

*Inversión en investigación y crecimiento económico:
un análisis empírico desde la perspectiva
de los modelos de I+D*

JUAN MARROQUÍN ARREOLA
HUMBERTO RÍOS BOLIVAR*

INTRODUCCIÓN

La teoría del crecimiento económico endógeno centra la atención sobre el cambio tecnológico endógeno para explicar los patrones de crecimiento en las economías. Dicha teoría busca aclarar el proceso mediante el cual se crean nuevos descubrimientos que generan un aumento de la producción de conocimientos técnico-científicos que se ven reflejados en nuevos productos o en mejoras de la calidad de los que ya existen. Así, a través de la importancia de la Investigación y Desarrollo (I+D) se fundamenta el incremento de la productividad y del crecimiento económico. La importancia del tema de la inversión en investigación está fundamentada en la teoría del capital humano, la cual afirma que las capacidades de los individuos son en gran medida adquiridas y no innatas. Estas son adquiridas mediante la inversión en educación, capacitación y, desde luego, en investigación. Uno de los pioneros que más han contribuido a esta teoría es Becker (1983), quien

Manuscrito recibido en junio de 2011; aceptado en diciembre de 2012.

* Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional (IPN), <juanmarro@gmail.com> y <hrios@ipn.mx> respectivamente. Agradecemos a los dictaminadores anónimos. La opinión presentada en el documento es responsabilidad de los autores.

reconoce que para la explicación de ciertos fenómenos macroeconómicos como, por ejemplo, el crecimiento del ingreso nacional es necesario incluir, además de los factores capital y trabajo, un tercer factor que involucra a la educación, la capacitación y la investigación. De igual forma, Schultz (1983) considera que la educación, la capacitación y la investigación constituyen un conjunto intangible de habilidades y capacidades para elevar y conservar la productividad, la innovación y el propio crecimiento económico.

En este mismo orden de ideas y desde un enfoque empírico surgen trabajos que vienen a confirmar los planteamientos teóricos inicialmente establecidos. Autores tales como Barro y Sala-i-Martin (1996), Mankiw, Romer y Weil (1992) y Romer (1990) coinciden en que la innovación tecnológica es creada en el sector de I+D usando capital humano y el stock de conocimientos existente, funcionando esto último como un detonador del crecimiento económico. El punto central de estos modelos es que la innovación determinada endógenamente permite el crecimiento sostenido. Estudios empíricos recientes, realizados por parte del Banco de Inversión Europeo (BIE, 2011), encuentran evidencia de un efecto positivo de la I+D en el crecimiento económico en algunos países europeos. Prettner y Trimborn (2012) muestran que, en respuesta a los cambios demográficos, los avances tecnológicos aceleran el crecimiento económico en el mediano plazo. El presente documento usa técnica de datos de panel y datos de 32 entidades para el periodo 1990-2008 para analizar los siguientes postulados de los modelos de crecimiento basados en I+D para el caso de México: 1) la inversión en I+D aumenta la innovación y hay rendimientos constantes a la innovación y 2) la innovación conduce a un aumento permanente en el producto interno bruto (PIB) per cápita.

Los estudios empíricos de modelos de crecimiento endógenos involucran, generalmente, probar el efecto de I+D sobre el crecimiento de la productividad total de los factores (PTF). Por ejemplo, Jones (1995) usa datos de series de tiempo del crecimiento de la PTF y la tasa de crecimiento del número de científicos e ingenieros en Francia, Alemania, Japón y los Estados Unidos para probar la validez de modelos basados en I+D. Sin embargo, en dicho trabajo no se encuentra evidencia de interacción positiva entre

dichas variables. Por su parte, Aghion y Howitt (1998) presentan resultados que en alguna medida contradicen el planteamiento de los resultados de Jones (1995). En primer lugar, la creciente complejidad de la tecnología hace necesario elevar la I+D en el tiempo para mantener la tasa de innovación constante para cada producto. En segundo lugar, como el número de productos incrementa, una innovación en cualquier producto afecta a una pequeña proporción de la economía y, por lo tanto, tiene un efecto pequeño proporcional de derramas sobre el stock agregado de conocimientos. Ellos argumentan que en lugar del número de científicos e ingenieros debería usarse la inversión en I+D como proporción del PIB, teniendo en cuenta el tamaño de la economía. Scherer (1982), Griliches y Lichtenberg (1984), Aghion y Howitt (1998) y Zachariadis (2003) proporcionan una fuerte evidencia de que en la economía estadounidense la I+D y el crecimiento de la PIF están relacionados positivamente.

La relación positiva entre países en relación con la I+D y el crecimiento económico ha sido también confirmado por estudios que utilizan datos de panel internacionales, tales como Frantzen (2000) y Griffith, Reedin and Reenen (2000), Verbič, Majcen, Ivanova y Čok (2011). Hay fuerte evidencia de que las derramas de I+D de los países industrializados a los países en desarrollo tienen efectos positivos sobre el crecimiento de la productividad, tal como lo comprueban Griffith, Reading y Reenen (2000). En un estudio de Savvides y Zachariadis (2003) se muestra que tanto la I+D nacional y la inversión extranjera directa aumentan la productividad nacional y el crecimiento del valor agregado. Asimismo, existen otros trabajos que abordan el tema con resultados similares, tales como Barro y Sala-i-Martin (1991, 1995, 1996) y Audretsch y Feldman (1996).

Aunque los datos de I+D han permitido a los economistas del crecimiento arrojar algo de luz sobre teorías del crecimiento, ellos solos no permiten analizar esos modelos a fondo. En particular, para examinar los determinantes de la innovación, que es el corazón de las teorías del crecimiento endógeno, uno necesita datos tanto del insumo I+D como de la producción de una actividad innovadora. Porter y Stern (2000) fueron de los primeros en utilizar datos agregados del nivel de patentes para examinar los determinantes y los

efectos de la innovación. Encontraron que la innovación está relacionada positivamente con el capital humano en el sector de I+D y el stock de conocimientos. También muestran que hay una relación significativa pero débil entre la innovación y el crecimiento de la PTF.

Según Aboites y Dutrénit (2003) y Díaz-Bautista (2003) en México, en los últimos años, la importancia de la creación de innovaciones tecnológicas ha sido ampliamente reconocida. Este hecho es corroborado por la participación de los gobiernos de subsidiar programas de I+D (Romo y Hill, 2006). Germán-Soto, Gutiérrez F. y Tovar M. (2009) mencionan que en México se han generado incrementos importantes en la captación de inversiones foráneas, con la consiguiente implantación de tecnologías nuevas y sistemas de información. Afirman que la formación de capital humano juega un papel esencial en el desarrollo tecnológico e innovador del país. Por lo tanto, ambos factores (educación e inversiones nuevas) deben constituir elementos explicativos e inseparables del proceso innovador.

Las conclusiones del trabajo sugieren que la innovación tiene un efecto positivo sobre el PIB per cápita. Sin embargo, una parte de los estados que son capaces de aumentar su innovación mediante la inversión en I+D influyen al resto, que parecen promover la innovación mediante el uso de los conocimientos técnicos de otros. Aunque estos resultados proporcionan fuerte evidencia de que la innovación es endógenamente creada en la economía y ello promueve el crecimiento económico, carecen de apoyo para rendimientos constantes a la innovación con respecto a la I+D. Esto implica que tanto la innovación como el stock de capital llevan sólo en el corto plazo a incrementar la tasa de crecimiento de la producción, pero no son capaces de explicar el crecimiento económico sostenido. Sin embargo, ya que ni los datos de patentes ni de I+D son medidas completas de la innovación, estos resultados no deben interpretarse como un rechazo de los modelos de crecimiento basados en I+D.

El resto del documento está organizado como sigue: en la sección dos se introduce el modelo; en la tercera se explican los datos y la metodología; en la sección cuatro se documentan las propiedades estadísticas de datos y hechos estilizados; en la quinta se presentan los resultados de la regresión, y en la sección seis las conclusiones.

EL MODELO

El modelo empírico construido se basa sobre el modelo de crecimiento basado en I+D de Romer (1990). El modelo de Romer está basado sobre tres premisas: 1) el crecimiento es impulsado por el cambio tecnológico; 2) el cambio tecnológico surge como consecuencia de acciones intencionales tomadas por la gente que responde a incentivos de mercado; 3) los diseños usados en la creación de nuevas patentes no son rivales, *i.e.* ellos pueden ser reproducidos sin costo adicional. El modelo tiene tres sectores: el sector de I+D, el de bienes intermedios y el de la producción final. La producción final es producida de acuerdo a una función de producción Cobb-Douglas de la siguiente forma:

$$Y(H, L, x) = H^\alpha L^\beta \int_0^\infty x(i)^{1-\alpha-\beta} di \quad [1]$$

ecuación en la cual H , L y x son el capital humano, el trabajo y los bienes duraderos respectivamente. Cada producto durable es producido por un monopolista en el sector de bienes intermedios usando η unidades de insumo y el diseño de bienes duraderos comprados del sector de I+D. El equilibrio está basado sobre el supuesto de que cualquiera que esté comprometido en la investigación tiene libre acceso a todo el stock de conocimientos. Por lo tanto, el producto de cada investigador j es HAI . Luego, si se suman todas las personas ocupadas en la investigación, la creación de nuevos diseños en el sector de I+D evoluciona de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\dot{A} = H^\theta A^\delta I^\gamma \quad [2]$$

donde la variación del flujo de innovación (\dot{A}) está en función de tres variables independientes: el capital humano total (H) en el sector de I+D; el stock de conocimientos (A) y la inversión en bienes de capital de alto nivel agregado (I).¹ Lo anterior tiene dos implicaciones: en primer lugar, dedi-

¹ Para más detalles véase Acemoglu y Linn (2003).

cando más capital humano a la investigación conduce a una mayor tasa de producción de nuevos diseños; en segundo lugar, cuanto mayor sea el stock total de diseños y conocimientos mayor será la productividad de un investigador trabajando en la investigación. Después de que un nuevo diseño es producido, entra a la economía de dos formas distintas; un nuevo diseño permite la producción de un nuevo bien intermedio que puede ser usado para producir el producto; ello también incrementa el stock total de conocimientos y la productividad del capital humano en el sector de investigación. Es importante mencionar que el modelo tiene el supuesto de que los bienes duraderos no se deprecian. De acuerdo con un sistema de cuentas nacionales, Romer define una medida de contabilidad del capital total, el cual evoluciona de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\dot{K}_t = Y_t - C_t \quad [3]$$

en la cual C_t denota el consumo agregado en el tiempo t , Y_t al producto y \dot{K}_t a la variación del capital. Debido a que toma η unidades para crear una unidad de cualquier tipo de artículo, esta media contable de K está relacionada con los bienes durables que son de hecho usados en la producción de acuerdo a la siguiente regla:

$$K = \eta \sum_{i=1}^n x_i$$

El modelo plantea que todos los bienes durables disponibles son suministrados en el mismo nivel y pueden ser denotados por x , y la suma de todos los bienes durables disponibles es equivalente a Ax , donde A va a determinar el rango de bienes duraderos que se pueden producir, y puesto que η unidades de producción son requeridas por unidad de bienes durables, es posible resolver para x que $K = \eta Ax$.

Luego, sustituyendo $x = K/\eta A$ en la función de producción de la ecuación [1] resultando en la forma final de la función de producción del modelo de Romer:

$$Y(H, L, x) = (HA)^\alpha (LA)^\beta (K)^{1-\alpha-\beta} \eta^{\alpha+\beta-1} \quad [4]$$

Los rendimientos crecientes a escala surgen tanto en el sector de I+D como en el sector de producción final debido a que ambos sectores usan como insumo el stock de conocimientos A no rival. A entra en el sector de I+D directamente e indirectamente en el proceso de producción de bienes finales a través de derramas de conocimientos. La implicación más importante de este modelo es que los países pueden alcanzar un crecimiento económico.

VARIABLES UTILIZADAS

Los datos se componen de patentes, capital humano y gasto bruto en I+D, principalmente, mismos que se obtienen del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Los datos de patentes incluyen todas las realizadas por los investigadores residentes en el país. El capital humano se entiende como aquel dedicado a las actividades de investigación. El gasto bruto en I+D se define como el total de I+D realizado en el territorio nacional durante un periodo determinado. La serie se deflacta utilizando el deflactor implícito del PIB base 1993 para homogeneizarlas con las otras variables como el PIB per cápita y la inversión. El stock de gasto de I+D también llamado stock de conocimientos se emplea en el análisis de regresión para tener en cuenta los efectos de los esfuerzos de la investigación sobre la innovación. El stock de conocimientos A se construye usando una tasa de depreciación de 20% como sugiere la literatura (véase el apéndice para detalles del cálculo).

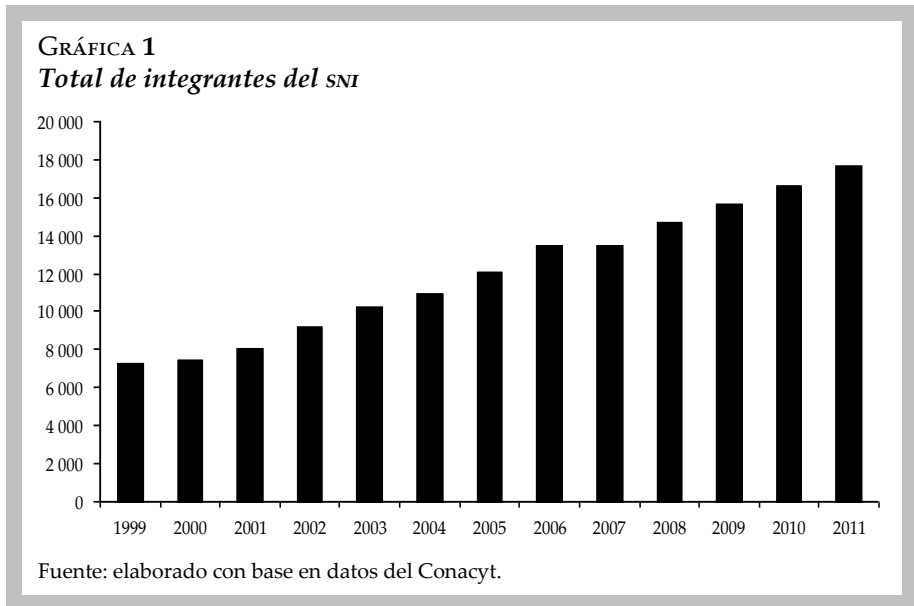
El resto de las variables, tales como el PIB per cápita, la formación bruta de capital y el trabajo se obtienen de las bases de datos del Banco de México. Se utiliza un modelo de datos de panel con el fin de disponer de una mayor cantidad de datos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE INNOVACIÓN Y CAPITAL HUMANO

Esta sección examina las propiedades estadísticas de los datos y presenta algunos hechos acerca de las principales variables del modelo, es decir, el capital humano dedicado a la investigación, las patentes realizadas. Es importante mencionar que, a pesar de que es común encontrar investigadores sin grado de doctorado vinculados con actividades de investigación

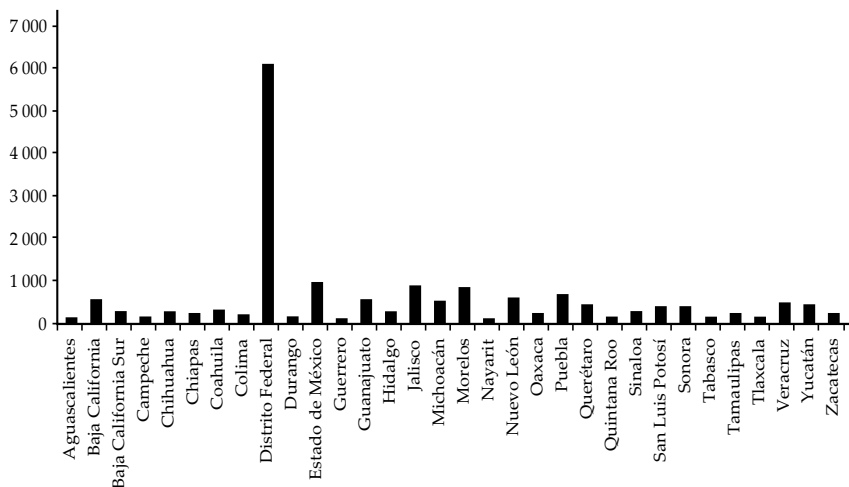
en áreas productivas y desarrollo tecnológico en el sector privado, en este estudio consideraremos a los investigadores que son miembros del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de todas las áreas, los cuales comprenden la mayor parte de quienes se dedican a actividades de investigación y son los que están directamente relacionados con el gasto a las actividades del I+D por parte del sector público.

La formación de recursos humanos, específicamente de investigadores de alto nivel académico, se ha incrementado considerablemente, en respuesta a los estímulos gubernamentales y la expansión de las instituciones de educación superior e investigación, lo cual se puede observar en la gráfica 1.



En cuanto a nivel estatal, el número de SNI en la mayoría de los estados es bastante homogéneo excepto el Distrito Federal (D.F.), donde la diferencia con respecto a los demás es verdaderamente abismal. Esto refleja claramente la concentración de las actividades de investigación y desarrollo, situación que a su vez podría influir en los demás estados como externalidades, es decir, que se vean influenciados por el D.F.

GRÁFICA 2
Total de integrantes del SNI por Estado, 2010



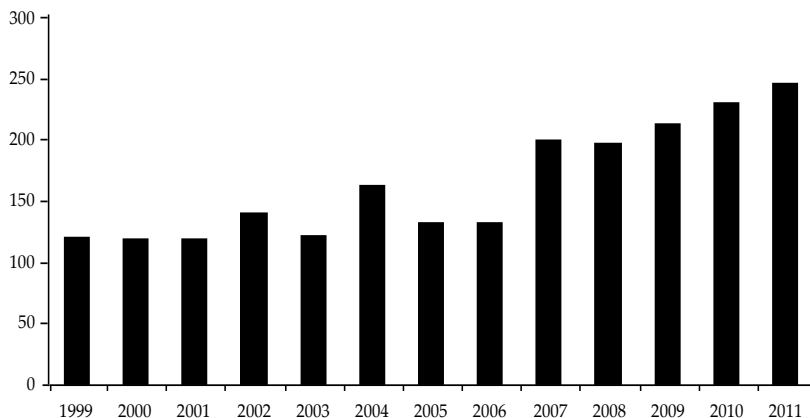
Fuente: elaboración con base en datos del Conacyt.

Por el lado de las patentes, que es sinónimo de innovación en este estudio, es importante mencionar que se tomará el registro de patentes hechas por los miembros del SNI. A pesar de que algunas se utilizan para producto final y no para intermedio, en el estudio se consideran ambos tipos de patentes.

Porter y Stern (2000) señalan que el nivel de innovación de una región puede estimarse con la cantidad de patentes generadas. Tomando como referencia dicho señalamiento, en México el nivel de innovación se muestra mediante las patentes concedidas durante el periodo 1999-2011 (véase la gráfica 3).

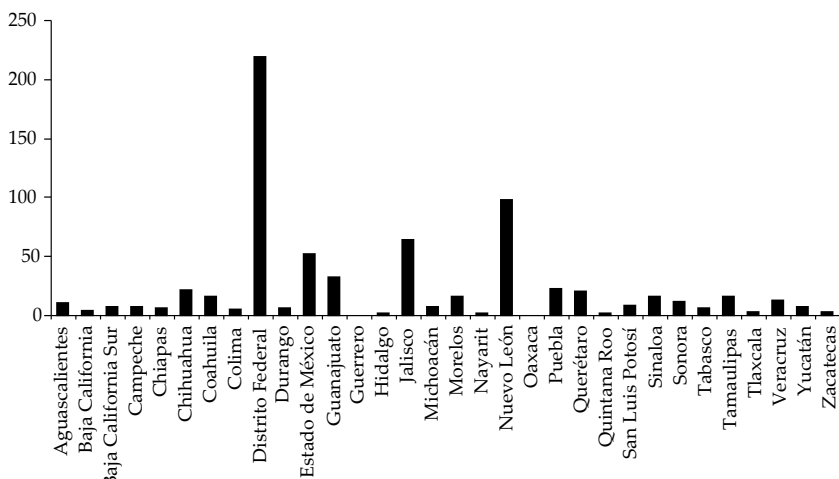
A nivel estatal, la diferencia en patentes concedidas en el D.F. respecto al resto de los estados es muy grande debido a que en esta entidad es donde se concentra la mayor parte de la actividad de investigación. Esto es congruente con los miembros del SNI. En la gráfica 4 se muestran las patentes por entidad federativa.

GRÁFICA 3
Patentes concedidas en México, 1999-2011



Fuente: elaborado con base en *Informe de Gobierno* 2012, 2010, 2005.

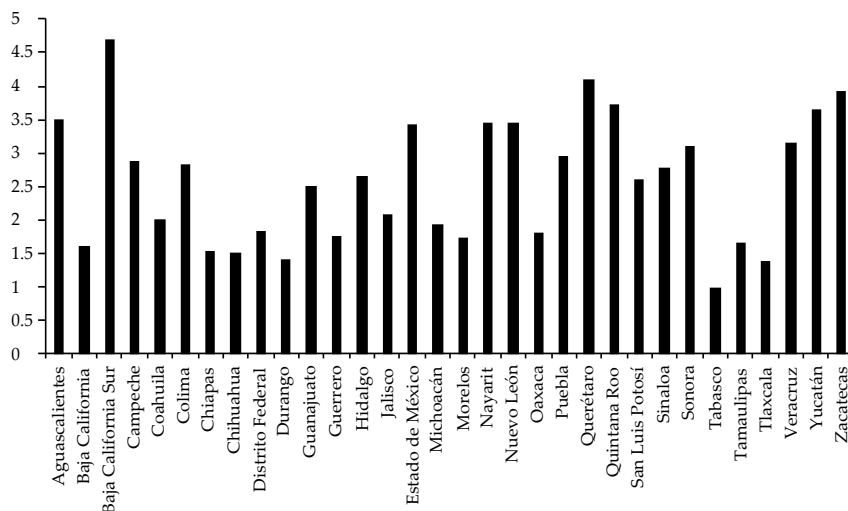
GRÁFICA 4
Patentes concedidas por entidad federativa 2008



Fuente: elaborado con base en datos del Conacyt.

En cuanto al crecimiento económico, se muestra que la mayoría de los estados crecieron por debajo de la media nacional, que fue de 2.7%. En la siguiente gráfica se pueden observar las diferentes tasas de crecimiento del PIB per cápita logradas por cada Estado durante el periodo 2003-2010.

GRÁFICA 5
TMCA del PIB estatal, 2003-2010



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI.

La razón de estas diferencias es que existen diferentes niveles de tasas de crecimiento económico debido a una diversidad en cuanto a la actividad económica desarrollada en cada Estado.

ANÁLISIS EMPÍRICO

Las estimaciones tanto de la función de innovación como de producción se llevan a cabo usando el método de datos de panel. Algunas de las ventajas de usar datos de panel son que se toma en cuenta y controla la heterogeneidad

individual, da más información y pueden descomponerse las variaciones de los datos en: variaciones entre empresas, estados o individuos (Gujarati, 2004). Asimismo, permite analizar los efectos individuales específicos y los efectos temporales. Es importante mencionar que las variables que se utilizan son sustitutas de las que en realidad se quieren medir, tal es el caso del uso de variables proxy, que no son otra cosa más que una aproximación de la variable verdadera. Cabe señalar que cuando se usan variables proxy como el valor verdadero se puede estar cayendo en un sesgo de medición, el cual dependerá del nivel de aproximación de la variable usada como proxy (Maddala, 1996).

Estimación de la función de innovación

En esta sección se investiga el postulado de los modelos de crecimiento basados en I+D que postulan que la innovación tecnológica se crea en el sector de I+D y que hay rendimientos constantes a la innovación. Debido a la escasez de los datos de I+D, el análisis se realiza para los 32 estados de la republica mexicana para el periodo 1999-2008, mediante un modelo de datos de panel. La ecuación de regresión se deriva de la ecuación [2], por lo que la ecuación es:

$$\dot{A} = H^{\theta} A^{\delta} I^{\gamma} \quad [5]$$

en la cual \dot{A} es el flujo de innovación como en el modelo de Romer; H , el capital humano dedicado a I+D, particularmente los miembros del SNI dedicados a las actividades de investigación; A , el stock de innovación (o stock de conocimientos), e I , la inversión en bienes de capital de alto nivel agregado. La versión logarítmica del modelo es:

$$\text{Log}(\dot{A}) = \delta \text{Log}(A) + \theta \text{Log}(H) + \gamma \text{LOG}(I) \quad [5a]$$

La ecuación [5a] indica que un incremento de 1% en cada una de las variables independientes incrementa la innovación en una cantidad δ , θ y γ por ciento. Para la estimación de la ecuación [5a] se utilizan datos estadísticos

en forma de panel de 32 estados de la república mexicana para el periodo 1999-2010. Se utilizan datos entre este lapso de tiempo debido a que presenta homogeneidad de los datos entre estados. Los resultados de la estimación econométrica se muestran en el cuadro 1.

CUADRO 1

Resultados de la estimación del modelo de innovación

| <i>Variabes</i> | <i>MCO</i> | <i>MEF</i> | <i>MEA</i> |
|---|------------|------------|------------|
| <i>A</i> | 0.0926 | 0.1034 | 0.1362 |
| (valor p) | 0.18 | 0.0011 | 0.0000 |
| <i>H</i> | 0.3207 | 0.2096 | 0.2125 |
| (valor p) | 0.241 | 0.000 | 0.000 |
| <i>I</i> | 0.3287 | 0.455 | 0.523 |
| (valor p) | 0.112 | 0.000 | 0.000 |
| F (valor p) | | 0.0000 | |
| LM (valor p) | | | 0.0000 |
| Hausman (valor p) | | 0.4745 | |
| Prueba para la igualdad de varianza del residuo | | 0.0264 | |
| Durbin-Watson | | 2.19 | |
| Observaciones | 384 | 384 | 384 |
| R ² | 0.2786 | 0.5475 | 0.4259 |

Fuente: elaboración propia con base en resultados del modelo.

En el cuadro 1 se muestran tres clases de estimaciones: mínimos cuadrados ordinarios (MCO), modelo de efectos fijos (MEF) y modelo de efectos aleatorios (MEA), y tres pruebas: la prueba F (valor p = 0.000) indica que se prefiere el MEF y no el MCO; la prueba LM (valor p = 0.000), que se prefiere MEA y no MCO, y la prueba de Hausman (valor p = 0.4745), que se prefiere al MEA, por lo que cuando se incrementa el stock de conocimientos incrementa la innovación. Los resultados obtenidos del análisis de la relación entre el stock de conocimientos y la innovación nos permite hacer las siguientes conclusiones: en primer lugar, como ya se mencionó se prefiere al modelo de efectos aleatorios; en segundo, no hay retornos crecientes a la innova-

ción, y en tercero, los resultados son consistentes con las premisas de los modelos de crecimiento basados en la I+D de que la innovación es creada endógenamente. Sin embargo, los resultados no proporcionan apoyo para rendimientos constantes a escala. Esto podría deberse a que nuestros datos no son capaces de capturar toda la gama de actividades de innovación.

Estimación de la función de producción

Esta sección está dedicada al análisis de la relación entre innovación y la tasa de crecimiento del PIB per cápita. La ecuación base para nuestro análisis de regresión es la siguiente:

$$Y(H, L, x) = (HA)^\alpha (LA)^\beta (K)^{1-\alpha-\beta} \eta^{\alpha+\beta-1} \quad [6]$$

en la cual Y , L , H y A son el crecimiento del producto total, el trabajo, el capital humano y el stock de conocimientos de la economía respectivamente. Aquí K incluye tanto la inversión física como las patentes. La función de producción presenta rendimientos constantes a escala en sus insumos L , H y K . Los rendimientos crecientes a escala se deben a que el stock de conocimientos entra en la función de producción a través de las patentes y de los efectos secundarios de los sectores de I+D. Cuando derivamos la ecuación de regresión del modelo [6], todas las variables se normalizan por la serie trabajo y la ecuación se vuelve log lineal, por lo que la ecuación en términos per cápita es la siguiente forma:

$$y_t = \alpha h_t + \gamma i_t + (1 - \alpha - \gamma) \chi_t + \varepsilon_t \quad [6a]$$

donde y_t , i_t , χ_t y h_t son el crecimiento del producto per cápita, la inversión, las patentes y el capital humano respectivamente. La inversión, patentes y capital humano son medidos por la inversión bruta fija, las patentes y la cantidad de investigadores dedicados a la investigación por parte del sector público, particularmente el SNI. Los datos comprenden los 32 estados de la república mexicana. Es importante mencionar que el efecto que tienen las patentes sobre el crecimiento del PIB no es de manera inmediata (Pyndick

y Rubinfeld, 2001), por lo que su efecto es de manera rezagada. Por lo que la ecuación [6a] queda de la siguiente forma:

$$y_t = \alpha h_t + \gamma i_t + (1 - \alpha - \gamma) \chi_{t-4} + \varepsilon_t \quad [6a']$$

Los resultados de la regresión se presentan en el cuadro 2.

CUADRO 2

Resultados de la estimación del modelo de producción

| <i>Variables</i> | <i>MCO</i> | <i>MEF</i> | <i>MEA</i> |
|--|------------|------------|------------|
| <i>h</i> | 0.2045 | 0.1875 | 0.1773 |
| | 0.22 | 0.000 | 0.000 |
| <i>i</i> | -0.2247 | 0.3566 | 0.3076 |
| | 0.246 | 0.003 | 0.008 |
| x_{t-4} | 0.1234 | 0.1308 | 0.2123 |
| | 0.423 | 0.000 | 0.002 |
| F (valor p) | | 0.0000 | |
| LM (valor p) | | | 0.0000 |
| Hausman (valor p) | | 0.5921 | |
| Prueba para la igualdad de varianzas del residuo | | 0.0142 | |
| Durbin-Watson | | 2.01 | |
| Observaciones | 383 | 383 | 383 |
| R ² | 0.3729 | 0.6448 | 0.5627 |

Fuente: elaboración propia con base en resultados del modelo.

Los resultados de la estimación de modelo de producción se muestran en cuadro 2. Al igual que el modelo anterior, se presentan tres modelos: MCO, MEF, MEA. La pruebas F y LM reflejan que se prefiere tanto el modelo de efectos fijos como el de aleatorios. Asimismo, la prueba de Hausman indica que el mejor modelo es el de efectos aleatorios. Como se observa en el cuadro 2, el coeficiente de patentes (x_{t-4}) es positivo y significativo. Como ya se mencionó, se prefiere al modelo de efectos aleatorios en lugar del de efectos fijos, esto quiere decir que los estados con mayores inversiones en I+D tienen influencia sobre los estados que invierten menos debido a que tienen mayores

retornos en las patentes. Asimismo, el efecto del capital humano sobre el PIB es positivo y significativo. Los retornos a la inversión también son positivos y significativos. Los resultados de la estimación de los modelos reflejan como la creación de nuevos conocimientos se ven reflejados sea mediante la creación de nuevos productos o mejorando la calidad de los ya existentes.

CONCLUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue evaluar si existe una relación significativa entre los esfuerzos de I+D y su innovación y entre la innovación y el ingreso per cápita como lo postulan los modelos de crecimiento endógeno para el caso de México. Nuestros resultados muestran que existe una fuerte relación positiva entre el PIB per cápita y la creación de nuevos conocimientos. Los resultados de los modelos muestran que se prefiere el modelo de efectos aleatorios, lo cual enfatiza el hecho de que sólo algunos estados promuevan más su innovación por la inversión en I+D que otros y desde luego apoya a las teorías que enfatizan la importancia del tamaño del mercado para la eficiencia de los sectores de I+D (Acemoglu y Linn, 2003). Los resultados también sugieren que los estados que no cuentan con sectores eficientes parecen promover la innovación a través de las derramas tecnológicas de otros estados.

Además, nuestro análisis presta apoyo a las teorías del crecimiento endógeno, ya que confirma una relación significativa entre el stock de I+D y la innovación y entre la innovación y el PIB per cápita. Si bien el modelo carece de evidencia de rendimientos crecientes a la innovación en términos de stock de I+D, el mismo sí es capaz de evidenciar rendimientos positivos de las variables explicativas respecto a la variable dependiente.

REFERENCIAS

- Aboites, J. y Dutrénit, G., 2003. *Innovación, aprendizaje y creación de capacidades tecnológicas*. México: Ed. Miguel Ángel Porrúa-Universidad Autónoma Metropolitana.
- Acemoglu, D. y Linn, J., 2003. Market Size and Innovation: Theory and evidence from the pharmaceutical industry. National Bureau of Economic Research (NBER), Working Paper no. 10038.

- Aghion, P. y Howitt, P., 1998. *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Audretsch, D. y Feldman, M., 1996. R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production. *American Economic Review*, 86, pp. 630-40.
- Banco de Inversión Europeo (BIE), 2011. Productivity and Growth in Europe: Long-term trends, current challenges and the role of economic dynamism. EIB Papers no. 16(1), pp. 1-145.
- Barro, R.J. y Sala-i-Martin, X., 1991. Convergence across States and Regions. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1, pp. 107-58.
- Barro, R.J. y Sala-i-Martin, X., 1995. Technological Diffusion, Convergence, and Growth. NBER, Working Paper no. 5151.
- Barro, R.J. y Sala-i-Martin, X. 1996. Regional Cohesion: Evidence and theories of regional growth and convergence. *European Economic Review*, 40(6), junio, pp. 1325-52.
- Becker, G., 1983. *El capital humano*. Madrid: Alianza.
- Díaz-Bautista, A., 2003. *Los determinantes del crecimiento económico: comercio internacional, convergencia y las instituciones*. México: El Colegio de la Frontera Norte/Editorial Plaza y Valdez.
- Frantzen, D., 2000. R&D, Human Capital and International Technology Spillovers: A Cross country analysis. *Scandinavian Journal of Economics*, 102(1), pp. 57-75.
- García, A., Jaumandreu, J., y Rodríguez, C., 1998. Innovation and Jobs at the Firm Level», Programa de Investigaciones Económicas, Fundación Empresa Pública, Documento de trabajo no. 9810.
- Germán-Soto, V.; Gutiérrez F., L. y Tovar M., S. 2009. Factores y relevancia geográfica del proceso de innovación regional en México. *Estudios Económicos*, 24(2), pp. 225-48.
- Griffith R., Redding, S. y Reenen, J. van, 2000. Mapping the Two Faces of R&D: Productivity growth in a panel of OECD countries. The Institute for Fiscal Studies, Working Paper no. 02/00.
- Griliches, Z. y Lichtenberg, F., 1984. Interindustry Technology Flows and Productivity Growth: A Reexamination. *Review of Economics and Statistics*, 66, pp. 324-29.
- Gujarati, D., 2004. *Econometría*. 4ª edición. México: McGraw-Hill.
- Jones, C.I., 1995. Time Series Test of Endogenous Growth Models. *Quarterly Journal of Economics*, 110 (2), mayo, pp. 495-525.
- Maddala, G.S., 1996. *Introducción a la econometría*. Segunda edición. México: Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.

- Mankiw, N.G., Romer, D. y Weil, D.N., 1992. A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107, mayo, pp. 407-37.
- Pyndick, R.S. y Rubinfeld, D.L., 2001. *Econometría, modelos y pronósticos*. 4a edición. México: McGraw-Hill.
- Porter, M.E., y Stern, S., 2000. Measuring the 'Ideas' Production Function: Evidence from international patent output. NBER, Working Paper no. 7891.
- Prettner, K. y Trimborn, T., 2012. Demographic Changed and R&D-based Economic Growth: Reconciling theory and evidence. Center for European, Governance and Economic Development Research, Discussion papers no. 139, septiembre.
- Romer, P.M., 1990. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98, pp. 71-102.
- Romo, A. y Hill, P., 2006. Los determinants de las actividades tecnológicas en México. Centro de Investigación y Docencia Económicas, Documento de Trabajo en Ciencia y Tecnología no. 06-01, pp. 1-63.
- Savvides, A. y Zachariadis, M., 2003. International Technology Diffusion and TFP Growth. [manuscrito] Oklahoma: Oklahoma State University, Department of Economics.
- Scherer, F.M., 1982. Inter-Industry Technology Flows and Productivity Growth. *The Review of Economics and Statistics*, 64, pp. 627-34.
- Schultz, P. 1983. Transaction Costs and the Small Firm Effect: A comment. *Journal of Financial Economics*, 12 (1), pp. 81-8.
- Verbič, M., Majcen, B., Ivanova, O. y Čok, M., 2011. R&D and Economic Growth in Slovenia: A Dynamic General Equilibrium Approach with Endogenous Growth. *Panoeconomicus*, 58 (1), marzo, pp. 67-89.
- Zachariadis, M., 2003. R&D, Innovation, and Technological Progress: A test of the Schumpeterian framework without scale effects. *Canadian Journal of Economics*, 36(3), pp. 566-686.

ANEXO

El cálculo del stock de conocimientos A se hace utilizando el método de inventario permanente referido por García, Jaumandreu y Rodríguez (1998):

$$K_{it} = (1 - \delta)K_{it-1} + R_{it-1} \quad [A1]$$

ecuación en la cual K_{it} es el stock de conocimientos del año anterior; R_{it-1} , los gastos en I+D en $t-1$, y δ , la tasa de depreciación del capital de conocimiento. Esta expresión supone que el gasto actual en I+D se transforma en conocimiento útil con un rezago de un año.

Entonces, para obtener el stock de conocimientos recursivamente de la expresión [1] es necesario enfrentar dos cuestiones. Primero, hacer referencia a la necesidad de calcular el stock de conocimientos para el primer año. Suponiendo que el año inicial es t , podemos partir de la relación

$$K_{it} = R_{it-1} + R_{it-2}(1-\delta) + R_{it-3}(1-\delta)^2 + \dots + R_{it-s}(1-\delta)^{s-1} \quad [A2]$$

donde s es el número de años que el ente económico ha realizado gastos en I+D. Así pues, suponiendo que los gastos en I+D fueron constantes en todos los años anteriores a t , tenemos que:

$$K_{it} = R_i \left[(1 + (1-\delta) + (1-\delta)^2 + \dots + (1-\delta)^{s-1}) \right] \quad [A3]$$

Por lo tanto, el stock de conocimientos inicial es:

$$K_{it} = R_i \delta^{-1} \left[1 - (1-\delta)^s \right] \quad [A4]$$

Así pues, el stock de conocimientos inicial se puede calcular con la expresión [4], considerando a s como el número de años en que se han realizado gastos en I+D y a R_i como el gasto promedio en I+D en un determinado periodo de análisis.