital. Además, el ahorro interno está asociado significativamente con altos niveles de inversión externa directa e importación de equipamiento, cuyo efecto en el crecimiento económico es

notoriamente mayor en los países pobres que en los ricos. El modelo explica también que el contraste entre el alto crecimiento alcanzado por el Este asiático y el bajo y lento de Latinoamérica está en que la tasa de ahorro privado promedio de los primeros, en el periodo 1960-2000, fue de 25%, mientras en los segundos del 14 por ciento.

- También Juan S. Blyde y Eduardo Fernández-Arias, en junio del 2006, empleando una función de producción Cobb-Douglas dentro del enfoque de Solow para una muestra de 73 países (20 de América Latina, 20 de países desarrollados y cinco del este asiático), desagregando las habilidades del capital humano y combinando la productividad del capital físico y capital humano (TFP), demuestran que la causa del lento y menor crecimiento de América Latina ha sido el bajo desempeño del TFP y no de los otros factores de acumulación en las últimas cuatro décadas. En particular, el Perú ha tenido el peor desempeño del grupo estudiado en TFP, pero el mejor en habilidades y destreza de los trabajadores, lo cual también muestra el error de la tradicional política de desarrollo económico y social de todos los gobiernos durante el siglo XX y que continúa en el presente, especialmente con respecto al desarrollo en ciencia y tecnología, y al sector laboral y social.
- Finalmente, además de los comentarios que hemos realizado al término

de cada artículo revisado, podemos decir que la tendencia de la investigación en este campo se orientará más hacia aspectos microeconómicos, incorporando los cambios que se van produciendo en la economía

real, así como la influencia de las instituciones y otros factores en la eficiencia del sistema económico, a fin de obtener modelos que orienten las políticas económicas en forma más específica y útil.

Bibliografía

ACEMOGLU, D., et al. (2004). *Vertical Integration and Technology: Theory and Evidence*, NBER, Working Papers 10997.

AGHION, Philippe y Peter HOWITT. (1992). "A Model Growth Trough Creative Destruction", NBER Working Paper Series, Jan. 1990. En: *Econometrica*, Vol. 60.

_____. (2004). *Growth with Quality-Improving Innovations: An Integrated Framework*, Handbook of Economic Growth.

AGHION, Philippe, et al. (2005) *Academic Freedom, Private-Sector Focus, and the Process of Innovation*, NBER, Working Paper N° 11542.

AGHION, Philippe, Diego COMIN y Peter HOWITT. (2006). *When does Domestic Saving Matter for Economic Growth?* NBER Working Paper 12275, Cambridge, MA, USA.

ATHANS, M. y P. FALB. (1996). *Optimal Control*. McGraw Hill.

BERNANKE, Ben S. y Refect S. GÜRKAYNAK. (2001). *Is Growth Exogenous? Taking Mankiw, Romer, and Will Seriously*. Princeton University.

BLYDE, Juan S. y Eduardo FERNÁNDEZ-ARIAS. (2006). *Why Does Latin America Grow Slowly?* Inter-American Development Bank.

CERDA TENA, Emilio. (2001). *Optimización Dinámica*. Practice Hall, España.

EVANS, George, Seppo HUNKAPONHSA y P. ROMER. (1998) *Growth Cycles*, NBER, July 1996. En: *American Economic Review*, Vol. 88, N° 3, June.

EVANS, Paul. (2000). *Are Innovation-Based Endogenous Growth Model Useful?* Ohio State University, Department of Economics.

HOWITT, Peter. (2002). "The Research Agenda: Peter Howitt on Schumpeterian Growth Theory". En: *Economic Dynamics Newsletter*, Vol. 3, April.

INTRILIGATOR, Michael D. (1971). *Mathematical Optimization and Economic Theory*. Practice Hall.

JONES, C. (1995). *R & D Based Models of Economic Growth*. Journal of Political Economy.

JONES, Ch. (1999). *Growth: With or Without Scale Effects*. AEA Papers and Proceedings.

_____. (2004). *Growth and Ideas*. U.C. Berkeley and NBER. 2004.

JONES, Ch. y D. SCRIMEGEOUR. (2005). *The Steady-State Growth Theorem: Understanding Uzawa (1961)*. U.C. Berkeley and NBER.

KIRK, D. (1970). *Optimal Control Theory*. Practice Hall Networks Series.

LUCAS, R. E. (1988). *On The Mechanics of Economic Development*. Journal of Monetary Economics.

LUYO, J. E. (1999). "Estabilidad Dinámica de los Mercados Eléctricos". En: *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas*, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.

MARÉ, David. (2004). *What Do Endogenous Growth Models Contribute?* Motu Working Papers 04-04.

NORDHAUS, William. (2003). "Rolling the DICE: An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases". En: *Resources and Energy Economics*, Vol. 15.

NORDHAUS, William y Joseph BOYER. (1999). *Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of the Kyoto Protocol*. The Energy Journal.

O'NEILL, Richard (2002) et al. *Efficient Market-Clearing Prices in Markets with Nonconvexities*, Harvard Electricity Policy Group.

PARENTE, Stephen L. (2001). *The Failure of Endogenous Growth*. University of Illinois at Urbana-Champaign, Department of Economy, Knowledge Technology & Policy, Vol. XIII.

POPP, David. (2003). *ENTICE, Endogenous Technological Change in the DICE Model of Global Warming*. NBER Working Papers Series, June.

RIBEIRO THOMPSON, M. (2003). *A Nonscale Growth Model with R & D and Human Capital Accumulation*. NIPE, Univ. de Minho, Portugal.

RIVERA-BATIZ, L. y P. ROMER. (1990). *Economic Integration and Endogenous Growth*. NBER Working Papers.

_____. (1991). "International Trade with Endogenous Technological Change", NBER Working Papers, Jan. 1991. En: *European Economic Review*. Vol. 35, N° 4.

ROGERS, Mark. (2002). *A Survey of Economic Growth*, Economic Record.

ROMER, David. (2002). *Macroeconomía Avanzada*, McGraw Hill, España.

ROMER, Paul. (2000). *Should the Government Subsidize Supply or Demand. The Market for Scientist and Engineers?* NBER Working Papers 7723.

_____. (1990). "Endogenous Technological Change", NBER Working Paper 1989. En: *Journal of Political Economy*.

_____. (1990). *Are Nonconvexities Important for Understanding Growth?* NBER Working Papers.

SALA i MARTIN, Xavier. (2002). *15 Years of New Growth Economics: What Have We Learn?* Central Bank of Chile Working Papers, N° 172.

STOFT, Steven y Paul M. ROMER. (2002). *Power System Economics*, Wiley, Interscience, USA.

TEMPLE, J. (1999). *The New Growth Evidence*, Journal of Economic Literature.

VARIAN, H. (1992). *Microeconomic Analysis*, W.W. Norton & Co.

* Graduado con "Distinción Unánime" UNI. Doctorando en Economía UNMSM. Master of Science in Systems and Control, USA. Postgrado en Energy Systems Design for Sustainable Development, ICTP, Italy; en Control Systems en Duke University, USA. Ex Jefe de la Oficina Central de Planificación, Director de Sección de Postgrado y Director de Escuela UNI. Past Decano y Jefe de Departamento Académico, UNMSM.