

Innovación tecnológica como mecanismo para impulsar el crecimiento económico

Evidencia regional para México

Fecha de recepción: 09.01.2012

Fecha de aceptación: 16.01.2012

Humberto Ríos Bolívar
Escuela Superior de Economía,
Instituto Politécnico Nacional
hrios@ipn.mx

Juan Marroquín Arreola
Escuela Superior de Economía,
Instituto Politécnico Nacional
juanmarro@gmail.com

Resumen

El objetivo de este artículo es analizar el papel que juega la innovación tecnológica en la dinámica del crecimiento económico regional en México. Para tal propósito se utiliza un modelo que involucra una función de innovación y una función de producción para establecer el nivel de interacción entre las variables de innovación y de crecimiento económico. Para el análisis econométrico se utiliza información estadística por entidad federativa, correspondiente al periodo de 1994 a 2008. Se estima un modelo con datos de panel, cuyos resultados muestran que existe un efecto positivo y diferenciado entre variables que incorporan en alguna medida la innovación tecnológica, como son las patentes, el gasto en I+D, entre otros, así como el crecimiento del Producto Interno Bruto.

Palabras clave: innovación, crecimiento endógeno, región, *stock* de conocimientos, investigación y desarrollo.

Clasificación JEL: O10, O30, O47

Technological innovation as a mechanism to boost economic growth. Regional evidence for Mexico

Abstract

The aim of this paper is to analyze the role of technological innovation in the dynamics of regional economic growth in Mexico. For this purpose, a model which involves a function of innovation and a production function to set the level of interaction between the variables of innovation and economic growth is used. For the econometric analysis statistical information by state is used, for the 1994-2008 period. A model is estimated with panel data, with results that show a positive and differentiated effect between variables that incorporate some degree of technological innovation such as patents, R & D expense, among others, as well as Gross Domestic Product (GDP) growth.

Keywords: innovation, endogenous growth, region, stock of knowledge, research and development.

JEL Classification: O10, O30, O47

Introducción

En los últimos años se ha registrado la incorporación masiva de nuevas tecnologías que redefinen completamente no sólo las rutinas innovativas, productivas, comerciales, financieras, etc., sino también la propia forma de vida de una parte de los habitantes en todo el mundo. Las llamadas nuevas tecnologías de la comunicación y la información (TCI) son el núcleo de esta transformación, a la cual hay que sumar otras tecnologías todavía menos avanzadas en su desarrollo, pero también de amplios efectos (biotecnología, nuevos materiales, entre otras).¹

Al mismo tiempo, la dinámica de la competencia capitalista se ha desplazado visiblemente hacia un peso cada vez mayor de las capacidades tecnológicas como determinantes del desempeño económico y la competitividad de empresas y países. Productos y procesos llegan a la obsolescencia de manera cada vez más rápida, y la capacidad de diferenciación y flexibilidad se han convertido en elementos decisivos para la supervivencia en el mercado. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) confirma en sus últimos reportes que estamos ingresando en la era de las economías basadas en el conocimiento (*knowledge-ba-*

¹Véase Antonelli, 1992; ATAS, 1995; Borondo, 2008b; Carlsson, 1995; Fransman, 1991; Freeman, 1995; Freeman y Pérez, 1988; Freeman y Soete, 1997; OECD, 1991; Pérez, 1986; Willinger y Zuscovitch, 1988.

sed economies), las cuales —a su vez— se basan directamente en los procesos de innovación tecnológica, uso de conocimiento y de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (OECD, 1996a).

La relación entre el esfuerzo en I+D, innovación tecnológica y crecimiento económico ha sido estudiada desde dos grandes visiones: en el área de crecimiento económico (macroeconomía) a través de modelos teóricos en los que la innovación tecnológica es un factor endógeno de crecimiento. Se trata de modelos que consideran que la tecnología es un factor de las economías como lo son el capital o el trabajo, y no sólo la forma funcional que establece la relación de estos *inputs* tradicionales con el producto. La otra visión se enfoca en el área de la organización industrial por medio de modelos que pretenden explicar el comportamiento de las empresas en relación con las actividades relacionadas con la innovación (tanto en su generación como en su adopción) en economía de mercado.

En estos dos tipos de modelos, el grado de innovación tecnológica es resultado de la asignación de recursos a la creación y difusión de conocimientos y, por tanto, de las decisiones de los agentes económicos (Borondo, 2008b). La dinámica consiste en que los agentes económicos establecen su función objetiva y comienzan un proceso de óptima asignación de sus recursos escasos para conseguir la maximización de dicha función objetiva. De este modo, el grado de innovación tecnológica que un agente (una empresa o un país) decide es el nivel óptimo, el cual vendrá determinado tanto por la función objetiva como por las restricciones a las que se enfrente. En este artículo, nos centraremos en la primera aproximación a la Economía de la Innovación Tecnológica.

Los avances tecnológicos son considerados como uno de los principales determinantes del crecimiento económico: Pavitt y Soete (1981), Fagerberg (1988) y Dosi *et al.* (1988d) muestran de manera empírica que existe una relación muy estrecha entre estas dos variables. La literatura del crecimiento endógeno centra la atención sobre el cambio tecnológico endógeno para explicar los patrones de crecimiento de las economías mundiales. De acuerdo con estos llamados modelos endógenos de crecimiento, iniciados por Romer (1994), la innovación tecnológica se crea en la investigación y desarrollo (I + D) usando capital humano y el *stock* de conocimientos existentes.

El punto central de estos modelos de crecimiento endógeno plantea que la innovación tecnológica propicia de algún modo el crecimiento económico sostenible, ya

que hay rendimientos constantes a la innovación en términos de capital humano empleado en los sectores de investigación y desarrollo. En este trabajo se analiza el papel que juega la innovación tecnológica en el crecimiento económico regional en México. Para el análisis se utiliza una técnica de datos de panel y los datos de diez regiones de México para el periodo 1994-2006; en particular se tiene interés en determinar en qué medida la inversión en I+D propicia la innovación tecnológica y si un aumento en la innovación conduce a un aumento permanente en el producto interno bruto (PIB) per cápita.

Revisión de la literatura

El propósito de este apartado es proporcionar un ordenamiento de la literatura más significativa que se ha producido recientemente acerca de los determinantes, características y consecuencias de los procesos de innovación y cambio tecnológico. Cabe aclarar que la intención no es presentar una discusión acabada sobre todas las cuestiones vinculadas a dichos temas, sino proponer una guía temática y de lecturas, que ordene los principales campos de debate e indique algunas de las referencias más relevantes actualmente disponibles en cada uno de ellos.²

Si bien no es la intención de este trabajo adentrarse en los debates teóricos internos a nuestra disciplina —la economía— es imposible obviar el hecho de que dentro de ella conviven distintos enfoques conceptuales, cuyas diferencias se extienden, inevitablemente, al área que nos ocupa aquí.

El tratamiento que se hace de la innovación y el cambio tecnológico resulta, a nuestro juicio, menos adecuado y fructífero que los aportes que, desde diferentes perspectivas, han venido realizado desde tiempo atrás varios autores heterodoxos, a los cuales es común ver agrupados —aunque este procedimiento no siempre está justificado— con el nombre de neoschumpeterianos (por referencia a Schumpeter, quien fue uno de los muy pocos economistas de este siglo en hacer de la inno-

²Aunque estas referencias se mencionan a lo largo del texto, cabe destacar aquí algunos de los más influyentes artículos, libros y recopilaciones que tratan de presentar —desde diferentes ángulos— una visión global acerca de la economía de la innovación y que son un punto de partida ineludible para aquellos que deseen adentrarse en dicha área (Dosi *et al.*, 1988d; Dosi, 1988a; Edquist, 1997; Freeman, 1975 y 1994; Freeman y Soete, 1997; Heertje, 1984; Landau y Rosenberg, 1986; Lundvall, 1992; Nelson, 2007; OECD, 1992; Rosenberg, 1979a y 1982; y Stoneman, 1995).

vación una preocupación central dentro de su esquema de pensamiento) o evolucionistas.³

Es necesario advertir, en consecuencia, que la mayor parte de la literatura a la que hacemos referencia aquí se ubica dentro, o en las cercanías, de estos enfoques heterodoxos que, de todos modos, parecen comenzar a permear el pensamiento dominante en economía, tal como lo muestran los borradores del próximo informe sobre el desarrollo mundial (*World Development Report*), muy influyente publicación del Banco Mundial que en su edición del próximo año se dedicará al tema del cambio tecnológico.

La sociedad capitalista ha desarrollado distintos métodos para garantizar la propiedad privada de los beneficios de la innovación. Probablemente el más conocido de ellos es el sistema de patentes que, por otro lado, intenta balancear la apropiabilidad perfecta por tiempo limitado con la apertura (*disclosure*) pública de su contenido, la cual garantizaría, luego de su expiración, la difusión de sus beneficios. La evidencia muestra, sin embargo, que no siempre son las patentes el medio empleado para proteger las innovaciones.

Levin *et al.* (1987) presentan los resultados de una amplia encuesta realizada en los EE.UU. sobre los métodos empleados para apropiarse de los resultados de la innovación industrial. Además de las patentes, aparecen el secreto comercial, el tiempo de desarrollo de las nuevas tecnologías (*lead time*), la rapidez en moverse a lo largo de la curva de aprendizaje y los servicios *post* venta. La relevancia de los distintos métodos varía según la industria y el tipo de innovación considerada. Al mismo tiempo, en otros trabajos se han señalado otras formas de protección de los retornos de la innovación; por ejemplo, las marcas, el acaparamiento de insumos críticos, el control de canales de distribución, la publicidad y la presencia de economías de escala.

Por otro lado, como señalan David y Foray (1996), desde el punto de vista social importa el poder distributivo (*distribution power*) de un sistema de innovación, lo cual apunta a facilitar una eficiente distribución y utilización del conocimiento

³Entre los trabajos más representativos de este enfoque figuran Dosi *et al.* (1988d) y Nelson y Winter (1982). Para una revisión de sus objetivos y conceptos básicos véase Burgueño y Pittaluga (1994), Clark y Juma (1988), López (1996) y Nelson (1995).

científico y tecnológico disponible en la sociedad. Si por una parte esto implica, por ejemplo, estimular las interacciones entre ciencia y tecnología, también supone que los mismos medios que se usan para asegurar un mayor retorno privado de las actividades innovativas pueden disminuir el poder distributivo del sistema. En consecuencia, puede surgir un *trade-off* entre apropiabilidad —que favorecería una mayor acumulación de nuevo conocimiento— y poder distributivo —que favorecería que ese conocimiento sea socialmente más útil.

A su vez, Levin *et al.* (1987) señalan que no siempre un fortalecimiento de la apropiabilidad privada lleva a acelerar el ritmo de surgimiento de las innovaciones y, cuando lo hace, esas innovaciones pueden tener a nivel social un costo excesivo. Otras referencias relevantes: Dasgupta (1988), Foray (1997), Griliches (1990), Primo Braga (1990) y Teece (1987).

La relación positiva entre la innovación y el crecimiento del producto ha sido confirmada por estudios internacionales que utilizan datos de panel tales como Frantzen (2000) y Griffith, Redding y Reenen (2001). También hay fuerte evidencia de que las externalidades de los países industrializados a los países en desarrollo tienen efectos positivos sobre el crecimiento (Coe, Helpman y Hoffmaister, 1995; Griffith, Redding y Reenen, 2001). En un estudio más reciente Zachariadis (2003) compara el efecto de la innovación sobre la producción manufacturera y agregada y encuentra que el efecto de la innovación es mucho mayor para la producción agregada que para el sector manufacturero. Porter y Stern (2000) utilizan datos agregados de patentes para examinar los efectos de la innovación y encuentran que la innovación se relaciona de manera positiva con el capital humano y el *stock* de conocimientos. También encuentran que existe una relación significativa entre la innovación y el crecimiento del producto.

El eje central de estos modelos reside en que la innovación tecnológica permite un crecimiento económico sostenible debido a que son constantes los retornos a la innovación en términos de capital humano empleado en el sector de I+D. El análisis empírico de esta relación se lleva a cabo habitualmente a partir de la estimación de una función de producción en la que se incluye como variable explicativa el capital tecnológico también llamado *stock* de conocimientos (Romer, 1990). Este *input* facilita la generación de nuevas ideas en las empresas, las cuales pueden revertir en un mayor crecimiento de acuerdo con los modelos de crecimiento endógeno.

Por su parte, los modelos basados en I+D, introducido por Romer (1986, 1990) y Grossman y Helpman (1991) dan un paso más al incorporar la competencia imperfecta en los modelos de crecimiento. Estos modelos se basan en tres sectores: el sector de la producción final, el sector de los bienes intermedios y el sector de I+D. El sector de I+D utiliza capital humano para producir nuevas ideas y diseños; después de crear estas ideas las vende al sector de bienes intermedios; éste a su vez patenta estas nuevas ideas y obtiene los derechos de monopolio exclusivo de producir los nuevos productos diseñados por estas ideas; posteriormente, vende estos productos intermedios al sector de la producción final. El sector de I+D es el sector clave en estos modelos para el crecimiento sostenible.

Generalmente, los estudios empíricos de estos modelos implican probar el efecto de las variables de I+D sobre el crecimiento de la productividad. Borondo (2008b) examina los modelos de crecimiento basados en I+D utilizando un modelo de series de tiempo; sin embargo, no encuentra ninguna evidencia de un aumento en el crecimiento de la productividad de los factores a pesar de un continuo aumento de la tasa de crecimiento del número de ingenieros y científicos. Este autor argumenta que dicho resultado es evidencia de los rendimientos decrecientes en la producción de nuevos conocimientos.

Coe, Helpman y Hoffmaister (1995) usan un modelo multipaís para examinar los efectos de derramas de I+D de países industrializados a países en vía de desarrollo sobre el crecimiento de productividad total de los factores. Ellos usan datos para 77 países en vía de desarrollo durante el periodo de 1971-1990 y encuentran que hay derramas sustanciales de I+D de países desarrollados a países en vías de desarrollo. Estas derramas tienen un efecto positivo y significativo sobre la productividad total de factores de países en vías de desarrollo.

Aghion y Howit (1998) proveen razones que justifican por qué un incremento en la tasa de crecimiento del número de ingenieros y científicos no provocó un aumento correspondiente en el crecimiento de la productividad. En primer lugar, la creciente complejidad de la tecnología hace que sea necesario aumentar la I+D con el tiempo justo para mantener el tipo de invención constante para cada producto; en segundo lugar, como el número de productos incrementa, una innovación en un producto afecta directamente una menor proporción de la economía y, por lo tanto, tiene menor efecto indirecto proporcional en las existencias totales de los conocimientos. Estos mismos autores también argumentan que en vez de usar el número de ingenieros y científicos ocupados en los sectores de I+D, la fracción de

PIB asignada a I+D debería ser usada probar la implicación de modelos basados en I+D. Ellos prueban la implicación de modelos basados en I+D usando datos sobre gastos de I+D como una fracción del PIB para Estados Unidos y concluyen que en Estados Unidos los modelos de I+D confirman la teoría de crecimiento endógena en lugar de contradecirla.

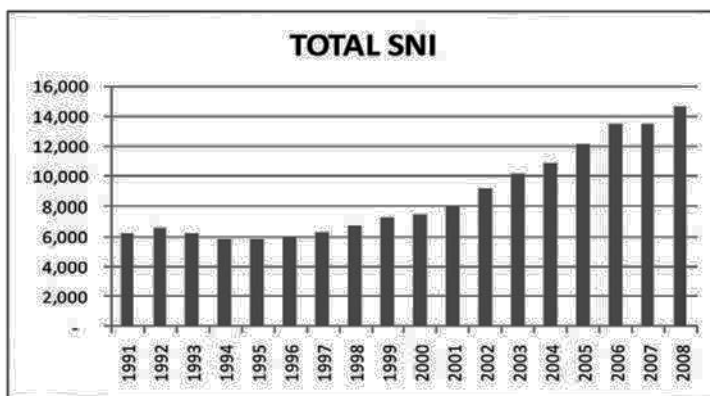
La relación existente entre I + D y el crecimiento de la productividad en algunos países ha sido también confirmada por los estudios que utilizan datos de panel internacionales, tales como Frantzen (2000) y Griffith, Redding y Reenen (2001). Zachariadis (2003) compara el efecto de la I+D sobre la producción agregada y la producción manufacturera, y él considera que el efecto de la I+D es mucho mayor para la economía global que para el sector manufacturero.

De acuerdo con Aboites y Dutrénit (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. Germán-Soto *et al.* (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. Con el fin analizar la pertinencia de la intervención pública, en este artículo realizamos estimaciones empíricas del papel que juega la formación de capital humano en el proceso de innovación y de ésta innovación tecnológica en la determinación del crecimiento del PIB per cápita regional utilizando técnica de datos panel para el periodo 1994-2006, debido a la disposición de la información.

Aspectos descriptivos

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 anterior se puede observar en la gráfica 1.

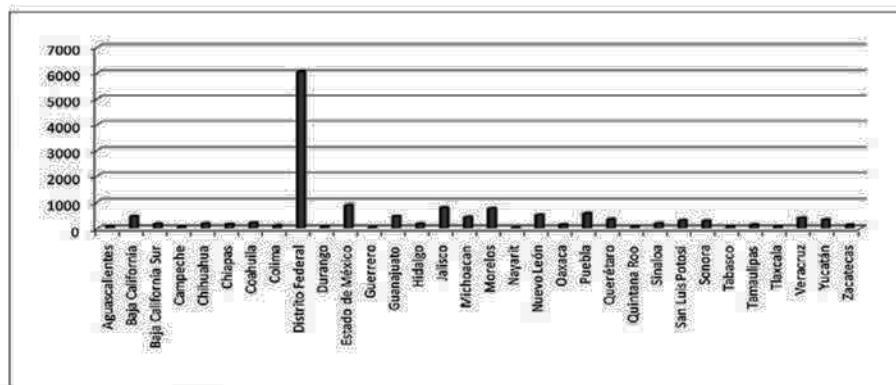
Gráfica 1
Total de integrantes del Sistema Nacional de Investigadores (SNI)



Fuente: elaboración propia con base en los datos de Conacyt.

En cuanto en el nivel regional, específicamente en cada estado de la República, el número de SNI del Distrito Federal con respecto al resto de los estados es muy evidente, lo cual refleja claramente la concentración de las actividades de investigación y desarrollo.

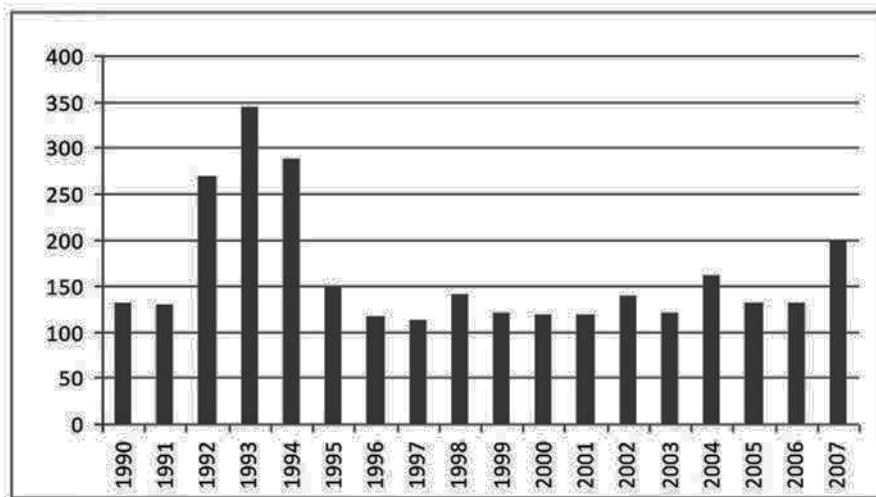
Gráfica 2
Total de integrantes del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) por estado



Fuente: elaboración propia con base en los datos de Conacyt.

Las dos graficas anteriores muestran la formación de capital humano de alto nivel, ya que dichos investigadores son la materia prima para realizar proceso de innovación. Michael Porter señala que el nivel de la innovación de una región puede estimarse con la cantidad de patentes generadas. De acuerdo con Porter, en México el nivel de innovación se muestra mediante las patentes concedidas en el periodo 1990-2007, como se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfica 3
Patentes concedidas en México, 1990-2007



Fuente: elaboración propia con base en los datos de Conacyt.

Por otra parte, en el nivel estatal la diferencia en patentes solicitadas del Distrito Federal con respecto al resto de los estados es muy grande, tal y como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1
Patentes solicitadas por entidad de residencia del inventor (1997-2006)

Entidad federativa	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Aguascalientes	8	4	3	3	2	2	6	5	8	5
Baja California	6	9	11	4	4	6	0	0	3	3
Baja California Sur	1	1	1	0	0	0	7	3	1	1
Campeche	0	0	1	1	0	0	0	0	4	1
Chiapas	0	1	0	0	1	0	0	2	1	6
Chihuahua	2	5	9	9	11	17	18	27	15	24
Coahuila	16	14	13	7	10	11	32	26	18	17
Colima	2	4	1	5	8	5	2	4	3	2
Distrito Federal	143	148	181	166	215	206	167	179	212	181
Durango	0	0	1	1	3	2	0	1	2	7
Estado de México	49	70	44	64	55	59	52	58	56	61
Guanajuato	9	10	15	12	23	13	26	22	9	14
Guerrero	1	0	1	1	1	0	0	0	2	3
Hidalgo	6	12	1	2	2	3	3	1	4	3
Jalisco	21	25	33	39	41	51	40	59	66	72
Michoacán	1	5	2	3	4	7	1	10	5	5
Morelos	27	15	14	11	11	10	10	14	10	17
Nayarit	2	1	0	1	1	1	1	0	0	0
Nuevo León	56	47	38	27	66	44	44	66	75	81
Oaxaca	2	3	3	2	5	2	2	4	5	1
Puebla	11	15	16	19	14	15	14	22	15	11
Queretaro	17	15	24	19	12	17	10	22	21	11
Quintana Roo	0	0	2	1	1	3	2	3	1	5
San Luis Potosí	3	4	10	8	9	7	3	4	3	9
Sinaloa	3	6	3	8	7	8	3	5	7	2
Sonora	3	2	3	4	7	7	1	3	5	10
Tabasco	3	3	1	5	2	3	3	5	7	1
Tamaulipas	7	6	4	3	8	7	3	7	10	6
Tlaxcala	0	0	0	0	0	2	1	0	0	2
Veracruz	10	9	5	4	8	8	2	5	7	6
Yucatán	3	3	4	2	1	5	9	8	5	3
Zacatecas	0	1	0	0	1	1	4	0	4	0
Sin clasificar*	8	15	11	0	1	4	2	0	0	4
Total	420	453	455	431	534	526	468	565	584	574

Fuente: elaboración propia con base en los informes de actividades del IMPI, 2006, 2005 y previos
* Para 2006 corresponde a solicitudes realizadas por mexicanos con domicilio en el extranjero

La regionalización debe incluir el conjunto de indicadores cualitativos y cuantitativos que expresen la realidad del territorio. La utilidad máxima de la regionalización es ser la herramienta perfecta para la planificación del territorio —ordenamiento territorial— a partir de la suma de estados y municipios que definan la regionalización socioeconómica funcional del país.

Debido a que no existe uniformidad de criterios con respecto a un esquema exacto de lo que es la región económica y la regionalización, en esta investigación la regionalización propuesta se ha efectuado a partir de criterios de nivel de ingreso y especialización productiva tomadas por Aboites y Dutrénit (2003). De esta forma se obtienen diez regiones para expresar la dinámica territorial del país.

Cuadro 2
Regiones económicas

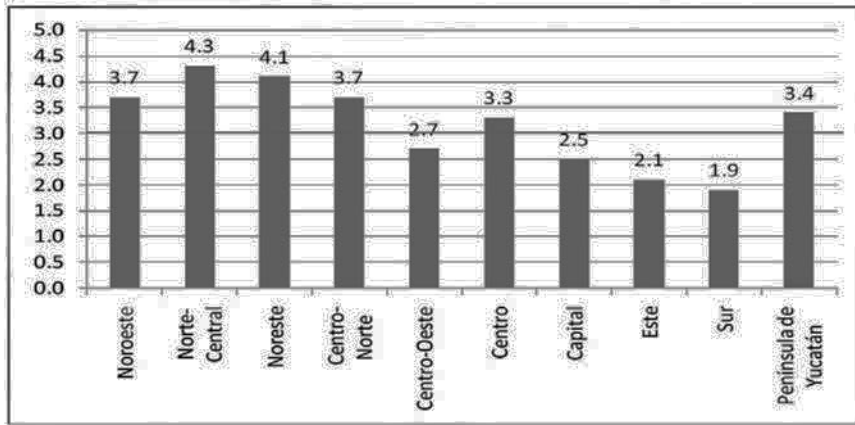
Región	Estados	Región	Estados
Región noroeste	Baja California	Región sur	Chiapas
	Baja California Sur		Guerrero
	Sonora		Oaxaca
	Sinaloa		
Región norte-central	Chihuahua	Región capital	México
	Coahuila		Distrito Federal
Región noreste	Nuevo León	Región este	Veracruz
	Tamaulipas		Tabasco
Región centro-norte	Aguascalientes	Región península de Yucatán	Campeche
	Durango		Quintana Roo
	San Luis Potosí		Yucatán
	Zacatecas		
Región centro-oeste	Colima	Región centro	Hidalgo
	Guanajuato		Morelos
	Jalisco		Puebla
	Michoacán		Querétaro
	Nayarit		Tlaxcala

Fuente: elaboración con base en Aboites y Dutrénit, 2003

El crecimiento económico regional es producto, por un lado, del distinto peso y dinámica que tienen los sectores productivos en la economía local —componente de estructura sectorial— y, por el otro, de la propia competitividad que registra la actividad en la región de referencia —componente de competitividad—, entre otros factores.

En la siguiente gráfica se puede observar las diferentes tasas de crecimiento del producto interno bruto (PIB) por cada región en el periodo de 1993 a 2006.

Gráfica 4
TMCA del PIB regional 1993-2006



En la gráfica anterior se puede observar cómo la región norte central es la que presentó el más alto crecimiento; además, es la región sur la que registra el menor crecimiento. Como se acaba de observar, existen diferentes niveles tasas de crecimiento económico debido a una diversidad en cuanto a la actividad económica desarrollada en cada región. Es importante mencionar que se omiten gráficas de las otras variables y sólo se presentan las anteriores debido a que las otras son las variables complementarias y no quisiéramos ahondar en su análisis.

Los datos relativos a las variables tales como producto interno bruto (Y), la formación bruta de capital fijo (FBKF), salario medidos en unidades monetarias y la inversión en investigación y desarrollo (I+D) se obtuvieron de Inegi, Conacyt y la Secretaría del Trabajo y Previsión Social; mientras que el *stock* de capital tecnológico se calcula utilizando el método de inventario permanente de la siguiente manera, tomando como referencia a García *et al.* (1998):

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

Donde K_{it} es el capital tecnológico 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 capital tecnológico recursivamente de la expresión (1) es necesario hacer referencia a la necesidad de calcular el *stock* de capital tecnológico para el primer año; suponiendo que el año inicial es t , podemos partir de la relación

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

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

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

Por lo tanto, el *stock* de capital tecnológico inicial es

$$K_{it} = R_i \delta^{-1} \left[1 - (1-\delta)^s \right] \quad (4)$$

De esta manera, el capital tecnológico inicial se puede calcular con la expresión (4), considerando s como el número de años en que se han realizado gastos en I+D y R_i como el gasto promedio en I+D en un determinado periodo de análisis.

Fundamento del análisis empírico

El modelo empírico construido está basado sobre el modelo de crecimiento de Romer (1990). Este modelo se basa en tres partes: 1) el crecimiento se basa en el cambio tecnológico; 2) el cambio tecnológico surge como resultado de acciones intencionales que toman las personas que responden a los incentivos del mercado; 3) planos (diseños) para la fabricación de nuevos productos no son rivales; es decir, que puede ser replicado sin costo adicional. El modelo tiene tres sectores: el sector de investigación y desarrollo (I+D), el sector de bienes intermedios y el sector de bienes finales. El producto final es producido de acuerdo con una función de producción Cobb-Douglas

$$Y(H, L, x) = H_Y^\alpha L^\beta \int_0^\infty x(i)^{1-\alpha-\beta} di \quad (5)$$

Donde H, L, x son el capital humano, el trabajo y bienes durables, respectivamente. Cada bien durable es producido por un monopolio en el sector de bienes

intermedios usando η unidades de consumo sacrificado y el diseño de ese bien durable comprado al sector I+D. La creación de nuevos diseños en el sector I+D evoluciona de acuerdo con la siguiente ecuación

$$\dot{A} = \delta H_A^\theta A \quad (6)$$

Donde H_A es el total de capital humano en el sector I+D, A es el *stock* de conocimientos y \dot{A} son los nuevos diseños (innovación). El postulado más importante del modelo Romer que conduce a un crecimiento económico sostenible es el hecho de que la producción de nuevos productos es lineal en el capital humano empleado en el sector I+D y *stock* de conocimientos (i.e, $\theta = 1$). Esto tiene dos implicaciones: dedicar más capital humano para la investigación conduce a una mayor tasa de producción de éstos; cuanto mayor es el *stock* de diseños y conocimientos, mayor será la productividad de un ingeniero que trabaja en el sector de la investigación.

Después que un nuevo diseño se produce, entra en la economía en dos formas diferentes: un nuevo diseño permite la producción de un nuevo bien intermedio que se puede utilizarse en la producción del producto; también incrementa el *stock* total de conocimientos y la productividad del capital humano en el sector de investigación. El capital total evoluciona de acuerdo con la siguiente ecuación

$$\dot{K}_t = Y_t - C_t \quad (7)$$

Debido a que toma η unidades de consumo sacrificado para crear una unidad de cualquier tipo de bien durable, esta medida de contabilidad de K está relacionado con los bienes duraderos que son realmente utilizados en la producción según la siguiente regla

$$K = \eta \sum_{i=1}^{\infty} x_i = \eta \sum_{i=1}^A x_i \quad (8)$$

Además, debido a la simetría en el modelo, todos los bienes durables disponibles son suministrados en el mismo nivel y pueden ser denotados como x . Puesto que A determina el rango de bienes duraderos que se pueden producir, y puesto que η unidades de producto se requieren por unidad de bienes duraderos, es posible despejar x de la ecuación $K = \eta Ax$. Posteriormente, sustituyendo $x = K / \eta A$ en la función de producción de la ecuación (5) da lugar a la forma final de la función de producción en el modelo de Romer

$$Y(H_Y, L, x) = (H_Y A)^\alpha (LA)^\beta (K)^{1-\alpha-\beta} \eta^{\alpha+\beta-1} \quad (9)$$

Los incrementos en los rendimientos a escala se elevan tanto en los sectores de I+D como en el de bienes finales porque ambos sectores usan *stock* de conocimientos no rival, A , como insumo. A entra en el sector de I+D directamente e indirectamente en el proceso de producción de bienes finales a través de los desbordamientos de los conocimientos. La implicación más importante de este modelo es que los países puedan alcanzar un crecimiento económico perpetuo mediante el fomento del sector I+D y la inversión en capital humano.

De lo dicho anteriormente, es muy importante probar que los avances tecnológicos juegan un papel importante en la explicación, el largo plazo, el crecimiento económico, así como la formación de capital humano juega un papel importante en la generación de innovación. La teoría del crecimiento endógeno visualiza que los esfuerzos orientados a la innovación responden a los incentivos económicos como un importante motor del progreso tecnológico y el crecimiento de la producción.

Este esfuerzo adopta la forma de inversión en capacidad tecnológica, que es la capacidad de hacer un uso eficaz de los conocimientos tecnológicos y generar beneficios indirectos considerables.

Especificación econométrica

En primer lugar, se utiliza un modelo de regresión lineal para estimar la función de innovación porque se pretende explicar el comportamiento de la innovación en función del *stock* de conocimientos; posteriormente, se utiliza un modelo de datos panel debido a la limitada información existente con respecto a nuestras variables mencionadas anteriormente, razón por la cual también se utiliza una división regional con objeto de tener una mayor cantidad de datos; además de que algunas de las ventajas de usar datos en panel son: a) se toma en cuenta y controla la heterogeneidad individual; b) da más información. Las variaciones de los datos pueden descomponerse en: variaciones entre empresas, estados o individuos (Gujarati, 2004); asimismo, permite analizar los efectos individuales específicos y los efectos temporales.

El análisis empírico, que abarca el periodo 1994-2006, utiliza los datos oficiales publicados; además, cubre diez regiones de México, las cuales a su vez están integradas por diferentes números de estados.

Retomando la ecuación de la creación de nuevos diseños o innovación

$$\dot{A} = AH^\theta \quad (10)$$

Los resultados del flujo de innovación o patentes creadas \dot{A} dependen de la cantidad de capital humano que se destina a la investigación H , y del *stock* de conocimientos A . Si aplicamos logaritmos para linealizar la ecuación tenemos

$$\ln \dot{A} = \ln A + \theta \ln H \quad (11)$$

A esta ecuación se le agregan otras variables como el nivel de escolaridad superior y el producto interno bruto, debido a que la sola ecuación posee un alto grado de significatividad. Estas variables ayudan a obtener un modelo más significativo aparte de tener una relación de causalidad de acuerdo con la prueba de causalidad de Granger que se muestra en el cuadro 3, donde la probabilidad menor a 0.05 indica que sí existe causalidad entre las variables.

Cuadro 3
Prueba de causalidad de Granger

	stockt causa a patentes	SNI causa a patentes	ES causa a Patentes	PIB causa a patentes
Probabilidad	0.00000	0.00000	0.00000	0.06783

El modelo por estimar es de la siguiente forma

$$\ln Innovacion_t = \alpha + \beta \ln stockct_t + \theta \ln H_t + \phi \ln ES_t + \varphi \ln PIB_t + \varepsilon_t \quad (12)$$

Donde $\ln ES$ y $\ln PIB$ representan al nivel educativo superior y al producto interno bruto.

Asimismo, el modelo utilizado para probar impacto de la innovación en crecimiento del producto deriva de una manera convencional, pues se da a partir de una

función de producción en la que se incluyen la variable patentes del modelo anterior como proxy de innovación para medir el impacto que genera en el crecimiento económico todo el aprendizaje derivado de la acumulación de conocimientos y los efectos asociados a ella, donde se incluye el valor de las externalidades que son los efectos de conocimientos tecnológicos de las regiones más cercanas.

Para estimar esta función, adoptamos una extensión de la función de producción Cobb-Douglas

$$Y_{it} = A_{it} L_{it}^{\alpha} K_{it}^{\beta} S_{it}^{\delta} R_{it}^{\gamma} E_{it} \quad (13)$$

Luego aplicando logaritmos a la ecuación (13) tenemos la siguiente ecuación de regresión

$$y_{it} = a_{it} + \alpha l_{it} + \beta k_{it} + \delta s_{it} + \gamma r_{it} + e_{it} \quad (14)$$

Donde

y_{it} es el crecimiento del PIB per cápita

l_{it} es salario

k_{it} es el la formación bruta de capital

s_{it} es la innovación

r_{it} es la externalidad

e_{it} es el termino de error

j representa la región 1,2,...,5

t representa el tiempo 1,2,...,13

Análisis de resultados de la estimación econométrica

Los resultados de la estimación econométrica del modelo de la ecuación (14) se muestran a continuación.

Cuadro 4
Resultados de la estimación del modelo de innovación

Parámetro	Valor estimado	Probabilidad
α	8.355058	0.5628
β	2.373431	0.0383
θ	1.535938	0.0000
Φ	-0.994580	0.0009
$\hat{\Phi}$	-1.564445	0.0062
R^2	0.8100	
σ	0.0823	
$\varepsilon' \varepsilon$	0.0949	
DW	1.7659	

El cuadro 4 muestra los resultados de la estimación del modelo de innovación. En la primera columna se muestran los parámetros, en la segunda el valor estimado de dichos parámetros y en la tercera columna el valor de la probabilidad al 95% de confianza. El modelo muestra una bondad de ajuste de 0.81. Los resultados de los parámetros β y θ ; esto es, del *stock* de conocimientos y la cantidad de capital humano dedicado a la investigación son los esperados de acuerdo con la teoría del crecimiento endógeno; es decir, son significativos con un efecto positivo en la generación de innovaciones.

Cuadro 5
Resultados de la estimación del modelo de producción

VARIABLES	MCO	MEF	MEA
Fbkfp	-0.4159977 (0.0000)	0.0311349 (0.0000)	0.029616 (0.0000)
Salario	0.5485608 (0.0000)	0.1723671 (0.0000)	0.1829905 (0.0010)
Innovación	-0.1614715 (0.0010)	0.0206109 (0.0000)	0.0192227 (0.0000)
Externalidades	-1.33814 (0.0050)	0.369835 (0.0000)	0.3135413 (0.0000)
Constante	21.19938 (0.0000)	3.5689 (0.0000)	4.955378 (0.0000)
F (p-value)	0.0000		
LM (p-value)	0.0000		
Hausman (p-value)		0.8007	
Observaciones	480	480	480
R^2	0.21	0.30	0.30

El intervalo superior corresponde al valor del coeficiente y el intervalo inferior en paréntesis corresponde al valor de la probabilidad..

El cuadro 5 muestra las estimaciones econométricas de la función de producción mediante datos del panel aplicado para las diez regiones económicas antes mencionadas. La primera columna muestra la estimación en mínimos cuadrados ordinarios; la segunda, la estimación mediante efectos fijos (EF), el cual supone que las diferencias entre regiones no son aleatorias; y en la tercera, la de efectos aleatorios (EA) que supone que las diferencias entre regiones son aleatorias.

Para determinar cuál de estos tres modelos es mejor, tenemos que compararlos aplicando determinadas pruebas; por ejemplo, para elegir entre el modelo de mínimos cuadrados ordinarios y el modelo de efectos fijos aplica la prueba F, que en este caso tiene un valor de probabilidad menor a 0.05, lo cual indica que el modelo de efectos fijos es preferido. Asimismo, la prueba LM arroja una probabilidad menor a 0.05, lo cual indica que el modelo de efectos aleatorios se prefiere al de mínimos cuadrados y para elegir entre efectos fijos y aleatorios se aplica la prueba Hausman, que en este caso arroja un valor mayor a 0.05, motivo por el cual el modelo el modelo de efectos aleatorios es mejor.

Los resultados en la estimación con efectos fijos y el incremento en el PIB per cápita provocado por la innovación es de 0.02%. En esta regresión, el coeficiente de la externalidad es positivo y significativo; en cuanto a las otras dos, llámese fbkfp y salario, sus coeficientes también son positivos y significativos. Por lo que respecta a la regresión con efectos aleatorios el incremento de 1% en la innovación provoca también un 0.02% de incremento en el PIB per cápita. De igual modo la fbkfp y el salario son positivos y significativos; por su parte, la externalidad también es positivo y significativo.

Como se puede constatar, los resultados arrojados por la estimación econométrica muestran que en las regiones aquí estudiadas los resultados son consistentes con lo mencionado anteriormente de acuerdo con lo predicho por los modelos de crecimiento endógeno, ya que la innovación indica que la mayor dotación de ésta tiene efectos positivos y significativos en el PIB per cápita.

Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue analizar el papel que juega la innovación tecnológica en la determinación del crecimiento económico regional. Se utilizó un modelo econométrico de MCO para estimar la función de innovación; asimismo, se utilizan datos panel sobre el PIB per cápita, la fbkfp, el salario, la innovación y

las externalidades en el periodo 1993-2008 para estimar la función de producción Cobb-Douglas ampliada.

De los resultados que se obtienen en este trabajo queda claro que los postulados de los modelos de crecimiento endógeno se cumplen significativamente para el caso de México. Los resultados econométricos de la función de innovación proporcionan evidencia empírica suficiente del papel relevante del *stock* de conocimientos en la generación de innovaciones, situación que es postulada por los modelos de crecimiento endógeno.

Asimismo, el análisis obtenido de las evaluaciones empíricas de la función de producción permite verificar que la incorporación de innovaciones tecnológicas en el proceso productivo impacta de manera positiva en el crecimiento del PIB per cápita en el nivel regional; estos efectos no son los suficientemente significativos para lograr un crecimiento sostenido suficiente debido a los impactos que son muy pequeños, como lo muestran los resultados de la estimación econométrica.

Sin embargo, los resultados reflejan claramente el resultado obtenido por Romer (1990), donde encuentra una relación positiva entre el aumento en el gasto en I+D y el crecimiento económico, deduciendo que la participación de agentes económicos en las actividades de investigación y desarrollo sí está generando condiciones favorables que influyen positivamente en el crecimiento económico. Por lo tanto, se puede concluir que las políticas gubernamentales encaminadas hasta ahora a la generación de nuevas innovaciones tecnológicas no han logrado tener una contribución importante para hacer crecer la economía a un mayor ritmo, lo cual debe llevar a un estudio profundo para verificar las causas de por qué la innovación que se realiza no está contribuyendo de manera significativa al crecimiento económico.

Referencias

- Aboites, J. y G. Dutrénit (2003). *Innovación, aprendizaje y creación de capacidades tecnológicas*. México: Miguel Ángel Porrúa-Universidad Autónoma Metropolitana.
- Aghion, P. y P. Howitt (1992). A model of growth through creative destruction, *Econometric* 60 (2): 323-351.

- (1998). *Endogenous growth theory*. Cambridge: MIT Press.
- Antonelli, C. (ed.) (1992a). *The economics of information networks*. Amsterdam: North-Holland.
- (1992b). *The economics of localised technological change: the evidence from information and communication technologies*. Departamento de Economía de la Universidad de Turín.
- ATAS (Advanced Technology Assessment Systems) (1995). *Information Technology for development*, Issue 10, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), Ginebra.
- Borondo, C. (2008a). *La innovación en la literatura reciente del crecimiento endógeno*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- (2008b). Una estimación de la ‘función de producción de ideas’ en España. Principios. *Estudios de Economía Política* 10: 43-63.
- Burgueño, O. y L. Pittaluga (1994). El enfoque neoschumpeteriano de la tecnología. *Quantum* 1 (3).
- Cantwell, J. y S. Iammarino (2003). *Multinational corporations and european regional. Systems of Innovation*. Londres: Routledge.
- Carlsson, B. (1995). *Technological systems and economic performance: the case of factory automation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Clark, N. y C. Juma (1988). Evolutionary theories in economic thought. En G. Dosi *et al.* (eds.). *Technical change and economic theory*. Londres: Pinter Publishers.
- Coe, D., E. Helpman y A. Hoffmaister (1995). North-south R&D spillovers. NBER *Working Paper* No. 5048 (march), CEPR *Working Paper* No. I 133 (february) and IMF *Working Paper* No. 941144 (december).
- Dasgupta, P. (1988). Trust as a commodity. En D. Gambetta (ed.). *Trust, making and breaking cooperative relations*. New York: Basil Blackwell: 49-72.

- David, P. A. y D. Foray (1996). Information distribution and the growth of economically valuable knowledge: a rationale for technological infrastructure policies. *Technological Infrastructure Policy Economics of Science, Technology and Innovation* 7: 87-116.
- Dosi, G. (1988a). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, junio 11 (3).
- (1988b). Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, septiembre.
- (1988c). The nature of the innovative process. En G. Dosi *et al.* (eds.). *Technical Change and Economic Theory*. Londres: Pinter Publishers.
- , C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg y L. G. Soete (eds.) (1988d). *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter.
- Edquist, C. (1997). Systems of innovation approaches-their emergence and characteristics. En C. Edquist (ed.). *Systems of Innovation-Technologies, Institutions and Organizations*. Londres: Pinter Publishers/Cassell Academic.
- Fagerberg, J. (1988). Why growth rates differ. En G. Dosi *et al.* (eds.). *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter: 432-457.
- Foray, D. (1997). The dynamic implications of increasing returns: Technological change and path dependent inefficiency. *International Journal of Industrial Organization*, october 15 (6): 733-752.
- Fransman, M. (1991). Biotechnology: generation, diffusion and policy. An interpretative survey. The United Nations University/INTECH. *Working Paper* 1.
- Frantzen, D. (2000). Innovation, international technological diffusion and changing influence of R&D on productivity. *Cambridge Journal of Economics* 24: 193-210.
- Freeman, C. (1975). *La economía de la innovación industrial*. Madrid: Alianza.

- (1994). The economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics*, october 18 (5): 463-514.
- (1995). Innovation in a new context. *Science Technology Industry Review* 15.
- (1997). The ‘national system of innovation’ in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics* 19 (1): 5-24.
- y C. Pérez (1988). Structural crises of adjustment, business cycle and investment behaviour. En G. Dosi *et al.* (eds.). *Technical Change and Economic Theory*. Londres: Pinter Publishers.
- y L. Soete (1997). *The economics of industrial innovation*. 3a., ed. Massachussets: The MIT Press.
- García, A., J. Jaumandreu y C. Rodríguez (1998). Innovation and jobs at the firm level. Programa de Investigaciones Económicas. Fundación Empresa Pública. Documento de trabajo no. 9810.
- Germán-Soto, V., L. Gutiérrez y S. Tovar (2009). Factores y relevancia geográfica del proceso de innovación regional en México, 1994-2006. *Estudios Económicos* 24 (2): 225-248.
- Griffith, R., S. Redding y J. van Reenen (2001). Mapping the two faces of R&D: productivity growth in a panel of OECD industries. *CEPR Discussion Paper* 2457.
- Griliches, Z. (1990). Patent statistics as economic indicators: a survey. *Journal of Economic Literature* 28: 1661-1707.
- Grossman, G. M. y E. Helpman (1991). *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Gujarati, D.N. (2004). *Econometría*, 4a. ed. México: McGraw Hill.
- Heertje, A. (1984). *Economía y progreso técnico*. México: Fondo de Cultura Económica.

- Howitt, P. (2000). Endogenous growth and cross-country income differences. *American Economic Review* 90: 829-46.
- Landau, R. y N. Rosenberg (1986). *The positive sum strategy. Harnessing technology for economic growth*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Levin, R., W. Cohen y D. Mowery (1985). R&D appropriability, opportunity and market structure: new evidence on some schumpeterian hypotheses. *American Economic Review Proceedings* 75.
- , A. Klevorick, R. Nelson y S. Winter (1987). Appropriating the returns from industrial research and development. *Brooking Papers on Economic Activity* 3.
- López, A. (1996). Las ideas evolucionistas en economía: una visión de conjunto. *Revista Buenos Aires Pensamiento Económico (RBA)* 1.
- Lundvall, B., (1992). *National systems of innovation. Towards a theory of innovation and interactive learning*. Londres: Pinter Publishers.
- Nelson, R. (1995). Recent evolutionary theorizing about economic change. *Journal of Economic Literature*, marzo, 33: 48-90
- (2007). *Understanding technical change as an evolutionary process*. Amsterdam: Elsevier.
- y S. Winter (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press.
- OECD (1991). *Technology and productivity. The challenge for economic policy*. París: OECD.
- (1996a). *Science, technology and industry outlook*. París: OECD.
- (1996b). La innovación tecnológica: definiciones y elementos de base y la difusión de tecnología. *Redes. Revista de Estudios Sociales de la Ciencia* 3 (6 y 8).

- Pavitt, K. y L. Soete (1981). International differences in economic growth and the international location of innovation. En H. Giersch (ed.) (1982). *Emerging technologies: consequences for economic growth, structural change and employment*. Tubingen: J.C.B. Mohr.
- Pérez, C. (1986). Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto. En C. Ominami (ed.). *La tercera revolución industrial*. Buenos Aires: Grupo Editor Latinoamericano.
- Porter, M. y S. Stern (2000). Measuring the 'ideas' production function: Evidence from International Patent Output. NBER *Working Paper* 7891.
- Primo Braga, C.A. (1990). U.S. Policies and the Prospects for Latin American Economic Integration. En W. Baer y D. C. Coes (eds). *United States Policies and the Latin American Economics*. New York: Praeger: 153-168.
- Ríos, H. y J. Marroquín (2008). Educación y crecimiento económico por entidad federativa en México: un análisis de panel. *Economía*, abril-junio 1 (18): 7-31.
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy* 94 (5): 1002-1037.
- (1990). Endogenous technological change. *The Journal of Political Economy*. 1. 98 (5). Part 2: The problem of development: a conference of the Institute for Study of Free Enterprise System: S71-S102.
- (1994). The origins of endogenous growth. *Journal of Economic Perspectives* 8.
- Rosenberg, N. (comp.) (1979a). *Economía del cambio tecnológico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- (1979b). Problems in the economist's conceptualization of technological innovation. En N. Rosenberg. *Perspectives on technology*. Cambridge: University Press.

————— (1982). *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Stoneman, P. (ed.) (1995). *Handbook of the economics of innovation and technological change*. North Holland: Blackwell.

Teece, D. (ed.) (1987). *The competitive challenge. strategies for industrial innovation and renewal*. Cambridge: Ballinger

Willinger, M. y E. Luscovitch (1988). Towards the economics of information-intensive production systems: the case of advanced materials. En G. Dosi *et al.* (eds.). *Technical change and economic theory*. Londres: Pinter Publishers.

Zachariadis, M. (2003). R&D, Innovation and technological progress: a test of the schumpeterian framework without scale effects. *Canadian Journal of Economics* 36 (3): 566-686. 