

## Efectos de la capacidad innovadora en el crecimiento económico. Análisis comparativo entre países desarrollados y en desarrollo

Jesús Armando Ríos Flores\*

Miriam Liliana Castillo Arce\*

Resumen: en este estudio se presenta un análisis sobre los efectos de la capacidad innovadora en el crecimiento económico, con una muestra de 27 países en el periodo 2000-2010, mediante un modelo de panel dinámico, segmentando entre países desarrollados y en desarrollo. Con el fin de robustecer las mediciones dadas las desigualdades estructurales entre países, se contemplan tres indicadores de innovación; dos tradicionales: el gasto en investigación y desarrollo y las patentes, y uno sintético, la capacidad innovadora. Este último es el que tiene mayor impacto en el ingreso. Por otro lado, el modelo diferenciado indica que en los países desarrollados todas las variables presentan efectos positivos consistentes y similares, mientras que ninguna resulta significativa para los que están en vías desarrollo.

Palabras clave: patentes; investigación y desarrollo; capacidad innovadora; crecimiento; panel dinámico; heterogeneidad estructural.

\* Estudiantes del doctorado en ciencias económicas de la Facultad de Economía y Relaciones Internacionales de la Universidad Autónoma de Baja California. Ave. Universidad 14418, Otay Universidad, Tijuana, Baja California, México. Teléfono (664) 979 7500. Correos electrónicos: lic.ja.rios@gmail.com / licmlca@gmail.com

**Abstract:** this study analyzes the effects of innovative capacity on economic growth in a sample of 27 countries between 2000-2010, using a dynamic panel model and segmenting between developed and developing countries. In order to strengthen the measurements, given the structural inequalities between countries, three innovation indicators are considered: two traditional (spending on research and development and patents), and one synthetic (innovative capacity). Results show the latter has a greater impact on income than traditional indicators. Furthermore, the differentiated model indicates that in developed countries all variables have consistent and similar positive effects, while in developing countries none are significant.

**Key words:** patents; research and development; innovative capacity; growth; dynamic panel; structural heterogeneity.

## Introducción

En la nueva economía global del conocimiento, las capacidades de innovación y aprendizaje constituyen una fuente para el aumento en productividad, competitividad y crecimiento (Sener y Saridogan 2011). La atención que en la actualidad recibe la innovación se debe a un cambio aparentemente radical en los cimientos técnicos y económicos. Por ejemplo, en 1990 el periodo de transición entre el concepto y la producción en la industria automotriz demoraba seis años, mientras que ahora este proceso toma cerca de dos (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OECD 2001). Es decir, el ciclo de investigación-invento-innovación se ha ido reduciendo en los últimos años, lo que ha generado una dinámica productiva internacional acelerada.

La tecnología siempre ha existido en el pensamiento económico, aunque fue con Solow (1957) cuando empezó a cobrar relevancia en las discusiones teóricas, debido a su participación en el crecimiento y su origen exógeno. Si bien esta fue la visión prevaleciente, no tuvo

respuestas satisfactorias ante el paradigma productivo actual (Fagerberg et al. 2010). Ante las críticas de la exogeneidad, se inició la carrera por clarificar el contenido de la “caja negra” de la economía contenida en el “residuo”, que Solow denominó cambio técnico. Al tratar de despejar los interrogantes sobre el residuo, se empiezan a construir sistemas que endogenizan la tecnología, con lo que generan modelos con tasas de crecimiento positivas por periodos largos (Sala-i-Martin 2000).

La lógica que subyace en los modelos endógenos es que el gasto en investigación y desarrollo (GIDE) y el capital humano fomentan el progreso tecnológico, en el sentido de que al disponer de un número mayor de bienes y servicios, o aumentar la calidad de los existentes, a través del mejoramiento de los procesos productivos, se generan ventajas competitivas que incentivan el crecimiento continuado. Se ha comprobado que para los países desarrollados, como Estados Unidos o Japón, la probabilidad de que las patentes y el GIDE se trasformen en innovaciones efectivas son más amplias (Griliches 1979; Krammer 2009), por lo que estos dos indicadores se utilizan en una gran cantidad de estudios de innovación y crecimiento para economías desarrolladas (Lebel 2008; Luintel y Khan 2009; Khan et al. 2010; Hassan y Tucci 2010; y Marroquín y Ríos 2012).

En los países en vías de desarrollo, la evidencia sobre el binomio innovación-crecimiento no ha sido contundente, ya que se ha mostrado un estancamiento en innovación, puesto que el incremento en el GIDE no ha generado los resultados esperados (Confederación Empresarial de Madrid, CEIM 2001; Ríos y Castillo 2013). Además, se ha encontrado que la innovación con impactos económicos y productivos relevantes tiende a estar concentrada en pocos países (Furman et al. 2002). Muestra de lo anterior es que 70.2 por ciento de las solicitudes de patentes provienen de los miembros de la OECD; además, son los que destinan más recursos a investigación y desarrollo (I+D), con un promedio de 2.5 por ciento del producto interno bruto (PIB) entre el año 2000 y 2010 (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, OMPI 2012).

A diferencia de las investigaciones sobre innovación y crecimiento realizadas por Lebel (2008), Luintel y Khan (2009), Khan et al. (2010), Hassan y Tucci (2010), entre otros, en este trabajo se considera a la innovación en un sentido más agregado, mediante la ca-

pacidad innovadora (CI), definida como la capacidad de producción, adquisición y asimilación tecnológica ligada a un espacio determinado, reflejo de las condiciones, inversiones y políticas que sustentan el proceso innovador. La CI captura el efecto del sistema nacional de innovación y su productividad. Considerar de forma independiente los enfoques de insumo y resultado restringe la visión del proceso innovador, que se caracteriza por ser dinámico y sistémico (Nelson y Winter 1982). El análisis también se generaliza para un conjunto de países en vías de desarrollo, que suelen tener estructuras económicas e institucionales débiles y heterogéneas.

El objetivo central de este artículo es estimar el efecto de la CI en el crecimiento económico. Puesto que los indicadores tradicionales, como el GIDE o las patentes, varían sustancialmente entre países, tanto en el grado de novedad, la orientación tecnológica como en el impacto comercial, aquí el propósito secundario es generar un indicador sintético agregado, que capture en forma envolvente la CI y, con ésta, la productividad de los sistemas nacionales de innovación de los diferentes países. La hipótesis de esta investigación es que el indicador de la CI tiene efectos positivos en el crecimiento económico, que serán más en los países desarrollados; y además, superarán a los producidos por los tradicionales, como las patentes y el GIDE, ya que estos últimos están condicionados por los incentivos económicos y el entorno institucional.

El documento se organiza en cinco secciones, en la primera se presenta una revisión teórica y empírica sobre la economía del cambio técnico, que se centra en la “caja negra” de la innovación y el crecimiento. En la segunda se refieren los datos de la CI, las patentes, el GIDE, la inversión y el PIB per cápita de los países que componen la muestra. En la tercera se explica la metodología, la cual consiste en la estimación de un modelo empírico de datos de panel dinámico con variables instrumentales. En la cuarta y quinta se presenta el análisis de resultados y las conclusiones.

## La caja negra del cambio técnico

La innovación constituye uno de los elementos más importantes del análisis económico; está estrechamente vinculada con el cambio

técnico, y se generaliza mediante una función de producción, para expresar las transformaciones que se generan en el proceso productivo, con las combinaciones del trabajo y el capital (Sala-i-Martin 2000). Sin embargo, este modelo debe analizarse tomando en cuenta las limitaciones siguientes: a) al considerar el cambio tecnológico neutral, se asume a todos los agentes económicos como iguales, aun cuando las capacidades industriales son muy diferentes, aunque tengan el mismo conocimiento, los resultados serán distintos (CEIM 2001); b) el cambio técnico, como variable exógena, restringe la posibilidad de que dentro de las propias empresas se puedan llevar a cabo procesos de innovación y desarrollo que beneficien los procesos productivos (Romer 1990).

Por lo general, la innovación se debe a dos circunstancias previas: a) el efecto en el incremento del conocimiento (Romer 1990) y b) la difusión y asimilación de éste (Metcalfé 2002). Si bien la primera situación es tal vez más fácil de medir, a través del número de patentes o cualquier otro recurso de la propiedad intelectual, la segunda presenta serias dificultades al ser de carácter subjetivo, pues depende del grado de integración del mercado y de las diversas formas de su difusión. En este sentido, la innovación va más allá de la I+D, en la medida en que comprende todas las fases científicas, técnicas, comerciales y financieras necesarias para el desarrollo y la comercialización con éxito de productos nuevos o mejorados (Krammer 2009).

En el plano microeconómico, un descubrimiento científico o una idea creativa es innovación en el momento en que se utiliza para resolver un problema concreto (Barbosa et al. 2014). Por otro lado, en el plano macroeconómico, el cambio tecnológico está presente cuando las mejoras en una empresa se convierten en mejoras para un sector industrial o para la economía en general, lo que se liga directamente con la capacidad global de una región, para incorporar con rapidez los nuevos paradigmas tecnológicos al sistema económico (Fagerberg et al. 2010).

Los neoclásicos sostienen que la innovación, desde la perspectiva de la I+D, puede generarse de forma inducida mediante incrementos o cambios en la demanda, estructura del mercado o tamaño de la

firma. En este orden de ideas, la innovación se puede concebir por dos caminos: a) *science push*, la generada por el incremento del conocimiento de manera proactiva, para lograr el posicionamiento o la anticipación a los movimientos de mercado y b) *market pull*, la generada de forma reactiva ante los cambios del mercado (Rosenberg 1999). En ambos casos, el efecto innovación-crecimiento se supone lineal, hecho que no ha sido respaldado por la evidencia, en lo que ha dado por llamarse *paradoja de los sistemas de innovación* (CEIM 2001): las regiones que dedican grandes recursos a la innovación no necesariamente logran más innovaciones. De forma similar, al menos en un enfoque microeconómico, se desconoce el impacto posible de los tipos de innovación; pueden existir algunas muy sencillas, con repercusiones trascendentes, y otras bastante complejas cuyos efectos son casi nulos.

Nelson y Winter (1982), Loasby (2001) y Metcalfe (2002), entre varios autores evolucionistas, abordan el tema desde un enfoque sistémico, donde la innovación posee características exógenas y endógenas de forma conjunta, así como rendimientos dinámicos. Por una parte, el efecto endógeno surge del esfuerzo tecnológico de los agentes, mientras su incidencia depende de factores ajenos al agente innovador. Por tanto, los elementos que determinan el efecto de la innovación no son independientes, lo que hace necesario considerar los cambios en la naturaleza del acervo de bienes de capital, en la población activa, en los efectos de escala y en la demanda, como fenómenos que interactúan entre sí. Estos autores poseen una visión global en lo relativo a los rendimientos, asumen que dentro de un mismo set de tecnologías se pueden presentar rendimientos constantes, crecientes y decrecientes dependiendo del periodo de implementación y difusión de las tecnologías entrantes y salientes en las distintas etapas. Esto cuestiona los modelos lineales, *science push* y *market pull*, para transitar a otros interactivos que toman en cuenta la naturaleza de los gastos de I+D y de las iniciativas empresariales, y resaltan las interrelaciones de los agentes y entornos que intervienen en el proceso (Krammer 2009; Autio et al. 2014).

Al abordar el tema de la *paradoja de los sistemas de innovación*, la pregunta indiscutible es ¿qué determina la capacidad de una sociedad en desarrollo para crear e incorporar las tecnologías en la producción,

a fin de alcanzar una mayor productividad? En términos de I+D, los recursos deben ir unidos a la oportunidad de usarlos en operaciones transformadoras, la que dependerá, en parte, de la CI de una economía (Solo 1966). En este sentido, algunos autores evolucionistas trabajan con el concepto de sistemas nacionales de innovación, en el cual la estructura productiva determina las relaciones que se establecen entre sectores y empresas, así como las rutinas prevalecientes en la producción, la distribución y el consumo, mientras el marco institucional genera un sistema de incentivos que modifican las estrategias productivas de los agentes (Lundvall 2010).

A causa de estas diferencias productivas e institucionales, la creación e incorporación de las nuevas tecnologías en la sociedad no desarrollada en ocasiones será antieconómica y técnicamente regresiva, ya que son las particularidades de la economía de los países las que determinan las ventajas económicas de ellas (Solo 1966). En esta línea, el evolucionismo plantea, como objeto de estudio central, la cuestión del cambio económico, mediante tres campos considerados centrales para explicar el desarrollo de las economías modernas: a) las características y comportamientos de las empresas, como los agentes centrales y dinamizadores de ellas (Furman et al. 2002); b) la naturaleza del cambio tecnológico, ya que cada set de tecnologías e industrias son causa y consecuencia de industrias particulares con rendimientos e impactos diferenciados (Nagaoka et al. 2010) y c) el papel de las instituciones, entendidas en un sentido amplio, como límite y, de alguna manera, determinante de los patrones de comportamiento de los agentes económicos (Oster 2000).

En las economías que son capaces de absorber los nuevos paradigmas y trayectorias tecnológicas, se modifica la composición sectorial de su industria y se difunden los cambios al resto de la economía (Cimoli et al. 2005). Por lo que una sociedad, independientemente de la cantidad de información y conocimiento que produzca o reciba de forma externa, no será capaz de traducir esos conocimientos en innovación y en un sendero de desarrollo estable, si no hay vinculación entre el conocimiento codificado y las diversas competencias que se materializan en las empresas y sectores productivos (Furman et al. 2002; Fagerberg et al. 2010).

Los estudios empíricos sobre el crecimiento vía innovación son abundantes y diversos; y en la mayoría de ellos hay una relación positiva, la cual no está sujeta a discusión (Sala-i-Martin 2000; Sener y Saridogan 2011). Uno de los primeros trabajos que desarrolla una función básica de generación de ideas es el de Griliches (1979), quien afirma que ésta depende primeramente del esfuerzo innovador, es decir, de los recursos destinados a la investigación. En trabajos más recientes, Furman et al. (2002), Luintel y Khan (2009) y Khan et al. (2010) han endogenizado la función de generación de ideas con base en la función de Romer (1990) y, aunque han mejorado los métodos de análisis, los resultados se han mantenido.

En términos generales, la evidencia empírica ha respaldado el hecho de que la generación y difusión de las innovaciones se refleja en impactos positivos en el crecimiento, y que su efecto difusor es geográficamente limitado. En las economías en desarrollo, los indicadores de propiedad intelectual no reflejan la CI de estas regiones (Albornoz 2009) debido a que: a) las capacidades tecnológicas y el sistema institucional son endeble; b) el incentivo para patentar es débil y c) muchas de las innovaciones no se registran, ante el temor de la imitación ilegal. En este tipo de entornos, la evidencia empírica respecto a la innovación y el crecimiento ha sido escasa y poco profunda, en el sentido de que se ha partido de modelos lineales de innovación, sustentados en la evidencia generada en las regiones desarrolladas (Ríos y Castillo 2013).

La mayoría de trabajos sobre innovación utilizan como variables de medición las solicitudes de patentes y el GIDE. Sin embargo, esto constituye una limitante seria, porque existe evidencia estadística de que la proporción de patentes concedidas en las regiones en desarrollo es limitada y gran parte de ellas nunca salen al mercado, lo que sobrevalora su efecto (CEIM 2001; Albornoz 2009; Nagaoka et al. 2010). Además, la propensión a patentar es limitada debido a la debilidad institucional, por lo que muchas empresas deciden mantener en secreto sus descubrimientos. En términos del GIDE, el hecho de tener una proporción grande de micro y pequeñas empresas suele distorsionar el indicador, debido a que una parte considerable de ellas realiza algún tipo de GIDE que nunca se registra además de ser, la mayoría de las veces, gasto en cuestiones de innovaciones menores y poco significativas.

## Datos

Para realizar este estudio se seleccionó una muestra de países heterogéneos, en un periodo dinámico, con el fin de contrastar en forma estricta los efectos del binomio innovación-crecimiento. De los 27 países de la muestra, 16 se clasifican como desarrollados, ya que pertenecen a un grupo con ingresos per cápita altos (mayores a 20 mil dólares anuales), y 11 en vías de desarrollo, con percepciones medias-bajas (menores de 20 mil dólares) para el periodo 2000-2010, con datos anuales. El primer grupo está compuesto por Singapur, Estados Unidos, Irlanda, Países Bajos, Canadá, Suecia, Reino Unido, Alemania, Finlandia, Francia, Japón, Italia, España, Israel, Corea y Portugal, el segundo por Polonia, Rusia, México, Chile, Costa Rica, Argentina, Brasil, Colombia, China, Paraguay e India.

En el grupo de los desarrollados se encuentran Estados Unidos, Japón y Alemania, con amplia tradición innovadora, y Singapur y Corea que han alcanzado el desarrollo en un periodo relativamente corto y con una vocación productiva a la alta tecnología. También están Italia, España y Portugal que, a pesar de su ingreso elevado, no se colocan a la vanguardia del cambio tecnológico. En los países en desarrollo el criterio es similar; están aquéllos cuyos periodos de transición tecnológica son largos, como Polonia, Rusia, México y Chile, mientras que Brasil, China e India tienen tasas altas de crecimiento, y han exhibido una fuerte dinámica tecnológica en el sector productivo. El objetivo al seleccionar esta muestra fue contrastar la heterogeneidad productiva y de ingreso, pero con dinámicas tecnológicas crecientes, y con esto capturar el efecto real de la innovación en el nivel de ingreso.

El modelo estándar de crecimiento vía innovación muestra una relación entre el PIB y una proxy de innovación, e incluye una variable de control como la inversión. Las variables consideradas para el modelo aquí propuesto son el PIB per cápita, la inversión —se toman de Heston et al. (2012)—, la CI, las patentes y el GIDE. Tienen la cualidad de que los indicadores son reales y estandarizados por su paridad de poder de compra, por lo que son sujetos de comparación internacional. Por ejemplo, al de patentes, utilizado comúnmente, se le conoce como coeficiente de invención (solicitudes de patentes por cada 10

mil habitantes), sin embargo, si se considera a las solicitudes, esto sobrevalora los indicadores, ya que una gran cantidad de ellas son rechazadas por no cumplir con los estándares de novedad y orientación científica. Por lo anterior, en esta investigación se utiliza el coeficiente de invención modificado, para usar patentes concedidas por oficina y no las solicitadas, ya que además está ajustado por la población, lo que permite obtener un parámetro claro y sujeto de comparación. En tal caso, el número de patentes concedidas se toma de la OMPI (2012) y luego se transforma al nivel poblacional especificado, con información de Heston et al. (2012).

Las estadísticas del GIDE se presentan en términos nominales, por lo que es preciso transformarlas a términos constantes y per cápita, proceso que se realiza en tres pasos: a) se toma el valor nominal del Banco Mundial (2012); b) se transforma a participación en el PIB agregado y c) se multiplica por el PIB per cápita. Por su parte, la CI se construye mediante un modelo factorial de reducción de la dimensión similar a Martínez y Baumert (2003) y Ríos y Castillo (2013). Mediante los factores se construye un indicador sintético según la lógica de que el movimiento de las variables tecnológicas son resultado del producido en el sistema nacional de innovación y, por tanto, de su valorización (véase anexo 1). En la figura 1 aparecen las estadísticas básicas de las variables descritas para cada país.

En la figura 1 se aprecia gran heterogeneidad entre los países, por ejemplo, Singapur tiene el PIB per cápita más alto e India el más bajo, la diferencia es de 40 755.99 dólares; en cuanto a la CI, Singapur es 166 veces mayor. La inversión y el GIDE de Paraguay son pequeños, sin embargo, su CI y la generación de patentes es superior a la de Polonia, Rusia, México o Chile, cuyo GIDE es más elevado. En términos de la CI, Italia, España y Portugal presentan valores significativamente inferiores a todos los de su grupo, al igual que Colombia e India en el de países en desarrollo. En la generación de patentes Japón y Corea son líderes, puesto que su propensión a patentar es muy superior incluso a todos los desarrollados, mientras que los indicadores de España y Portugal son inferiores a los de Rusia y Paraguay, y similares a los de México, Chile, Costa Rica y Argentina.

Figura 1

## Indicadores económicos y tecnológicos

País	Promedio 2000-2010					
	PIB per cápita	CI	Inversión per cápita	Patentes (10 mil habitantes)	GIDE per cápita	
Singapur	43 313.81	654.34	13 167.55	1.49	990.02	
Estados Unidos	41 329.45	472.29	9 451.83	6.96	1 106.83	
Irlanda	37 993.83	401.60	10 192.71	2.07	493.79	
Países Bajos	36 820.84	395.96	7 717.43	1.39	677.41	
Canadá	35 961.05	232.46	8 590.05	1.44	707.59	
Suecia	33 496.27	638.56	6 172.03	3.21	1 223.51	
Reino Unido	33 263.75	338.27	6 064.71	3.07	590.78	
Alemania	32 381.64	257.98	6 828.79	5.90	830.21	
Finlandia	31 941.11	439.40	8 185.41	3.81	1 131.06	
Francia	30 980.43	244.44	6 860.06	2.25	667.16	
Japón	30 910.83	326.60	8 428.01	27.31	1 024.4	
Italia	29 292.53	93.34	7 604.84	1.47	335.79	
España	27 805.06	76.51	8 161.85	0.70	321.52	
Israel	23 757.99	273.57	5 424.56	1.82	1 063.26	
Corea	22 650.52	175.87	8 213.81	22.37	662.51	
Portugal	20 007.05	48.06	5 728.11	0.22	205.93	
Polonia	13 654.63	24.39	2 724.14	0.04	80.75	
Rusia	12 141.28	29.24	2 000.52	1.79	138.58	
México	11 640.66	15.77	2 666.78	0.45	47.47	
Chile	10 941.17	18.78	2 837.26	0.21	55.85	
Costa Rica	10 150.14	21.70	2 463.36	0.23	40.07	
Argentina	9 926.38	15.55	1 985.77	0.21	48.66	
Brasil	7 389.32	18.74	1 565.16	0.19	76.7	
Colombia	6 606.23	6.58	1 329.93	0.03	9.97	
China	4 638.95	16.82	1 850.00	0.90	62.64	
Paraguay	3 515.41	46.27	532.69	1.03	2.86	
India	2 557.82	3.93	736.05	0.04	19.38	
Media desarrollados	31 994.13	316.82	7 924.48	2.55*	751.98	
Media en desarrollo	8 469.27	19.79	1 881.06	0.46	52.99	
Muestra total	Media	22 409.93	195.81	5 462.34	1.63*	467.21
	Desviación estándar	12 961.43	202.34	3 397.79	6.45	425.04
	Mínimo	2 557.82	3.93	532.69	0.03	2.86
	Máximo	43 313.81	654.34	13 167.55	27.31	1 223.51

Fuente: Heston et al. (2012); Banco Mundial (2012); OMPI (2012); anexo 1.

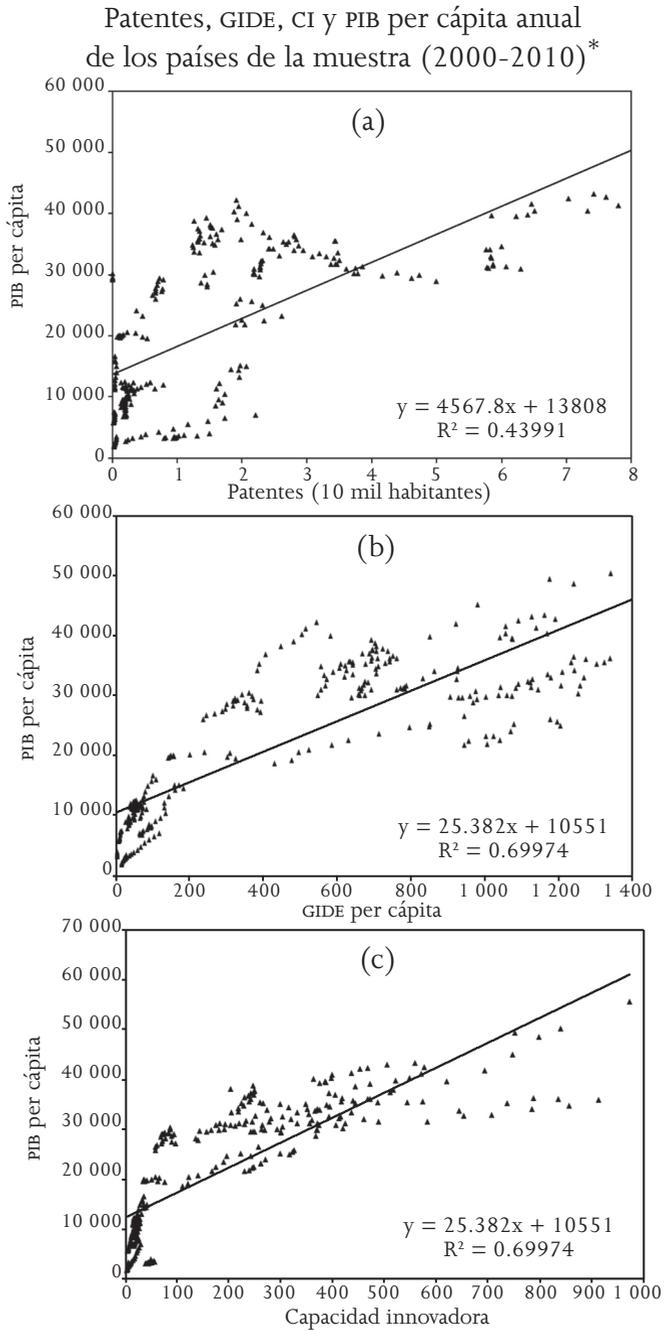
\* Japón y Corea se omitieron por presentar valores atípicos de la muestra, debido a su fuerte propensión a patentar.

Es típico que las patentes y el GIDE se utilicen como proxy de innovación. Pero ambos conceptos son resultado de un conjunto más agregado de indicadores tecnológicos. Con la CI se trata de capturar la dinámica global del sistema de innovación. Al no tener una base sólida de propiedad intelectual, en las empresas que realizan innovaciones en los países no desarrollados hay una probabilidad alta de que no registren sus patentes, como medida estratégica, ante la imitación o que lo hagan en una oficina extranjera (Oster 2000). En la figura 2 se presentan los indicadores tecnológicos con el PIB per cápita, para apreciar su comportamiento de forma generalizada.

En el panel (a) de la figura 2 se aprecia una amplia heterogeneidad en la muestra, dicha sección relaciona la generación de patentes y el PIB per cápita; en el nivel de ingreso medio-bajo los resultados son heterogéneos, mientras que en el alto las patentes concedidas tienen un grado mayor de homogeneidad. El panel (b) muestra el vínculo entre el GIDE y el PIB per cápita, donde la relación es más homogénea que en el caso anterior. Hay un gran conjunto de países de ingresos bajos que invierten pocos recursos en I+D, y a medida que incrementan su ingreso, aumentan el GIDE y viceversa. El panel (c) considera la CI y el PIB per cápita, con un enlace también homogéneo: la CI baja es congruente con los ingresos bajos, mientras que la CI alta lo es con los altos. La particularidad del panel (c) es que las observaciones cercanas al origen presentan una mayor pendiente que el resto, lo que puede indicar que existen efectos diferenciados entre los países. La figura 3 incluye el gráfico de densidad de Kernel, para determinar si existen diferencias muestrales entre los países.

Con el contraste de la figura 1, 2 y 3 se observan desigualdades claras entre los indicadores tecnológicos y el PIB per cápita. En todos los casos al menos hay dos grupos muestrales, por lo que es posible que posean diferencias significativas respecto del efecto de la innovación en el crecimiento económico. Por esta razón, es necesario realizar un ejercicio econométrico para delimitar con mayor precisión dos elementos: a) probar los efectos innovación-crecimiento para los países en conjunto y b) determinar sus repercusiones en ellos, según su grado de desarrollo.

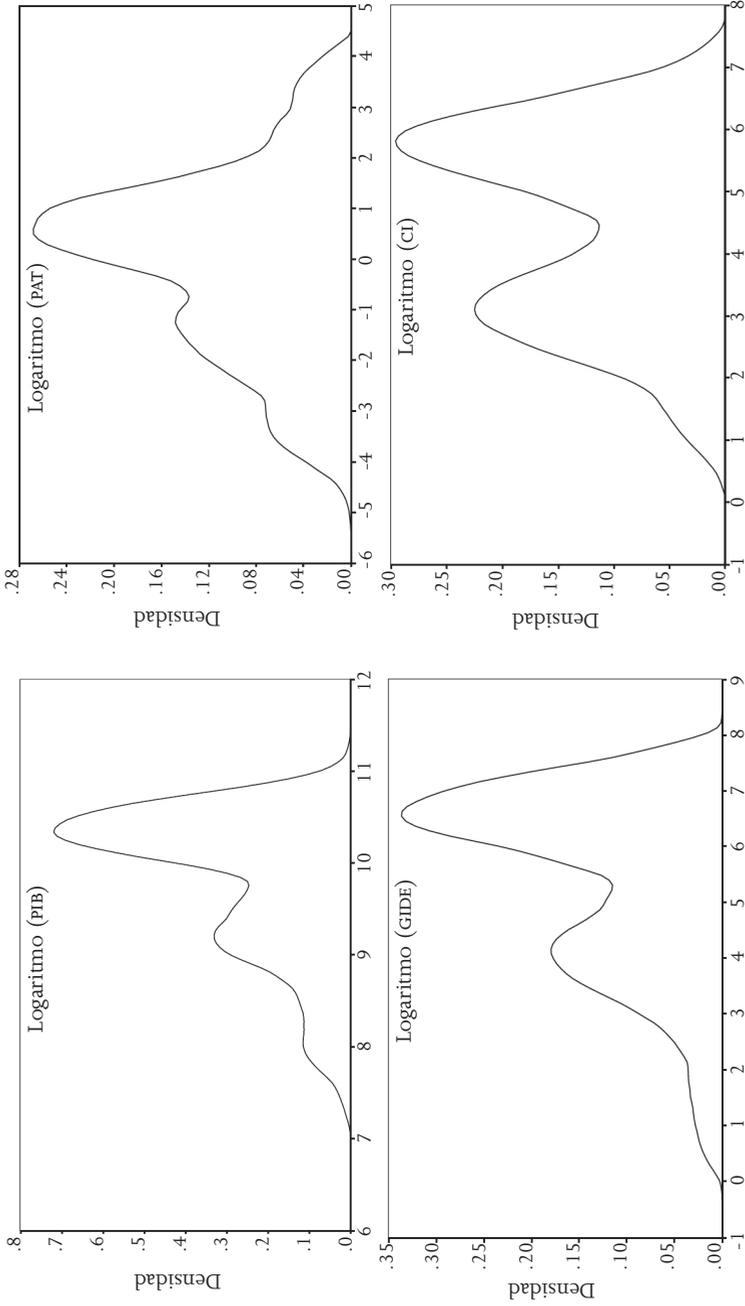
Figura 2



Fuente: Heston et al. (2012); OMPI (2012); Banco Mundial (2012); anexo 1.

\* Para el panel (a) se excluyen Corea y Japón.

Figura 3  
Densidad de Kernel para indicadores económicos y tecnológicos



Fuente: datos anuales de PIB per cápita, las patentes, el GIDE y la CI de países, transformados en logaritmos.

## Especificación del modelo empírico

Los modelos de crecimiento endógeno, como los de Romer (1990), Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitts (1992) teorizan los aspectos relacionadas con el crecimiento a largo plazo y la innovación. En la literatura empírica, Lebel (2008), Luintel y Khan (2009), Khan et al. (2010) y Hassan y Tucci (2010) muestran evidencia para los países desarrollados, de que las patentes y el GIDE tienen una relación positiva con el incremento en la productividad y el crecimiento. La especificación empírica estándar de este tipo de modelos es la siguiente:

$$\ln PIB_{it} = \alpha_{it} + \beta_{1i} \ln PIB_{it-1} + \beta_{2i} \ln Inn_{it} + \varepsilon_{it}$$

donde  $i$  indica la dimensión cruzada,  $t$  el tiempo y  $\alpha_{it}$  captura la variación contemporánea de los efectos fijos. El PIB representa el producto interno bruto, mientras que  $Inn$  indica la innovación, las  $\beta$  las elasticidades de cada variable y  $\varepsilon$  el error.

En esta investigación se genera un modelo donde se relaciona el crecimiento y la innovación. Debido a que los países en desarrollo no cuentan con las mismas capacidades tecnológicas, económicas e institucionales que los desarrollados, aquí la especificación empírica presenta una adecuación. Las fuerzas dinámicas del progreso técnico, que incluyen los cambios en la organización y la tasa de aumento del trabajo suministrado son las que, en último término, rigen la capacidad del sistema para generar crecimiento y ponen los límites a la expansión potencial. Aunque este progreso no se inyecta exclusivamente en el proceso económico, a través de la inversión, que crea la capacidad potencial de producir. El modelo empírico utilizado es:

$$\ln PIB_{it} = \alpha_{it} + \beta_{1i} \ln PIB_{it-1} + \beta_{2i} \ln Inv_{it} + \beta_{\varepsilon it} \ln Pat_{it} * GD_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\ln PIB_{it} = \alpha_{it} + \beta_{1i} \ln PIB_{it-1} + \beta_{2i} \ln Inv_{it} + \beta_{\varepsilon it} \ln GIDE_{it} * GD_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln PIB_{it} = \alpha_{it} + \beta_{1i} \ln PIB_{it-1} + \beta_{2i} \ln Inv_{it} + \beta_{\varepsilon it} \ln CI_{it} * GD_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

donde  $i$  denota los países en la dimensión sección-cruzada, y  $t$  indica el tiempo. La variable principal es la innovación, para la cual se usan variantes como las patentes ( $Pat$ ) en la ecuación (1), el GIDE en la ecuación (2) y la CI en la (3). La variable  $Inv$  señala la inversión, y  $GD$  es un vector de variables *dummies*, que toman el valor de 0 y 1, para denotar el caso de los países desarrollados y en desarrollo. Las variables ligadas a la innovación se presentan en forma multiplicativa para representar el efecto interactivo de los países.

Las ecuaciones (1), (2) y (3) se estiman en el marco de un modelo de panel dinámico. El objetivo de aplicar y estudiar los datos en panel es capturar la heterogeneidad no observable, ya sea entre agentes económicos o de estudio, así como también en el tiempo, ya que esta heterogeneidad no se puede detectar con ejercicios de series temporales o de corte transversal (Hsiao 2003). Esta técnica permite realizar una investigación integral, al incorporar la dimensión temporal de los datos se enriquece el trabajo, sobre todo en periodos de grandes cambios.

El análisis en los modelos de datos de panel se centra en las estimaciones de dos modelos dinámicos: el de efectos fijos y el de componentes de error. En el primero, los problemas de inferencia se centran en la estimación correcta de los parámetros, en ausencia de exogeneidad estricta, mientras que en el segundo caso se enfocan en distinguir la dinámica genuina del sistema (proveniente de la presencia de la variable endógena rezagada) de la provocada por la heterogeneidad inobservable en la perturbación aleatoria.

El modelo dinámico de efectos aleatorios considera un término de error integrado por un componente transversal, y una perturbación aleatoria esférica de la siguiente forma:

$$y_{it} = \alpha + \beta X_{it} + (\eta_i + e_{it})$$

donde  $\eta_i$  es un componente transversal no observable y  $e_{it}$  es el error idiosincrático a cada individuo. Esta composición del error provoca una forma particular de autocorrelación en  $y_{it}$ , que ha sido ampliamente tratada por Hausman (1978); Hansen (1982); Heckman (1997) y Bond (2002), entre otros, por lo que no se ahondará en ella. En este caso se utilizan variables instrumentales (VI), mediante

el empleo del método generalizado de momentos (MGM), cuya finalidad es corregir la autocorrelación serial.

En este estudio se elaboran tres modelos alternativos, que se centran en las modalidades de la innovación, en alguna especificación se utilizan las VI, que en otra aparecen como explicativas. Aquí sólo se agregan las exportaciones en bienes de alta tecnología (EBAT) y la formación bruta de capital fijo (FBCF), como variables instrumentales, la primera correlacionada con las de innovación y la segunda con la inversión.

Las EBAT son productos altamente intensivos en I+D, tales como los de las industrias aeroespacial, informática, farmacéutica, de instrumentos científicos y de maquinaria eléctrica. Por su parte, la FBCF comprende los desembolsos en concepto de adiciones a los activos fijos de la economía, más las variaciones netas en los inventarios; incluye el mejoramiento de los terrenos, la adquisición de plantas, maquinaria y equipo, entre otros; están expresadas en dólares per cápita de 2005, con datos del Banco Mundial (2012) y Heston et al. (2012). Las EBAT, la FBCF y el PIB(-2) se utilizan en todas las especificaciones como VI; en la (1) se suman como instrumentos, ya sea el GIDE o la CI; en la (2), las patentes o la CI y en la (3) se consideran el GIDE y las patentes.

La consistencia de los estimadores del MGM depende de la validez de los instrumentos empleados, para ello se realiza la prueba de sobreidentificación de Sargan (1988), que examina la validez global de los instrumentos analizando los análogos en la muestra de las condiciones de momentos utilizadas en el proceso de estimación.

## Análisis de resultados

En la figura 4 se presentan los resultados de las estimaciones econométricas para las ecuaciones (1), (2) y (3), expresadas en logaritmos en un modelo de panel dinámico con efectos aleatorios; todos fueron positivos y significativos, acordes a lo esperado. De forma similar, los instrumentos se validan por la prueba de Sargan con  $p$  valores mayores que 0.2 y menores que 0.8, lo que garantiza la identificación correcta del modelo.

## Figura 4

Estimación de las ecuaciones (1), (2) y (3)  
sin especificación del nivel de desarrollo

Variable dependiente: PIB per cápita	(1) Todos los países	(2) Todos los países	(3) Todos los países
$\alpha$	0.6110 (0.1229)	0.5750 (0.1147)	0.9261 (0.1979)
PIB (-1)	0.850 (0.017)	0.859 (0.0163)	0.777 (0.0319)
Inv	0.1052 (0.0166)	0.0861 (0.0126)	0.133 (0.0134)
Pat	0.0155* (0.009)		
GIDE		0.0181* (0.009)	
CI			0.0364 (0.0153)
$R^2$	0.9924	0.9956	0.9893
Sargan	0.2541	0.4338	0.6368

Fuente: elaboración propia.

Nota: entre paréntesis se presentan los errores estándar. Todos los coeficientes son significativos a 5%.

\* Significancia a 10%.

VI: en la especificación (1) son PIB (-2), GIDE, FBCF y EBAT; en la (2) son PIB (-2), PAT, FBCF y EBAT y en la (3) son PIB (-2), GIDE, FBCF y EBAT.

En las tres especificaciones anteriores las variables resultan significativas. La dinámica del PIB contemporáneo se explica por el efecto de arrastre del PIB del periodo anterior, entre 78 y 85 por ciento. En el caso de la inversión se genera un impacto de entre 8.6 y 13. Para las variables de innovación, el efecto más sobresaliente es el de la CI, con aproximadamente el doble que las patentes, y el GIDE. El impacto de la CI es de 3.6 por ciento mientras que el de las patentes y el GIDE es de 1.5 y 1.8 en el PIB, acorde a la evidencia internacional. Con la especificación (3), tanto la inversión como la CI tienen un impacto mayor que la (1) y (2). Esto se debe a que al considerar variables tecnológicas más amplias, que consideren términos de resultados comerciales y científicos, es posible caracterizar de manera más completa la dinámica innovadora de los países.

En términos generales, la evidencia de la figura 4 valida el binomio innovación-crecimiento propuesto por Solow (1957), Romer (1990) y Lebel (2008), entre otros. De forma similar, los resultados son consistentes con las propuestas de Nelson y Winter (1982) o Albornoz (2009), al asumir que los indicadores de propiedad intelectual no reflejan, en todos los casos, la CI de una región. Además, la heterogeneidad económica e institucional concibe retos importantes en la consideración del efecto que la capacidad tecnológica demuestra en el PIB, por lo que es interesante plantear esta diferenciación entre países.

El sesgo característico de los trabajos empíricos con panel es que colocan a los países en vías de desarrollo junto a los desarrollados, por lo que la mayoría de sus estimaciones son positivas y significativas, de forma similar a las incluidas en la figura 4. El objetivo de este trabajo consiste en estimar los efectos diferenciados, al presentar una clara segmentación entre ambos grupos de países. En la figura 5 se revelan los resultados de las estimaciones de manera similar a la figura 4, con el nivel de desarrollo de los países. Este procedimiento se realiza multiplicando las variables relacionadas con la innovación por la *dummy* ligada al nivel de ingreso porque, por un lado, se intenta capturar la interacción en la variable respecto a los países seleccionados y, por el otro, es necesario para que el modelo funcione de manera correcta, y evitar así la singularidad de la matriz.

Las especificaciones que contemplan únicamente a los países desarrollados muestran significancia en todas las variables, mientras en las que incluyen sólo a los que están en desarrollo, ninguna ligada a la innovación resulta significativa. El estadístico de Sargan valida los instrumentos y la especificación del modelo. Al distinguir por el nivel de ingresos de los países, el efecto de arrastre que ejerce el PIB del periodo anterior representa entre 84.5 y 89.9 por ciento, valores similares al modelo sin diferenciación. Por otro lado, el efecto de la inversión se encuentra entre 6.5 y 11.1 por ciento, al especificar las diferencias de ingresos.

En los países desarrollados, todas las variables de innovación trascienden en sentido positivo y significativo; los resultados de este trabajo concuerdan con la evidencia internacional. El efecto diferencial relevante respecto a los resultados de la figura 4 es el de la CI, ya

Figura 5

Estimación de las ecuaciones (1), (2) y (3) con especificación de nivel de desarrollo

Variable dependiente: PIB per cápita	(1a) Países desarrollados	(1b) Países en desarrollo	(2a) Países desarrollados	(2b) Países en desarrollo	(3a) Países desarrollados	(3b) Países en desarrollo
$\alpha$	0.446 (0.051)	0.461 (0.065)	0.609 (0.138)	0.419 (0.096)	0.656 (0.128)	0.528 (0.138)
PIB (-1)	0.874 (0.012)	0.860 (0.014)	0.857 (0.017)	0.899 (0.018)	0.845 (0.017)	0.894 (0.013)
Inv	0.095 (0.012)	0.111 (0.012)	0.094 (0.013)	0.071 (0.016)	0.100 (0.0127)	0.065 (0.019)
Pat*pd	0.016 (0.008)					
Pat*ped		0.007 <sup>+</sup> (0.005)				
GIDE*pd			0.008 (0.004)			
GIDE*ped				-0.006 <sup>+</sup> (0.004)		
ci*pd					0.011 (0.004)	
ci*ped						-0.015 <sup>+</sup> (0.01)
$R^2$	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Sargan	0.679	0.681	0.381	0.476	0.467	0.455

Fuente: elaboración propia.

Nota: entre paréntesis se presentan los errores estándar. Todos los coeficientes son significativos. La <sup>+</sup> denota no significancia; pd representa los países desarrollados y ped indica países en desarrollo.

VI: en la especificación (1a) son el PIB (-2), CI, FBCF y EBAT; en la (1b), el PIB (-2), PAT (-1), FBCF y EBAT; en la (2a) y (2b) son el PIB (-2), PAT, FBCF y EBAT y en la (3a) y (3b), el PIB (-2), GIDE, FBCF y EBAT.

que disminuye de 3.64 a 1.1 por ciento. Por su parte, en los países en desarrollo ninguna especificación posee variables de innovación importantes para la consecución del PIB. En los desarrollados, los impactos de las medidas de innovación oscilan alrededor de 1 por ciento, por lo que en ellos es indistinta la utilización de cualquier especificación. Para los países en desarrollo, incluso el indicador

agregado no resulta significativo para entender los movimientos del PIB, lo que indica que éstos se deben a efectos no relacionados directamente con las capacidades tecnológicas.

Una diferencia clara entre los países desarrollados, como líderes tecnológicos, es que cuentan con industrias ligadas a la ciencia, y que permiten crear productos de base tecnológica cuyo rendimiento es mayor, ya que poseen más elasticidad de precios, y así pueden apropiarse de rendimientos crecientes de un set de tecnologías en cualquier vector de precios. En el caso de los países en desarrollo, como seguidores tecnológicos, la situación es muy distinta. Por un lado poseen industrias de baja y media tecnología, lo que limita la dinámica al no tener capacidad de absorción de las tecnologías entrantes, conversión que realizan en periodos posteriores, cuando la elasticidad de precios es menor por efecto de mercado.

Con el contraste mostrado en las figuras 2, 4 y 5 se argumenta, de forma similar a lo planteado por Nelson y Winter (1982), Loasby (2001) y Metcalfe (2002), la no linealidad de la innovación y el crecimiento a favor de modelos interactivos no lineales. Las etapas iniciales de acumulación tecnológica no parecen tener efectos significativos en el ingreso, pero tienden a incrementarse con la maduración de éstas, hasta llegar a un punto crítico donde la competencia en nuevo conocimiento se intensifica, y deprecia de manera acelerada a las nuevas tecnologías y al impacto respectivo en el crecimiento. En términos del sistema nacional de innovación y, de forma similar, a lo propuesto por Solo (1966), Lundvall (2010) y, en general, la corriente evolucionista, las particularidades productivas y tecnológicas de una región son las que determinan las ventajas económicas de la innovación.

El tipo de actividades que se realicen en una sociedad y el de bienes que se produzcan determinan el desempeño económico. Esto se favorece cuando se expanden las empresas que enfrentan demandas dinámicas, las de mayor productividad y efecto multiplicador y las que generen empleos de más calidad. Sin duda, el tamaño de la empresa es importante, sobre todo por el contexto en que se encuentre la economía, pero la intensidad tecnológica determina su impacto y supervivencia.

## Conclusiones

Los resultados muestran una segmentación clara en el efecto de la innovación en los países con dotaciones diferentes de recursos. De forma similar, la innovación, vista desde un espacio más amplio, permite observar que su incidencia es mayor para todo el conjunto de países de la muestra, lo que deja ver un posible efecto no observado, quizá relacionado con la colaboración internacional de generación de tecnología, incluso por el de la deslocalización productiva de una gran cantidad de empresas multinacionales. En este sentido, se acepta la hipótesis de que la capacidad innovadora tiene impactos positivos y significativos en el crecimiento.

Si bien el efecto de la CI para el conjunto de los países de la muestra es mayor que el del resto de variables tecnológicas, con la segmentación de los países hay efectos directos, diferenciados de acuerdo con la dotación de factores. Es posible suponer que en las etapas iniciales del desarrollo productivo, el crecimiento económico fomenta el tecnológico, al permitir que las regiones destinen más recursos a los temas científicos, pero sin que haya repercusiones en el nivel de vida. En las etapas posteriores del desarrollo, la innovación es fundamental para mantener el crecimiento, al generar un nuevo set de tecnologías que sostengan la producción de bienes y servicios en el segmento de rendimientos crecientes, para cualquier vector de precios.

Los resultados generados en términos de países se pueden generalizar para el análisis del binomio innovación-crecimiento en los entornos regionales internos, donde las diferencias pueden ser amplias, así como para el análisis sectorial donde existe una variedad de industrias que se encuentran a la vanguardia en la producción y aplicación de las tecnologías, tanto en regiones con sistemas nacionales de innovación fuertes como débiles, cuyos resultados podrían ser contrastantes por las condiciones del entorno. La rápida transformación de la economía mundial hacia las “sociedades basadas en el conocimiento” amplía la importancia de las vinculaciones y eslabonamientos tecnológicos interfirma, y hace que los agentes dependan cada vez más, para su supervivencia y desarrollo, de su inserción en redes más amplias de generación y difusión del conocimiento y las innovaciones. A su vez, en las regiones no desarrolladas, el debili-

tamiento del tejido industrial y la ruptura de los encadenamientos implican limitaciones que inciden en las posibilidades de incursionar en el terreno de la innovación, lo que reduce las opciones disponibles en el campo de la especialización y la diferenciación de productos para incentivar el crecimiento.

El espacio entra en juego en la función de producción y en las decisiones estratégicas que toman los agentes para la creación y utilización de las tecnologías, lo que sin duda influye en el impacto que la innovación genera en un país, debido a la multidireccionalidad que domina las relaciones de interdependencia entre empresas y regiones. Esta línea de investigación ha sido poco explorada, por lo que en el futuro sería interesante profundizar en los efectos espaciales y la no linealidad entre crecimiento e innovación.

Recibido en marzo de 2014

Aceptado en agosto de 2014

## Bibliografía

- Aghion, Phillippe y Peter Howitts. 1992. A model of growth through creative destruction. *Econometrica* 60 (2): 323-351.
- Albornoz, Mario. 2009. Indicadores de innovación: las dificultades de una concepción en evolución. *Ciencia, Tecnología y Sociedad* 13 (5): 9-25.
- Autio, Erkkko, Martin Kenney, Phillippe Mustar, Dan Siegel y Mike Wriqth. 2014. Entrepreneurial innovation: the importance of context. *Research Policy* 43: 1097-1108.
- Banco Mundial. 2012. Índice de datos: <http://datos.bancomundial.org/tema/ciencia-y-tecnologia> (20 de febrero de 2012).
- Barbosa, Natalia, Ana Farra y Basco Erriz. 2014. Industry-and firm-specific factors of innovation novelty. *Industrial and Corporate Change* 23 (4): 865-902.

- Bond, Stephen R. 2002. Dynamic panel data models: a guide to micro data methods and practice. *Portuguese Economic Journal* 1: 141-162.
- Cimoli, Mario, Gabriel Porcili, Annalisa Primi y Sebastián Vergara. 2005. Cambio estructural, heterogeneidad productiva y tecnología en América Latina. En *Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina*, editado por Mario Cimoli, 9-39. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo.
- CEIM. 2001. *La innovación: un factor clave para la competitividad de las empresas*. Madrid: Datagrafic, S.L.
- Fagerberg, Jan, Martin Srholec y Bart Verspagen. 2010. Innovation and economic development. En *Handbook of economics of innovation*, volumen 2, editado por Bronwyn H. Hall y Nathan Rosenberg, 833-872. Berkeley: Elsevier.
- Furman, Jeffrey, Michael Porter y Scott Stern. 2002. The determinants of national innovative capacity. *Research Policy* 31: 899-933.
- Griliches, Zvi. 1979. *R&D and productivity: the econometric evidence*. Chicago: University of Chicago Press.
- Grossman, Gene y Elhanan Helpman. 1991. *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge: MIT Press.
- Hansen, Lars P. 1982. Large sample properties of generalized method of moments estimators. *Econometrica* 50 (4): 1029-1054.
- Hassan, Iftekhary y Christopher Tucci. 2010. The innovation economic growth nexus: global evidence. *Research Policy* 39: 1264-1276.
- Hausman, Jerry A. 1978. Specification tests in econometrics. *Econometrica* 46: 1251-1271.

- Heckman, James. 1997. Instrumental variables: a study of implicit behavioral assumptions used in making program evaluation. *Journal of Human Resource* 32: 441-462.
- Heston, Alan, Robert Summers y Betina Aten. 2012. Penn World Table, version 7.1. Pensilvania: Center for International Comparisons of Production, Income and Prices, University of Pennsylvania.
- Hsiao, Cheng. 2003. *Analysis of panel data*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Khan, Mosahid, Kul B. Luintel y Konstantinos Theodoridis. 2010. How robust is the R&D-productivity relationship? Evidence from OECD countries. OMPI working paper 1: 1-31.
- Krammer, Marius Sebastian Sorin. 2009. Drivers of national innovation in transition: evidence from a panel of Eastern European countries. *Research Policy* 31: 899-933.
- Lebel, Phillip. 2008. The role of creative innovation in economic growth: some international comparisons. *Journal of Asian Economics* 19: 334-347.
- Loasby, Brian J. 2001. Time knowledge and evolutionary dynamics: why connections matter. *Journal of Evolutionary Economics* 2 (4): 393-412.
- Luintel, Kul B. y Mosahid Khan. 2009. Heterogeneous ideas production and endogenous growth: an empirical investigation. *Canadian Journal of Economics* 42 (3): 1176-1205.
- Lundvall, Beng-Ake. 2010. *National systems of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning*. Reino Unido: Anthem Press.
- Marroquín, Juan y Humberto Ríos. 2012. Inversión en investigación y crecimiento económico: un análisis empírico desde la perspectiva de los modelos de I+D. *Investigación Económica* LXXI (282): 15-33.

- Martínez, Mónica y Thomas Baumert. 2003. Medida de la capacidad innovadora de las comunidades autónomas españolas: construcción de un índice regional de la innovación. Instituto de Análisis Industrial y Financiero, documento de trabajo 35: 1-63.
- Metcalfé, John Stanley. 2002. Knowledge of growth and the growth of knowledge. *Journal of Evolutionary Economics* 12 (1): 3-15.
- Nagaoka, Sadao, Kazuyuki Motohashi y Akira Goto. 2010. Patent statistics as an innovation indicator. En *Handbook of the economics of innovation*, volumen 2, editado por Bronwyn H. Hall y Nathan Rosenberg, 1083-1127. Berkeley: Elsevier.
- Nelson, Richard R. y Sidney Winter. 1982. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge: Belknap Press-Harvard University Press.
- OECD. 2001. *OECD Science, technology and industry scoreboard: towards a knowledge-based economy*. París: OECD.
- OMPI. 2012. WIPO statistics database: <http://ipstatsdb.wipo.org/ipstats/patentsSearch> (18 de septiembre de 2013).
- Oster, Sharon. 2000. *Análisis moderno de la competitividad*. México: Oxford.
- Pérez, Cesar. 2006. *Análisis multivariante con aplicaciones para SPSS 15*. Madrid: Prentice Hall.
- Ríos, Jesús A. y Miriam Castillo. 2013. La capacidad innovadora y el desempeño económico y tecnológico de México. En *Emprendimiento e innovación para la competitividad internacional. Dimensiones, factores y esquemas empíricos sobre sus causas y efectos*, editado por Juan C. Bermúdez, 41-76. Costa Rica: Escuela de Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional.
- Romer, Paul. 1990. Endogenous technological change. *Journal of Political Economy* 98 (5): 71-102.
- Rosenberg, Nathan. 1999. *Inside the black box: technology and economics*. Nueva York: Cambridge University Press.

- Sala-i-Martin, Xavier. 2000. *Apuntes de crecimiento económico*. España: Antoni Bosch.
- Sargan, John D. 1988. Testing for misspecification after estimating using instrumental variables. En *Contributions to econometrics: John Denis Sargan*, volumen 1, editado por E. Maasoumi. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sener, Sefer y Erran Saridogan. 2011. The effects of science-technology-innovation on competitiveness and economic growth. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 24: 815-825.
- Soete Luc, Bart Verspagen y Weel Baster. 2010. Systems of innovation. En *Handbook of the economics of innovation*, volumen 2, editado por Bronwyn H. Hall y Nathan Rosenberg, 1159-1180. Berkeley: Elsevier.
- Solo, Robert. 1966. The capacity to assimilate an advanced technology. *American Economic Review* 56 (1/2): 91-97.
- Solow, Robert. 1957. Technical change and the aggregate production function. *The Review and Economics and Statistics* 39 (3): 312-320.

## Anexo 1

El propósito de un modelo factorial (MF) es encontrar la cantidad mínima de variables, que expliquen el máximo de información contenida en una muestra simplificando las múltiples y complejas relaciones entre un conjunto de variables observables  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , donde  $p$  puede ser cualquier número finito. En particular, se trata de encontrar  $K < P$  factores comunes  $F_1, F_2, \dots, F_k$ , que expliquen de modo suficiente las variables originales observables; las seleccionadas se presentan en la figura A.

### Figura A

#### VARIABLES SUJETAS AL MODELO FACTORIAL

Variable	Indicador	Fuente
PAT	Número de patentes concedidas por cada 10 mil habitantes por oficina de patentes	OMPI (2012) y Heston et al. (2012)
EBAT	Exportación de bienes de alta tecnología reales per cápita, en dólares de 2005	Banco Mundial (2012) y Heston et al. (2012)
IBPT	Ingreso por balanza de pagos tecnológica reales per cápita, en dólares de 2005, por concepto de regalías, asistencia técnica, etc.	Banco Mundial (2012) y Heston et al. (2012)
GIDE	Gasto en investigación y desarrollo per cápita reales, en dólares de 2005	Banco Mundial (2012) y Heston et al. (2012)
DI	Número de diseños industriales concedidos por cada 10 mil habitantes por oficina de patentes	OMPI (2012) y Heston et al. (2012)
II+D	Número de investigadores y técnicos dedicados a investigación y desarrollo por cada 10 mil habitantes	Banco Mundial (2012), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura y Heston et al. (2012)
PUB	Número de publicaciones científicas por cada 10 mil habitantes	Banco Mundial (2012) y Heston et al. (2012)
INT	Usuarios de internet por cada 100 habitantes	Banco Mundial (2012)
TEL	Número de líneas telefónicas fijas por cada 100 habitantes	Banco Mundial (2012)

Fuente: elaboración propia.

Sea  $X$  la matriz de variables originales, donde la varianza es una medida de la información que contiene cada variable, la combinación lineal de las variables originales puede expresarse como sigue:

$$F_{1i} = u_{1i} X_{1i} + u_{12} X_{2i} + \dots + u_{1p} X_{pi} \quad [I]$$

De manera abreviada, se puede expresar [I] como  $F_1 = X u_1$ , donde  $u_1$  es el vector que permite obtener la combinación lineal. Puesto que la primera componente es la combinación lineal de las variables originales de varianza máxima,  $u_1$  debe tener valor unitario para que la varianza del primer factor o componente  $F$  sea máxima.

Como la varianza de la componente  $C$  es:

$$V(C_i) = \frac{\sum_{i=1}^n C_i^2}{n} = \frac{1}{n} C_i' C_i = \frac{1}{n} u_i' X' X u_i = u_i' \left[ \frac{1}{n} X' X \right] u_i = u_i' V u_i \quad [II]$$

El problema de la componente se puede resumir de la manera siguiente:

$$\text{Max } V(C_i) = u_i' V u_i \quad [III]$$

$$\text{Sujeta a: } \sum_{j=1}^p u_{ji}^2 = u_i' u_i = 1$$

Si se resuelve el lagrangiano de la ecuación [III], se obtiene  $(V - \lambda I) u_1 = 0$ , donde  $I$  es la matriz identidad y  $u_1$  es el vector propio de la matriz de varianza y covarianza de los datos originales. Como se busca la varianza máxima, se elige el vector propio con mayor valor asociado. La primera componente  $C_1$  se obtiene de  $C_1 = V u_1$ , donde  $u_1$  es el vector propio de la matriz varianza-covarianza con mayor valor asociado. La segunda componente principal de acuerdo con [II] estará dada por  $V(C_h) = u_h' V u_h = \lambda_h$  (Pérez 2006).

La aplicación del MF requiere desarrollar cuatro fases interdependientes: a) se realiza el cálculo de una matriz que indique la varianza de las variables estudiadas; b) se lleva a cabo la extracción de las componentes que agrupan un conjunto de variables con características comunes; c) se rota la matriz de componentes y d) se estiman las puntuaciones de las variables en las componentes. Cabe precisar que

las pruebas de Bartlett y Kaiser-Meyer-Olkin resultaron significativas, por lo que el MF es pertinente. En la figura B se presenta la matriz que agrupa los componentes rotados y sus puntuaciones respectivas para el cálculo de los factores.

Figura B

Puntuaciones para el cálculo de factores

	Factor		
	1	2	3
EBAT	-0.18485876	0.10245606	0.65313296
IBPT	0.23673374	-0.13420987	-0.00094511
PAT	-0.03145661	0.4923046	-0.00601101
DI	-0.12402427	0.55253431	0.0806117
II+D	-0.04927591	-0.039509	0.51404815
GIDE	0.21559539	0.03435128	0.01208454
PUB	0.26422666	-0.11806245	-0.02151773
TEL	0.26472277	0.01469314	-0.1921562
INT	0.23330238	0.03666781	-0.08289631

Fuente: elaboración propia.

Los factores son ponderados por las puntuaciones de cada variable; las contenidas en la figura B se multiplican por cada variable para cada país y año, y así se obtienen los valores de los factores. Para obtener el cálculo de la CI, los factores son reponderados por su carga factorial. El MF explica aproximadamente 90 por ciento de la variación conjunta de las variables incluidas. En este caso, para la construcción del índice se lleva a 1 el valor de las cargas factoriales. El primer factor representa el 0.6134 de la variación, el segundo el 0.2397 y el tercero el 0.1468 de la CI.