

CRECIMIENTO ECONÓMICO CON EXTERNALIDADES DEL CAPITAL HUMANO: UN MODELO PARA MÉXICO

René Lozano Cortés*

Luis Fernando Cabrera Castellanos**

Presentación Modelos de *efecto nivel* y *efecto tasa*

EN LA PRIMERA PARTE DE ESTE DOCUMENTO DESCRIBIMOS LOS SUPUESTOS TEÓRICOS QUE SUSTENTAN los modelos empíricos que utilizan el capital humano como una variable explicativa del crecimiento económico, ya sea éste en el corto o largo plazo. Dentro de estos modelos encontramos dos vertientes: por un lado, aquellos que introducen al capital humano como un factor en la función de producción, y por otro, aquellos que consideran los efectos externos que genera el capital humano en el crecimiento económico. Los primeros se conocen como de *efecto nivel* y los segundos como de *efecto tasa*.

En la segunda parte presentamos los argumentos y supuestos del modelo de Paul Romer (1989), al mismo tiempo que describimos los resultados de su modelo; dentro de esta parte también presentamos algunos modelos empíricos que han tratado de explicar el efecto del capital humano en el crecimiento de largo plazo a través de su efecto en la inversión (capital fijo). En la última parte presentamos algunos resultados de aplicaciones para el caso de México, siguiendo el modelo empírico de Romer; como se verá, los resultados obtenidos son una aproximación aún muy preeliminar.

Para estudiar los efectos de la educación en el crecimiento del producto es necesario ubicar las razones que han llevado a la utilización de los datos agregados en las estimaciones de dichos efectos. Dentro de estas razones tenemos, en primer lugar, que la relación entre educación y crecimiento con datos agregados nos ayuda a identificar dos alternativas teóricas dentro de los modelos de crecimiento y, segundo, que las estimaciones de estas relaciones con datos agregados pueden capturar los retornos externos del capital humano que no existen en los modelos a nivel micro (Krueger y Lindahl, 2001).

Así, nos encontramos que el capital humano desempeña diferentes papeles en las teorías del crecimiento económico. Aunque ciertamente en los modelos neoclásicos (Robert Solow, 1956) el capital humano no tiene un papel especial en la función de producción del producto, sin embargo dentro de esta misma vertiente, a nivel empírico en el modelo de Mankiw, Romer y Weil (1992), denominado *Solow ampliado*, incluyen al capital humano como un factor más en la función de producción.

En los modelos de crecimiento endógeno, al capital humano se le asigna un papel cen-

* Profesor e investigador de la carrera de Economía y Finanzas de la UQR00. Correo electrónico: renlozano@uqroo.mx

** Correo electrónico: luicabre@uqroo.mx

tral. Aghion y Howitt (1998) consideran que el papel del capital humano en los modelos de crecimiento endógeno puede ser dividido en dos grandes categorías: en la primera el concepto de capital incluye el capital humano y por lo tanto se sostiene que el crecimiento es determinado en parte por la acumulación de capital humano en el tiempo; dentro de estos modelos encontramos a Uzawa (1965) y Robert Lucas (1988).

En la segunda categoría los modelos atribuyen el crecimiento a los *stocks* de capital humano, los cuales generan innovaciones; dentro de estos modelos tenemos a Paul Romer (1990).

El modelo de Lucas en una función de producción agregada se representa como:

$$y = Ak^\alpha (uh)^{1-\alpha} (h_a)^\gamma \quad (1)$$

Donde

y es el producto,

k es el capital físico,

u es la fracción del tiempo dedicada a la producción (contraria a la acumulación de capital humano),

h es el capital humano del agente representativo, y

h_a es el capital humano promedio de la economía.

Partiendo de la ecuación anterior, tomando logaritmos y diferenciando con respecto al tiempo, se encuentra que el crecimiento del producto depende del crecimiento del capital físico y de la acumulación de capital humano. Donde si $\gamma > 0$, las externalidades del capital humano son positivas. Entonces se asume que el capital humano crece a una tasa de:

$$\frac{d \log(h)}{dt} = \delta(1-u) \quad (2)$$

Donde:

$1-u$ es el tiempo dedicado a la creación de capital humano y

δ es el crecimiento máximo alcanzado de la tasa de capital humano.

En estado estacionario, el producto y el capital humano crecen a la misma tasa y dependen de δ y de los determinantes del valor de equilibrio de u . Lucas sostiene que el crecimiento surge porque los rendimientos son constantes en la producción de capital humano.

En el modelo de Romer (1990) la función de producción es multisector y está dada por:

$$Y = H_y^\alpha L^\beta \int_0^A X(i)^{1-\alpha-\beta} di \quad (3)$$

Donde

H_y es el capital humano que no es empleado en el sector de investigación y desarrollo, y L es el trabajo.

El capital físico está desagregado por separado dentro de los insumos $X(i)$, que son usados en la producción de Y . Es importante ver que el *stock* de capital físico depende del nivel tecnológico dado por A . El progreso tecnológico es:

$$\frac{d \log(A)}{dt} = \gamma H_A \quad (4)$$

Donde

H_A es el capital humano empleado en el sector de investigación y desarrollo.

Por lo tanto, si tenemos más capital humano empleado en el sector de investigación y desarrollo, el progreso tecnológico y la producción de capital serán mayores, lo cual tendrá como resultado una generación rápida de crecimiento del producto. En estado estacionario la tasa de crecimiento iguala la tasa de progreso tecnológico.

Es importante resaltar que los diferentes papeles que desempeña el capital humano en estas dos vertientes de los modelos de crecimiento endógeno tienen importantes implicaciones. Así, tenemos que el crecimiento de capital humano en Lucas deberá afectar el crecimiento del producto, mientras que el *stock* del capital humano en Romer deberá afectar el crecimiento.¹

¹ Una prueba de estas implicaciones son presentadas por Romer (1990) cuando relaciona el promedio anual de crecimiento del producto per cápita entre 1960 y 1985 con la tasa de alfabetización de 1960 y el cambio en la tasa de alfabetización entre 1960 y 1980, manteniendo constante el nivel inicial del producto per cápita y la parte del producto dedicada a la inversión. Romer encontró significativo el nivel inicial de alfabetización, pero no significativo el cambio en la alfabetización, como predictores del crecimiento del producto. Romer apunta que en este modelo la inversión podría reflejar la tasa de progreso tecnológico; los efectos del nivel y cambio

Respecto a los diferentes efectos que la inclusión del capital humano tiene en el crecimiento económico, conviene retomar el trabajo de Nelson y Phelps (1966) donde plantean una cuestión que es tomada en cuenta a partir de entonces por la mayoría de los investigadores en el momento de considerar el efecto del capital humano en el crecimiento económico.

Estos autores plantean un doble papel para el capital humano en la función de producción que denominan *efectos tasa* y *efectos nivel*, ya que consideran que la simple inclusión del capital humano sólo como un factor más es un error, al ignorarse de este modo el efecto que produce también sobre la tasa de crecimiento de la tecnología (*efecto tasa*). Se considera entonces que un *efecto nivel* se deriva de la inclusión del capital humano como un factor productivo más en la función de producción, mientras que un *efecto tasa* estaría dado por la interrelación del capital humano a través del efecto que éste tiene sobre la innovación y el desarrollo.

La evidencia empírica presenta resultados de *efectos nivel* del capital humano, *efectos tasa*, o ambos a la vez. Se trata de cuantificar si el capital humano ejerce un papel fundamental en el crecimiento económico por sí mismo o si éste está vinculado a lo que sucede en la investigación y desarrollo (tasa).

Sin embargo, también es importante tomar en cuenta la propuesta de Kueguer y Lindahl (2001), quienes relacionan la ecuación de las ganancias de Mincer (1974) con un modelo empírico de crecimiento a nivel macro, en el que consideran que el cambio promedio del nivel de escolaridad en un país es la clave que determina el crecimiento del ingreso. Esta propuesta resulta contraria a la de otros modelos empíricos del crecimiento a nivel macro, que especifican que el crecimiento es una función del nivel inicial de educación.

Krueger y Lindahl señalan que si los retornos de la educación cambian a través del tiempo, los modelos macroeconómicos de crecimiento no los identifican, sin embargo muchos de los modelos de crecimiento empírico tienen reservas sobre el modelo de Mincer debido a que estudios como los de Benhabib y

Mark Spiegel (1994) encontraron que los cambios en educación no son determinantes para el crecimiento económico. Estos resultados, dice Kueger, se deben a que prácticamente no señalan que los datos de educación que utilizan condicionan el crecimiento del capital. Al respecto, Norman Gemmell (1996) y Robert Topel (1999) sugieren que el cambio y el nivel inicial de educación están positivamente correlacionados con el crecimiento económico.

Modelo *efecto tasa*:

Modelo de crecimiento endógeno de Paul Romer (1989)

Modelo empírico

En el modelo planteado por Romer se presentan tres tipos de capital, desarrollando de forma importante el papel del capital humano; así, tenemos que: *a) Li* representa el capital físico, como coordinación y resistencia, medido a través de la inversión en nutrición, salud, etc.; *b) Ei* es la educación adquirida en la escuela primaria, medida a través de los años de escolarización, y finalmente *c) Si* que representa el talento científico adquirido en la educación postsecundaria.

Romer considera que la tecnología viene determinada por el nivel de *E* y *S*, de forma que dichas variables son capaces de explicar el crecimiento del capital físico y de este modo también el del producto per cápita. La proxy que utiliza para medir la tecnología *A* es la inversión, que está correlacionada con el crecimiento del ingreso per cápita, por lo que desde esta perspectiva ya no sería válida la teoría neoclásica del crecimiento económico, en la que se considera a la tecnología como un elemento exógeno.

Por su parte, la inversión estaría determinada por el capital humano, de tal manera que este último influiría también en el crecimiento a través de la inversión. Por lo anterior, cuando en una regresión se incluyen la inversión y el capital humano como variables explicativas del crecimiento económico, la variable educativa podría no resultar significativa ya que su efecto vendría recogido por la inversión.

Por otro lado, Romer también considera en su modelo el efecto del *catch-up*, que los

en el alfabetismo son importantes cuando se mantiene constante la inversión; así cuando la tasa de inversión fue incluida en la ecuación de crecimiento el cambio en el alfabetismo fue aún estadísticamente insignificante.

países pobres pueden desarrollar en relación con la tecnología, de tal forma que en los países con poco desarrollo la tecnología podría crecer más rápido que en los países más desarrollados. Por lo anterior, es posible que exista una correlación negativa entre el ingreso inicial y el crecimiento del producto.

En el modelo empírico de Romer, la ciencia básica puede ser tomada como una variable exógena que proviene de otro país, o bien como resultado de una decisión de política económica del gobierno, sin embargo no por esto se puede reducir el presente modelo a un modelo neoclásico donde la tecnología es exógena, ya que en el caso de Romer la ciencia básica no tiene un efecto directo sobre la cantidad de producto. El problema del crecimiento del producto es entonces el crecimiento de la ciencia aplicada, así cuando la ciencia aplicada es constante porque los recursos no son dedicados a convertir el *stock* de ciencia básica² en productos utilizables, económicamente esto implicaría que se alcanzaría el ingreso per cápita del estado estacionario convencional porque los rendimientos de la acumulación de *K* son decrecientes.

En este modelo Romer comienza por analizar el problema que existe para contabilizar el incremento que se genera en la producción cuando aumentan insumos tales como la educación (*E*), habilidades físicas (*L*), experiencia en el trabajo (*Z*) y capital físico (*K*), lo anterior debido a que cuando las empresas son tomadoras de precios, el bien durable usado en el nivel X_j^3 sería usado hasta donde la productividad marginal es igual a P_j . Bajo las condiciones de ganancia cero que tendría que obtener bajo la competencia monopolista, el ingreso del vendedor es igual a $P_j X_j$, el cual tendría que ser igual al costo total al cual la sociedad esté suministrando el bien *j* en el nivel X_j . En este caso el valor presente de entrada es cero, los ingresos dados en algún tiempo $P_j X_j$ tendrán que ser justo iguales al costo en intereses de la inversión inicial del diseño del bien, más la suma de la tasa de

interés y la tasa de depreciación como costo en el tiempo de estar produciendo X^*j .

La razón de lo anterior se debe a que al introducir un nuevo insumo intermedio se genera un flujo adicional de bienes de consumo para todo punto en el tiempo que es mayor que los costos, medido en bienes de consumo. En la curva de producción X_j a precios P_j , el intercepto es mayor a cero. Este intercepto representa el incremento del producto que no puede ser contabilizado por un incremento en el valor de los insumos brutos *L*, *E*, *Z* y *K* usado en la producción. La explicación de lo antes dicho es que se suele omitir el conocimiento y la tecnología en la contabilidad de los costos y sus efectos en la producción, en tanto que el conocimiento y la tecnología entran a la producción como insumos intermedios en forma indirecta a través de sus efectos en la lista de insumos que se integran en X_j y que son usados en algún punto en el tiempo.

En tal sentido, los incrementos en la producción bruta pueden subestimar los incrementos en el bienestar cuando nuevos bienes son introducidos, debido a que el gasto en el nuevo bien no es tomado en la contabilidad del consumo adicional del excedente agregado por el bien.

Por lo tanto, Romer plantea en su modelo que la inclusión de algún tipo de información de patentes o nuevos bienes introducidos considerados en investigación privada aplicada, así como de los gastos en desarrollo, podrían tener un importante poder explicatorio para el crecimiento.

Romer considera que una estrategia indirecta para explicar entre los países la variación en el crecimiento de la ciencia aplicada se centra en los insumos que determinan esta tasa de crecimiento. Un insumo obviamente es la tasa de crecimiento de la ciencia básica, pero es poco probable que ésta pueda ser explotada en *cross*-sección de una regresión. Por el supuesto de que la ciencia básica es un bien no excluyente y puede ser explotado en cualquier lugar del mundo una vez que éste es producido.

Otra variable que influye en la tasa de crecimiento de la ciencia aplicada debería ser el nivel de la ciencia aplicada relativo a un país con respecto al resto del mundo.

Por otro lado, también se considera que un rápido crecimiento de la ciencia aplicada puede ser provocado por el comercio internacional, ya que es posible que mediante éste se

² La ciencia básica es el conocimiento considerado como bien que se utiliza como insumo por la ciencia aplicada. La ciencia básica es no rival y no excluyente. La ciencia aplicada puede ser excluyente en la medida en que es usada en la producción de un bien.

³ Donde X_j se integra por una lista de productos intermedios durables, que podrían ser tornos, computadoras, etcétera.

pueda copiar la ingeniería invertida; la información de la ciencia aplicada y su cambio muchas veces no está disponible, pero se observa que un bajo nivel de ciencia aplicada está asociado con bajo ingreso per cápita, entonces si todo permanece constante uno podría esperar que países pobres tenderían a tener un rápido crecimiento de la ciencia aplicada y por lo tanto un rápido crecimiento del producto. Lo anterior es la hipótesis del catch up,⁴ lo cual no es un proceso automático. Los insumos que se podría esperar que afecten la tasa de crecimiento de la ciencia aplicada son el grado de apertura comercial, los logros de la educación total y el talento científico en un país; sin embargo, no es necesario que un país con más educación realmente dedique talento a la producción de nuevos bienes, pero éste es un supuesto en el modelo de Romer.

En el modelo empírico que aquí se presenta, se combina la educación primaria y secundaria (E), la experiencia en el trabajo (Z) y el talento científico por la educación post-secundaria (S) para integrar una sola variable de capital humano (H), al mismo tiempo que se combina la investigación básica y aplicada para desarrollar un producto dentro de una sola variable denominada A. De este modo la función será:

$$G(L, E, Z, X) = L^\alpha E^\beta Z^\gamma \sum_{j=1}^{\infty} X_j^\mu \quad (5)$$

Como esta ecuación es una función homogénea de grado uno, se supone que $\alpha + \beta + \gamma = 1$ y se asume que todos los diferentes tipos de productos durables X_j , tienen efectos simétricos en la producción, con estos supuestos es posible definir que el capital agregado $K = \sum X_j$, debido a que por la simetría la concavidad de la función G implica que todos los insumos X_j que están disponibles sean usados en el mismo nivel $X_j = X_k$ para todo j y k menor o igual al número de diseños⁵ de bienes en existencia; los diseños no aparecen como insumo en la producción de ningún bien ni en ninguna función de las manufacturas.

Con estos supuestos es posible definir al producto agregado como una función del total del trabajo usado en la producción de bienes, $L^y = L^c + \sum L^{X_j}$; de la educación usada

como insumo en la producción de bienes $E^y = E^c + \sum E^{X_j}$; de los años de experiencia de la fuerza de trabajo $Z^y = Z^c + \sum Z^{X_j}$; del capital usado en la producción de bienes $K^y = \sum_k \sum_j X^{X_k} + \sum X_j^y$; y del número de diseños de bienes en existencia A. Aunque A no es propiamente un insumo en la producción de bienes y no aparece en ninguna de las funciones C(.) de las manufacturas o en $X_j(\cdot)$, si está incluido en ambas funciones; esta presencia es crucial para distinguir entre un caso en el cual un incremento en K es causado por un incremento en las cantidades existentes de productos durables intermedios y otro en el cual el incremento en K es causado por un incremento en el número de tipos (prototipos) de productos intermedios durables. Es decir, que $X(K, \dots)$ denota la lista de productos durables con las propiedades que $X_j = \frac{K^j}{A}$ para $1 \leq j \leq A$ y $X_j = 0$ para $j > A$, entonces se define:

$$F(L^y, E^y, Z^y, K^y, A) = G(L^y, E^y, Z^y, X(K^y, A)) \quad (6)$$

Para la función G(.) que nos da la ecuación F(.) toma la forma:

$$F(L, E, K, A) = L^\alpha E^\beta Z^\gamma K^\mu A^{1-\mu} \quad (7)$$

En cualquier tiempo $Y = F(L^y, E^y, Z^y, K^y, A)$, que representa el total posible de producto que puede ser dividido entre consumo y acumulación adicional de insumos X o un equivalente adicional K:

$$Y = F(L^y, E^y, Z^y, K^y, A) = C + K \quad (8)$$

Romer considera que la producción tecnológica que crea nuevos diseños medida por A, depende de la cantidad de científicos y trabajo educado, es decir de S^A y E^A respectivamente, lo cual depende a su vez de los insumos intermedios X^A , (por ejemplo, número de computadoras utilizadas para estos propósitos). Todo esto bajo el supuesto de que el stock de ciencia básica es conocido.

La producción de nuevos diseños se supone que depende directamente de los stocks de diseños ya que éstos ofrecen ideas de cómo emprender nuevos diseños. Por ejemplo, dice Romer, la productividad de un ingeniero con ocho años de entrenamiento y que está com-

⁴ Esta idea también fue utilizada por la teoría neoclásica.

⁵ Los diseños son considerados por Romer como las patentes, fórmulas o nuevas invenciones de bienes.

prometido con el diseño de un nuevo bien, dependerá de la medida de A y B, es decir, de la acumulación de conocimiento disponible para su uso $\dot{A} = \dot{A}(E^A, S^A, A^A, B^A, X^A)$. En este modelo se supone que A sufre depreciación, ya que en algún momento los diseños son obsoletos, por lo tanto aquí la depreciación sería sinónimo de obsolescencia. A es una pieza particular de ingeniería que perdería valor económico por la depreciación sin verdaderamente perderlo.

La producción de ciencia básica depende de la cantidad de talento científico S dedicado a esa actividad, esto es el propio nivel de B y algunos de los insumos intermedios X que están disponibles para su uso, $\dot{B} = \dot{B}(S^B, B^B, X^B)$.

En este modelo la restricción de los insumos rivales es totalmente convencional, por lo que su asignación en el tiempo es:

$$u^C + \sum_j u^{Xj} + u^E + u^S + u^A + u^B \leq 1 \quad (9)$$

La restricción determina la asignación de los insumos L, E y S, a diferentes actividades productivas, de la misma forma el stock de X tiene que ser asignado entre la producción de Y, A y B.

La restricción de los bienes no rivales es diferente precisamente por su carácter no rival y es de la siguiente manera:

$$A^A \leq A, A^B \leq A \quad (10)$$

$$B^A \leq B, B^B \leq B \quad (11)$$

Las restricciones anteriores no son conocidas como igualdad, ya que si parte de A o B desarrollada por una organización es guardada en secreto, entonces no podrían ser utilizados en futura producción de A o B por otras empresas.

Romer señala que una implicación inmediata de la presencia de insumos no rivales es que los supuestos de competencia perfecta no se pueden sostener. Porque si a nivel de las empresas falla el supuesto usual seguido por la competencia perfecta, los costos medios decrecen en la producción de Xj indirectamente por la inversión inicial en los costos de los diseños. Y si se obliga a igualar los precios de la producción y a los de costo

marginal a los de competencia perfecta, el resultado sería no recuperar nunca los niveles de inversión inicial.

A nivel agregado la salida viene del supuesto que muestra rendimientos crecientes a escala.

Resultados del modelo empírico

Los resultados de la estimación de Romer indican la confirmación de la hipótesis de convergencia, ya que el ingreso inicial tiene un coeficiente negativo y la educación ejerce un efecto positivo para el crecimiento medio a través de la alfabetización de 1960, que representa el porcentaje de población alfabetizada en ese año.

Romer considera que es posible que exista un error en la medición en el ingreso inicial que podría provocar una correlación espuria en la regresión, y esto podría producir un sesgo estimado de la educación. Para corregir los errores del nivel inicial de ingresos y de la tasa de escolarización, utiliza dos variables instrumentales: el logaritmo del número de periódicos per cápita consumidos en 1960 y el número de radios por cada mil habitantes en 1960. El primero como indicativo de la alfabetización y el segundo del ingreso per cápita.

Los resultados de la estimación con variables instrumentales serían indicativos de la existencia de una correlación entre los ingresos iniciales y la alfabetización; aunque incluyendo sólo esta última en la regresión no resulta significativa, sí lo serían los ingresos iniciales al excluir la alfabetización.

Romer confirma la hipótesis de su modelo teórico, respecto a que el capital humano y la inversión están correlacionados, de la forma que si se excluye la inversión de la regresión, la proxy del capital humano resulta significativa.

Así también mediante una regresión, Romer trata de explicar el comportamiento de la inversión y observa que tanto la tasa de alfabetización como el cambio producido en ésta presentan una correlación positiva con la inversión.

Los resultados de la estimación con variables instrumentales serían indicativos de la existencia de una correlación entre los ingresos iniciales y la alfabetización.

Otros modelos

Existen otros trabajos que hablan de un efecto directo e indirecto del capital humano sobre el desarrollo económico; el impacto indirecto se refiere al efecto que la inversión en capital humano tiene sobre el desarrollo a través del efecto inversión (Guisán y Neira, 2002).

Guisán y Neira comparan las correlaciones que existen entre un indicador de capital humano (años de escolaridad per cápita) y el ingreso per cápita en un punto en el tiempo y estas mismas correlaciones pero tomado dos puntos en el tiempo, y encuentran que estas últimas son más bajas que en el primer caso, lo cual se debe a que por un lado existen errores estadísticos en las observaciones de dos puntos en el tiempo y por otro que estos errores tienden a agregarse por arriba de sus diferencias.

También se considera que esta baja correlación de las variables cuando se mide en dos puntos en el tiempo es probable que refleje que los retornos económicos de la educación se materializan en el muy largo plazo; entonces la inversión en educación en un periodo debería tener un pequeño impacto significativo en el crecimiento económico en el mismo periodo aunque ésta será una importante fuente de un mayor crecimiento en periodos posteriores.

En el estudio de Mankiw (1992) y Barro (1991), se muestra que la tasa del crecimiento del PIB real per cápita en un cierto periodo está positivamente relacionada con el nivel inicial de educación e inversamente relacionada con el nivel inicial de ingreso per cápita (Yujiro Hayami y Yoshihida Godo, 2005).

Guisán y Neira encontraron un efecto directo positivo y significativo del nivel educativo sobre las exportaciones industriales. En realidad se trata de un efecto adicional al efecto principal que la educación tiene indirectamente a través del impulso de la producción manufacturera. También se pone de manifiesto que aquellos países que disponen de un menor PIB per cápita son los que a su vez poseen una menor producción manufacturera por habitante y un menor nivel educativo.

En el trabajo de Guisán y Neira, las autoras centran el papel del capital humano como un factor clave para incrementar la productividad del trabajo y por lo tanto del crecimiento económico. Sus conclusiones sobre el papel del capital humano implican la existencia de

un efecto directo como un factor productivo más, y a través de su interacción con el progreso técnico, con lo cual estamos por lo tanto ante la evidencia de *efectos tasa y efectos nivel*. Otra conclusión importante de este trabajo es el diferente efecto de la educación en función del sector productivo de que se trate, ya que en la industria o los servicios éste sería mucho mayor.

Es importante señalar que Guisán y Neira (1999) estudian el efecto del capital humano en el crecimiento a través de dos ecuaciones: una para la función de producción que recoge el efecto directo de la educación sobre la producción, y otra que recoge el efecto del capital humano en la inversión y que por lo tanto implica un efecto indirecto sobre la producción.

Para ver el efecto directo de la educación en la función de producción por habitante, las autoras estiman el siguiente modelo:

$$\text{Log(PIBH)} = \beta_0 + \beta_1 + \log(KAPH) + \beta_2 \log(PS2) + \varepsilon_t \quad (12)$$

Siendo PIBH el PIB per cápita en dólares de 1985 y paridades de poder adquisitivo de SUMMERS y HESTON, KAPH el *stock* de capital per cápita, en dólares de 1985 y PS2 el nivel educativo de la población, porcentaje de la población activa con nivel educativo equivalente a secundario de segundo ciclo completo o superior.

Las estimaciones de esta ecuación suponen un importante elemento de análisis de los autores ya que si confirman su hipótesis de complementariedad entre el capital físico y humano, la estimación de la función de producción en estos términos no refleja adecuadamente el papel del capital humano sobre el PIB per cápita, pues no influye ese importante efecto indirecto.

El análisis de las variables capital físico y humano nos indica una fuerte relación entre ambas, ya que son los países con mayores niveles de capital físico y mayores tasas de crecimiento los que a su vez experimentan el mayor incremento en capital humano.

En su modelo, las autoras también encuentran que los resultados de la estimación de la función de producción en términos per cápita indican una elevada elasticidad del PIB respecto al capital físico, siendo la elasticidad del capital humano mucho más baja.

Estos resultados no tienen en cuenta las interrelaciones entre el capital físico y huma-

no, ya que si la hipótesis de los autores es correcta, la inclusión del capital físico en la función de producción llevaría implícitamente parte del papel del capital humano.

Por lo tanto el capital humano podría tener un doble efecto sobre el PIB per cápita que no vendría dado tan sólo por su interrelación con el I+D como tradicionalmente se ha indicado, sino a través del capital físico.

Además de estos efectos, la educación influye en el aumento de la productividad del trabajo. El hecho de que la educación eleve simultáneamente la productividad media y la productividad marginal hace que el enfoque directo minusvalore el verdadero papel que la educación tiene sobre el crecimiento del PIB.

Guísán y Neira siguen la línea de los trabajos de Romer y Barro, y teniendo en cuenta la correlación existente entre el capital físico y humano, las autoras analizaron que para los países de la OCDE existe complementariedad de ambos factores.

En su modelo tratan de explicar el capital por habitante en 19 países de la OCDE, analizado a través de su relación con el capital humano, ya que si este es capaz de explicar una parte importante del capital físico, la inclusión de ambas variables en una función de producción estaría subestimando el papel del capital humano, debido a que una parte de su efecto estaría dada a través del propio capital físico.

Otro modelo que también trata de explicar el comportamiento del capital físico a través del capital humano es el trabajo de Barro (1991); en este modelo, además de incluir el capital humano como un factor productivo, se presenta la posibilidad de interacción entre el capital físico y humano, explicando el capital físico a través de una serie de variables entre las que se incluye el capital humano. Barro también plantea un efecto positivo del *stock* de capital inicial sobre el incremento de la inversión.

Este autor encuentra que existe un efecto positivo y significativo del capital humano inicial sobre la inversión media del periodo, así como un efecto negativo del PIB inicial consistente con la hipótesis de convergencia del modelo neoclásico.

Por otro lado, Barro (1997) analiza la tasa de inversión y su relación con el capital humano, y plantea su análisis dentro del modelo neoclásico en el que la tasa de ahorro crece a una tasa exógena igual a la tasa de inversión

en el producto. El positivo efecto que la tasa de inversión ejerce en el producto y en la función de producción estimadas por muchos autores implicaría un crecimiento económico importante dado por la mayor tasa de ahorro que aumenta el producto por trabajador y por tanto el crecimiento de las economías.

Los autores plantean la dificultad de subsanar las diferencias en el *stock* de capital físico entre países en el corto plazo, por lo que podrían existir divergencias en las productividades marginales que no se corrigen con una inmediata inyección de capital del exterior.

Se asume que la tasa de acumulación de capital dK/K camina hacia la equiparación de las diferencias marginales, de modo que éstas tienden a ser iguales. Por todo ello sería de esperarse que dK/K esté positivamente correlacionado con el producto marginal *corriente del capital que depende del stock* de trabajo y del capital físico y humano.

Los resultados de la estimación presentan un efecto negativo del capital físico y el empleo aparece con signo positivo aunque no siempre significativo. El capital humano tiene un efecto positivo y significativo sobre el capital físico en todas las estimaciones, con lo que se confirmaría la hipótesis inicialmente planteada.

Modelo *efecto tasa* para México

En esta parte tratamos de seguir el modelo teórico y empírico propuesto por Romer, a fin de analizar el efecto que el capital humano tiene en el crecimiento económico de México en el periodo 1980-2002, efecto que considere las externalidades que genera la inversión en capital humano.

Se busca entonces verificar si en el caso de nuestro país se cumple o no la hipótesis planteada por Romer de que el capital humano tiene una fuerte determinación del crecimiento de largo plazo a través del crecimiento provocado por la inversión, cuyo crecimiento está determinado a su vez por el *stock* de capital humano.

Así entonces, llevamos a cabo una serie de regresiones de corte transversal para las 32 entidades federativas del país, para el periodo 1980-2002. Utilizando como proxy de *stock* de capital humano el promedio de alfa-

betos para el periodo referido. Así, la primera regresión es con la siguiente ecuación:

$$\text{Log(PIB)} = \alpha - \beta_1 y80 + \beta_2 al80 + \beta_3 gob + \beta_4 inv + \varepsilon \quad (13)$$

Donde

Log(PIB) es la tasa de crecimiento promedio anual del PIB, a precios de 1993, *y80* es el ingreso per cápita de 1980, *al80* es la proporción porcentual de población alfabeto en el total de la población para 1980, *gob*, es el promedio de la participación porcentual de los gastos del gobierno en bienes y servicios en el PIB total a precios corrientes, e *inv* es el promedio de la participación del PIB de la construcción en el PIB total en valores corrientes.

En los resultados obtenidos tenemos que se encuentra convergencia, ya que el signo del ingreso per cápita inicial es negativo, tal como predice la hipótesis de convergencia; en cuanto a la variable referente a la alfabetización inicial, también encontramos el resultado esperado en relación al signo del coeficiente, aunque en nuestro caso dicha variable no resulta significativa, lo cual puede ser debido a que se incluye en la regresión la inversión y esta última variable absorbe el efecto del capital humano. Sin embargo la variable de inversión no presenta el signo esperado, que en nuestro caso se puede deber a errores en la medición de dicha variable, mismos que tendrán que ser corregidos.

Siguiendo a Romer, en la segunda regresión excluimos la inversión para verificar la hipótesis de que el capital humano tiene un efecto positivo en el crecimiento económico, por lo tanto ahora nuestra ecuación es:

$$\text{Log(PIB)} = \alpha - \beta_1 y80 + \beta_2 al80 + \beta_3 gob + \varepsilon \quad (14)$$

En este caso, nuevamente se verifica la existencia de convergencia, y si bien la variable de capital humano tiene el signo esperado no resulta significativa; en estos casos quizá sea necesario hacer una corrección del error mediante variables instrumentales ya que por errores en la medición se puede dar una relación espuria entre el ingreso per cápita inicial y la alfabetización inicial.

En la regresión siguiente buscamos verificar la hipótesis de Romer de que debido a las externalidades del capital humano los efectos

de este tipo de capital se observan directamente en la inversión, por lo que los efectos del capital humano en el crecimiento económico de largo plazo se dan a través del *stock* de capital humano; así entonces nuestra ecuación es la siguiente:

$$\text{Inv} = \alpha + \beta_1 y80 + \beta_2 gov + \beta_3 al80 + \beta_4 al_diff + \varepsilon \quad (15)$$

Donde

Inv es la participación promedio de la inversión en el PIB total a precios corrientes, y *al_diff* es el número de individuos alfabetos en promedio durante 1980-2002.

El resultado obtenido es que si bien se encuentra el signo esperado del *stock* de capital humano, no resulta significativo, lo cual se puede deber a los errores de medición, por lo que trataremos de corregir incluyendo una variable dummy, que es un indicador de inversión en capital humano por entidad federativa; así también incluimos el índice de marginación por entidad federativa y excluimos los gastos del gobierno.

Así que ahora tendremos la siguiente ecuación:

$$\text{Inv} = \alpha + \beta_1 y80 + \beta_2 al80 + \beta_3 al_diff + \beta_4 d_ikh + \beta_5 i_mrg + \varepsilon \quad (16)$$

Donde

d_ikh es un índice de capital humano, (1) alta inversión en capital humano y (0) baja inversión en capital humano, e *i_mrg* es el índice de marginación.

Como se puede observar en los resultados, si bien ahora encontramos que al introducir las dos nuevas variables ya encontramos el signo esperado en las variables de capital humano, aún resultan no significativas.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos, según las ecuaciones planteadas en cada caso.

Como se observa, los resultados son aún muy preliminares, pero seguramente podrán ser mejorados en investigaciones posteriores.

Conclusiones

Aun cuando los resultados son muy preliminares, podemos apuntar algunas conclusiones:

1. En el caso de México se observa que se verifica la existencia de convergencia, en tanto que en los dos primeros modelos planteados el coeficiente del ingreso inicial presenta una relación inversa con la tasa de crecimiento de las 32 entidades federativas, tal como lo predice la teoría de la convergencia.
2. Se observa también que tal como lo señala Romer y otros investigadores, en el caso de México la variable inversión de capital físico suele absorber el efecto del capital humano en el crecimiento del producto, en tanto que las externalidades que genera el capital humano tienen un efecto directo en la inversión de capital físico y éste sobre el crecimiento del producto.
3. Se verifica que en el caso de México, tal como lo plantea Paul Romer (1989), existe una relación positiva entre el capital humano y la inversión de capital físico, efecto que posteriormente el capital físico transmite al producto. Lo anterior por las externalidades del capital humano.
4. Se puede concluir también que a más investigación básica y aplicada, con las características de no rivalidad y no excluyente, el capital humano genera externalidades positivas que absorbe la inversión de capital físico.
5. Finalmente, podemos decir que el análisis del efecto del capital humano en el crecimiento económico enfrenta muchos problemas, sobre todo en los errores de medición de las variables, que necesariamente tienen que ser corregidos mediante la inclusión de variables instrumentales. Por lo tanto los resultados que se obtienen de dichos modelos siempre serán preeliminares.

Tabla 1

Variable	Modelo 1 Coeficiente	Modelo 2 Coeficiente	Modelo 3 Coeficiente	Modelo 4 Coeficiente
Y80	-0.166792 (0.054351)	-0.155939 (0.063699)	-0.014433 (0.044757)	-0.014333 (0.043404)
INV	-0.796452 (0.233924)			
GOB	0.280438 (0.144737)	0.336771 (0.168809)	-0.063948 (0.122336)	
AL80	0.085273 (0.052487)	0.095115 (0.061529)	-0.014410 (0.044126)	0.037190 (0.077502)
AL_DIFF				0.000339 (0.000155)
D_IKH				-0.645163 (0.715733)
I_MRG				0.150108 (0.562992)
C	2.425654 (2.530595)	-2.700821 (2.387842)	6.427634 (1.672414)	3.822463 (3.541079)

BIBLIOGRAFÍA

- BARRO, Robert, *Determinants of Economic Growth*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1997.
- _____ y Sala-I-Martin, *Economic Growth*, McGraw Hill, 1995.

BLANKENAU, William F. y Nicole B. Simpson, *Public Education Expenditures and Growth*, Journal of Development Economics 73, 2004.

BENHABID, J. y M. Espiegel, "The Role of Human Capital in Economic Development, Evidence from Agregate Cross-Country Data", *Journal of Monetary Economics*, núm. 34.

DOWRICK, Steve, *Ideas and Education: Level or Growth Effects?*, Documento de Trabajo 9709, National Bureau of Economic Research, 2003.

GUISÁN, M. Carmen, *Capital humano y capital físico en la OCDE: Su importancia en el crecimiento económico en el periodo 1965-1990*, Facultad de Económicas, Universidad de Santiago de Compostela, España.

KRUEGER, Alan y B. Lindahl, "Education for Growth: Why and for Whom?", *Journal of Economic Literature*, vol. XXXIX, 2001.

LUCAS, Robert E. Jr., *Lectures on Economic Growth*, Harvard University Press, 2002.

MANKIW, Romer y Weill, "A Contribution to the Empirics of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 1992.

MINCER, Jacob, *Schooling, Experience and Earnings*, Columbia University Press, Nueva York, 1974.

MULLIGAN Casey, B. y Sala-I-Martin Xavier, "Measuring Aggregate Human Capital", *Journal of Economic Growth*, núm. 5, 2000.

NEIRA Gómez, Isabel, *Modelos econométricos de capital humano: principales enfoques y evidencia empírica*, Euro-American Association of Economic Development Studies, Documento de Trabajo series Economic Development, núm. 62, 2003.

____ y M. del Carmen Guisán, *Modelos de capital humano y crecimiento económico: Efecto Inversión y otros efectos indirectos*, Documento de Trabajo series Economic Development, núm. 62, Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Economía Econometría, 2002.

ROMER, Paul M., *Human Capital and Growth: Theory and Evidence*, Documento de Trabajo 3173, NBER Working Paper Series, National Bureau of Economic Research, 1989.

____, "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, vol. 98, núm. 5, 1990.

____, "The Origins of Endogenous Growth", *Journal of Economics Perspectives*, vol. 8, núm. 1, 1994.

____, "Increasing Returns and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, vol. 94, núm. 5, 1986.

SALA-I-Martin, Xavier, *Apuntes de crecimiento económico*, 2a. ed., Antoni Bosch (editor), 2002.

SIANESI, Barbara y John van Reenen, "The Returns to Education: Macroeconomics", *Journal of Economic Surveys*, vol. 17, núm. 2, 2003.

SOLOW, Robert M., *La teoría del crecimiento*, Fondo de Cultura Económica, México, 1992.

____, "Perspectives on Growth Theory", *Journal of Economics Perspectives*, vol. 8, núm. 1, 1994.

____, "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, LXX.

YUJIRO, Hayami y Yoshihida Godo, *Desarrollo económico*, Oxford University Press, Gran Bretaña, 2005.