

mento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, de la Ciudad de México, desde 1974. Doctor en Economía de la Educación por la Universidad de Stanford y miembro del Sistema Nacional de Investigadores del nivel II. Sus líneas de investigación son: economía laboral, economías de la educación, políticas públicas sociales y económicas. Una de sus publicaciones recientes es *Utilitarismo y contractualismo. Fundamentos para la evaluación de políticas públicas* publicado por la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y Gedisa, llamas.ignaciogmail.com.



Innovación en América Latina, Argentina, Colombia y México confirma el interés de investigadores de estos países por estudiar diversos fenómenos asociados a la innovación. Entre las luces y las sombras que proyecta el desempeño de la región, la actividad de innovación de empresarios emprendedores aún es insuficiente y, además, es débil su penetración en los mercados innovadores y dinámicos de exportación. Frente al *síndrome del casillero vacío*, el análisis y las propuestas de política en materia de innovación sistémica, tecnológica, sectorial y social se vuelven pertinentes. En ese sentido, son varios los propósitos que animan a esta obra: i) conocer las posibilidades de convergencia de nuestros países con otros en lo que concierne a la innovación y el desempeño económico; ii) estimar la eficiencia relativa de los sistemas nacionales de innovación; iii) analizar y evaluar los vínculos entre innovación y productividad laboral a nivel de firmas y entre las mayores habilidades del capital humano y el desempeño productivo sectorial; iv) estudiar la penetración de las nuevas tecnologías de las TICs y la capacidad de absorción de las firmas; v) analizar el papel del gobierno en el fomento del uso del *Big Data* entre PYMES; vi) explorar las oportunidades de las patentes universitarias y la transferencia tecnológica a las empresas y, vii) vislumbrar la innovación social. En donde es débil la actividad inventiva, la investigación se vuelve inaplazable.



9 781607 243524



INNOVACIÓN EN AMÉRICA LATINA

Argentina, Colombia y México



Alenka Guzmán, Gabriel Yaguez e Ignacio Llamas (Coords.)



Management
Biblioteca Nueva

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD IZTAPALAPA, CONVENIO EDITORIAL CON BIBLIOTECA NUEVA



ALENKA GUZMÁN
Profesora-investigadora del departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa, México. Es doctora en Economía Industrial por la Universidad de la Sorbonne Nouvelle, París III, París, Francia, 1999. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología desde el 2001. Ha publicado artículos en revistas de alto impacto en economía intelectual, productividad y crecimiento económico, particularmente en los sectores siderúrgico, farmacéutico, biotecnológico y nanotecnológico. Su libro más reciente es *Propiedad intelectual y capacidades de innovación en la industria farmacéutica de Argentina*, y ha sido publicado por la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y Gedisa-UMI. Ha participado en proyectos de investigación en Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, España, México, Egipto, Ecuador, Nueva Zelanda, Perú, Uruguay, Venezuela, Colombia, Uruguay y naciones (Conacyt, UAMI). Es directora de la revista *Economía: teoría y práctica*. alenka.ug@gmail.com



GABRIEL YAGUEZ
Investigador docente (titular) de la Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires, y coordinador del Área de Economía del Conocimiento de esa universidad. Forma parte del centro interdisciplinario de estudios en ciencia, tecnología e innovación del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Argentina. Ha publicado artículos de alto impacto en investigación sobre temáticas de economía de la innovación y sistemas complejos. En ese marco, es autor de numerosas publicaciones en revistas nacionales e internacionales y de varios libros. gyaguez@gmail.com

IGNACIO LLAMAS HUITRÓN
Profesor e investigador de tiempo completo en el Departamento de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México. Es doctor en Economía por la Universidad de la Sorbonne Nouvelle, París III, París, Francia, 1999. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología desde el 2001. Ha publicado artículos en revistas de alto impacto en economía intelectual, productividad y crecimiento económico, particularmente en los sectores siderúrgico, farmacéutico, biotecnológico y nanotecnológico. Su libro más reciente es *Propiedad intelectual y capacidades de innovación en la industria farmacéutica de Argentina*, y ha sido publicado por la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y Gedisa-UMI. Ha participado en proyectos de investigación en Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, España, México, Egipto, Ecuador, Nueva Zelanda, Perú, Uruguay, Venezuela, Colombia, Uruguay y naciones (Conacyt, UAMI). Es directora de la revista *Economía: teoría y práctica*. alenka.ug@gmail.com

COLECCIÓN MANAGEMENT



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General
Salvador Vega y León

Secretario General
Norberto Manjarrez Álvarez

Director de Publicaciones y Promoción Editorial
Bernardo Ruiz López

Subdirector de Distribución y Promoción Editorial
Marco A. Moctezuma Zamarrón

UNIDAD IZTAPALAPA

Rector
José Octavio Nateras Domínguez

Secretario
Miguel Ángel Gómez Fonseca

Directora
de la División de Ciencias Sociales y Humanidades
Juana Juárez Romero

Coordinadora General
del Consejo Editorial de Ciencias Sociales y Humanidades
Alicia Lindón Villoria

COMITÉ EDITORIAL DE LIBROS

Gabriela Correa López (Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa);
Pablo Castro Domingo (Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa);
Pedro Castro Martínez (Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa);
Gustavo Del Ángel Mobarak (Centro de Investigación y Docencia Económica),
Gustavo Leyva Martínez (Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa);
Alicia Lindón Villoria (Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa);
José Manuel Valenzuela Arce (El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana).

El manuscrito de este libro ingresó al Comité Editorial de Libros del Consejo Editorial de Ciencias Sociales y Humanidades, para iniciar el proceso de evaluación por el sistema de doble ciego en la sesión trimestral de primavera de 2015, celebrada el 14 de julio de 2015 y quedó aprobado para su publicación el 15 de junio de 2016.

ALENKA GUZMÁN, GABRIEL YOGUEL
E IGNACIO LLAMAS (COORDS.)

INNOVACIÓN
EN AMÉRICA LATINA
Argentina, Colombia y México

BIBLIOTECA NUEVA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA
Consejo Editorial de Ciencias Sociales y Humanidades

© Los autores, 2016

© Universidad Autónoma Metropolitana
Prolongación Canal de Miramontes, 3855
Ex Hacienda San Juan de Dios
14387 Tlalpan
Ciudad de México, D. F., México

Unidad Iztapalapa
Consejo Editorial de la División de Ciencias Sociales
y Humanidades
San Rafael Atlixco, 186, edificio H, segundo piso
Colonia Vicentina, 09340 Iztapalapa
Ciudad de México, D. F., México

Derechos reservados para todas las ediciones en castellano

© Editorial Biblioteca Nueva, S. L., Madrid, 2016
Almagro, 38
28010 Madrid
www.bibliotecanueva.es
editorial@bibliotecanueva.es

ISBN (UAM): 978-607-28-0794-5

ISBN (Biblioteca Nueva): 978-84-16647-85-9

Imprime
Impreso en México

Este libro ha sido dictaminado positivamente por pares académicos ciegos y externos a través del Consejo Editorial de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, se privilegia con el aval de la institución coeditora

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs., Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.—DESAFÍOS DE LA INNOVACIÓN EN AMÉRICA LATINA, por Alenka Guzmán, Gabriel Yoguel e Ignacio Llamas	9
---	---

SECCIÓN I SISTEMAS NACIONALES DE INNOVACIÓN

CAPÍTULO 1.—INNOVACIÓN, CAPACIDADES Y DESEMPEÑO ECONÓMICO. UN ANÁLISIS DE CONVERGENCIA ENTRE PAÍSES EN EL MARCO DE LOS SISTEMAS NACIONALES DE INNOVACIÓN, por Diana Suárez y Analía Erbes	23
CAPÍTULO 2.—EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS NACIONALES DE INNOVACIÓN DE LOS PAÍSES DE LA OCDE. EFICIENCIA RELATIVA DEL SISTEMA MEXICANO, por Marco Antonio Rojo, Alenka Guzmán e Ignacio Llamas	79

SECCIÓN II INNOVACIÓN EN SECTOR INDUSTRIAL

CAPÍTULO 3.—PROPENSIÓN A INNOVAR Y SUS EFECTOS EN LA INNOVACIÓN Y LA PRODUCTIVIDAD DE LAS FIRMAS MANUFACTURERAS DE MÉXICO, por Alenka Guzmán, Flor Brown y Miguel Ángel Mendoza	129
---	-----

CAPÍTULO 4.—EFICIENCIA ECONÓMICA Y CAPITAL HUMANO EN EL SECTOR MANUFACTURERO MEXICANO, 2001 Y 2009, por Ignacio Llamas Huitrón y Nora Garro Bordonaro	187
---	-----

SECCIÓN III INNOVACIÓN EN LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

CAPÍTULO 5.—CAPACIDADES, VINCULACIONES Y DESEMPEÑO. LA DINÁMICA RECIENTE DEL SECTOR DE <i>SOFTWARE</i> Y SERVICIOS INFORMÁTICOS EN ARGENTINA, por Florencia Barletta, Mariano Pereira y Gabriel Yoguel	231
CAPÍTULO 6.—BIG DATA Y POLÍTICAS PÚBLICAS EN ARGEN- TINA ORIENTADAS A FOMENTAR LA INNOVACIÓN, por Facundo Malvicino y Gabriel Yoguel	265

SECCIÓN IV INNOVACIÓN INSTITUCIONAL Y SOCIAL

CAPÍTULO 7.—GESTIÓN DE PATENTES ACADÉMICAS Y SUS EFECTOS EN LA RELACIÓN ACADEMIA-EMPRESA EN PAÍSES EMERGENTES. EL CASO DE MÉXICO, por Guadalupe Calde- rón-Martínez y Pilar Pérez-Hernández	297
CAPÍTULO 8.—INNOVACIÓN SOCIAL ABIERTA: UNA APROXI- MACIÓN DESDE LA ECONOMÍA COMPORAMENTAL Y UN CASO DE ANÁLISIS, por Iván Hernández Umaña	325
NOTA SOBRE LOS AUTORES	367

CAPÍTULO 2

Eficiencia de los Sistemas Nacionales de Innovación de los países de la OCDE. Eficiencia relativa del sistema mexicano

MARCO ANTONIO ROJO,¹ ALENKA GUZMÁN²
E IGNACIO LLAMAS³

Resumen: En este capítulo se estiman índices de eficiencia global y por objetivos —de creación, difusión y utilización de innovaciones— de los sistemas nacionales de innovación (SNI) de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), utilizando la metodología de *Análisis Envolvente de Datos*. Los índices permiten comparar la eficiencia relativa del SNI mexicano con los de otros países y conocer en qué funciones y objetivos tiene una ventaja o desventaja. Una evaluación de esta naturaleza puede ser muy útil para la toma de decisiones en materia de política que tienda a

¹ Doctor egresado del Doctorado Estudios Sociales, Línea Economía Social, UAM Iztapalapa.

² Profesora- Investigadora del Departamento de Economía de la UAM-Iztapalapa.

³ Profesor-Investigador del Departamento de Economía de la UAM-Iztapalapa.

mejorar el desempeño del SNI mexicano. El modelo DEA se aplica a 33 SNI de países pertenecientes a la OCDE. Los datos se tomaron de distintas fuentes de información (Foro Económico Mundial, OCDE, Banco Mundial) y, generalmente, son de los años 2010 y 2011. Pensamos que la estimación de índices de eficiencia por objetivos genera información que facilita a los tomadores de decisiones un análisis más apropiado de las fortalezas y debilidades del SNI y, con ello, la elaboración de políticas públicas más oportunas en materia de ciencia, tecnología e innovación.

Palabras clave: sistema nacional de innovación, índice de eficiencia relativa, ciencia, tecnología.

INTRODUCCIÓN

El propósito de este capítulo es estimar índices de eficiencia por objetivos de los sistemas nacionales de innovación (SNI) de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), utilizando la metodología de *Análisis Envolvente de Datos* (DEA, por sus siglas en inglés). En particular, se hace énfasis en la eficiencia del SNI de México en relación con los demás países de la OCDE.

La metodología DEA, propuesta por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) ha sido útil en diferentes disciplinas para evaluar la eficiencia de unidades tomadoras de decisiones que emplean múltiples insumos y productos. Los antecedentes de la evaluación de los SNI mediante el DEA son recientes (Nasierowski y Arcelus, 2003; Lee y Park, 2005; Ta-Wei, 2007, 2010; Hollanders y Celikel, 2007; Cai-Yuezhou, 2011; Cai-Yuezhou y Hanley, 2012) (véase tabla A-1). En el estudio pionero que se realizó para 45 países se consideró al SNI como subsistema de la economía; en la evaluación se tomaron en cuenta los insumos, productos y moderadores (Nasierowski y Arcelus, 2003). En otro estudio, de 27 países pertenecientes a la OCDE, se propuso una tipología que relaciona su nivel de desarrollo científico

y tecnológico con la eficiencia de sus SNI; así, los países se clasificaron en: i) inventores, ii) comerciantes de tecnología, iii) académicos y iv) ineficientes (Lee y Park, 2005). A estas propuestas iniciales se sumaron otras investigaciones, una de las cuales fue un estudio de 23 países de la OCDE y 17 que no pertenecían a dicha organización; en ella se clasificaron los insumos como de capital y de trabajo, y se consideró como moderador central al sistema educativo (Ta-Wei, 2007, 2010); en otra, se dividió a los insumos en tres dimensiones: conductores de la innovación, creadores de conocimiento e innovación y creadores de emprendimiento; los productos se clasificaron en dos dimensiones: aplicaciones y propiedad intelectual; y, finalmente, los países se clasificaron por su eficiencia en innovación: líderes, seguidores, moderados y convergentes (Hollanders y Celikel, 2007). Un estudio de la posición de los países emergentes Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica (BRICS) con respecto a los líderes, encuentra heterogeneidad en la eficiencia relativa en este grupo de países (BRICS) y discute sobre los posibles factores que la determinan⁴ (Cai-Yuezhou, 2011; Cai-Yuezhou y Hanley, 2012) (véase tabla 1).

En razón de la importancia que se ha atribuido al progreso tecnológico y a la innovación como fuentes del crecimiento y desarrollo económico, esta investigación se inscribe en el esfuerzo de dar continuidad a la aplicación DEA, para identificar los índices relativos de eficiencia de los sistemas nacionales de innovación de países de la OCDE, entre los que se encuentra México. Por lo general, los estudios sobre el tema se han centrado en estimar si el sistema en su conjunto es o no eficiente. A diferencia de los estudios previos, se pretende contribuir en la medición de la eficiencia de los SNI por objetivos, además de evaluar su eficiencia global. En tal sentido, se considera que un SNI es

⁴ Los posibles determinantes son estos: la infraestructura en TIC, la investigación empresarial, el ambiente de mercado, el papel del gobierno, el sistema educativo, las economías de escala, la dotación de recursos naturales y la dependencia externa.

«...una red de instituciones del sector público y [del] privado cuyas actividades e interacciones inician, importan y difunden nuevas tecnologías» (Freeman, 1987) y que además incluye «...el uso de conocimiento nuevo, económicamente útil» (Lundvall, 1992). Por lo anterior, es pertinente que la medición de la eficiencia relativa se realice conforme al logro de cada uno de los objetivos centrales del SNI: creación, difusión y utilización de nuevo conocimiento (Whitley, 2001).

En consecuencia, en este estudio, se estiman cuatro índices de eficiencia relativa en: i) creación, ii) difusión, iii) utilización, y un iv) índice de eficiencia relativa global del SNI. El análisis de estos índices permitirá comparar internacionalmente la eficiencia relativa del SNI mexicano y conocer en qué funciones y objetivos tiene una ventaja o desventaja. Una evaluación de esta naturaleza puede ser muy útil para la toma de decisiones en materia de política que tienda a mejorar el desempeño del SNI mexicano.

Con base en la evaluación relativa de los SNI por objetivos en los países de la OCDE, se plantean las preguntas siguientes: ¿Son los países cuyos SNI cuentan relativamente con mayores recursos en insumos (en creación, difusión y utilización de conocimiento) los que reportan mayores índices de eficiencia relativa en cada uno de sus objetivos?, ¿es posible que algunos SNI sean eficientes en uno o dos de sus objetivos e ineficientes en los restantes?

A manera de hipótesis, se espera que los países estudiados que destinan recursos más cuantiosos a los tres objetivos centrales de los SNI obtengan mayores índices de eficiencia relativa que aquellos que canalizan menores recursos. También se espera que algunos SNI sean relativamente eficientes en algunos de los objetivos, pero ineficientes en otros.

El capítulo se divide en cinco partes. En la introducción se presentan los objetivos, las preguntas y las hipótesis del estudio. En la segunda se exponen los fundamentos teóricos de los SNI, los cuales sirven de base a la propuesta de medición de los índices de eficiencia relativa. En la tercera se describen las metodologías

empleadas para medir los índices de eficiencia relativa de los SNI: i) la metodología de indicadores y ii) la metodología no paramétrica DEA. En la cuarta se especifica la metodología DEA empleada en este estudio; también se estima y analiza la eficiencia relativa de los SNI por objetivos de los países de la OCDE, haciendo un análisis particular del SNI de México. Finalmente, en la quinta se exponen las conclusiones.

EL ENFOQUE TEÓRICO DE LOS SISTEMAS NACIONALES DE INNOVACIÓN

Freeman (1987, 1995) tuvo una influencia notable en el desarrollo del enfoque de SNI⁵. Retomando la propuesta de sistema nacional de la economía política de List (1841), en la cual se subraya la importancia de las instituciones y de la política nacional en el desarrollo de cada nación, Freeman (1987) enfatiza la contribución del esfuerzo tecnológico nacional y el papel de las instituciones y políticas de Estado en el crecimiento económico de los países y la posible convergencia económica de los países más atrasados con los países más avanzados⁶.

Diversos autores aportaron ideas complementarias para integrar un concepto más desarrollado de SNI (Freeman, 1987; Lundval, 1992, Nelson y Rosenberg, 1993; Metcalfe, 1995,

⁵ El concepto de *sistema nacional de innovación* lo introdujo el economista Christopher Freeman en una conferencia en agosto de 1982 en la OCDE, titulada: *Technological Infrastructure and International Competitiveness*. Posteriormente, el término se divulgó en su libro de 1987: *Technology, Policy, and Economic Performance: Lessons from Japan* (Sharif, 2006).

⁶ En su «sistema nacional de política económica», List (1841) destaca tres aspectos: 1) la acumulación de conocimiento como un determinante del estado en el que se encuentran las naciones; 2) la vinculación entre la industria y las instituciones de la ciencia y la educación; 3) las alternativas que se presentan a los países en desarrollo para llevar a cabo políticas que protejan su frágil industria y permitan acelerar su crecimiento económico con base en el aprendizaje y la aplicación de nuevas tecnologías (Soete, Verspagen y Weel, 2009).

Edquist, 1997). Por ejemplo, algunos autores estudiaron países con distintos niveles de ingresos (Nelson, 1993). Otros, el caso particular de los países de América Latina (Lemarchand, 2010; Arocena y Sutz, 2000; Alcorta y Peres, 1998; Melo, 2001). Otros más analizaron la conformación de los SNI en economías de reciente industrialización (Lundvall, Intarakumnerd y Vang, 2006). En los últimos años, algunos autores se han interesado por el grupo de países denominado BRICS: Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica (Nassif, 2007). Asimismo, instituciones como la OCDE y la Cepal han publicado investigaciones comparativas, por países, sobre los SNI, aportando un seguimiento estadístico de las principales variables y análisis cualitativos que permiten comprender la naturaleza de cada sistema.

El enfoque de sistemas de innovación (SI) ofrece herramientas teóricas para el tratamiento de la innovación desde un punto de vista sistémico. Supone que la innovación no se lleva a cabo de forma aislada en la empresa, sino que en su realización concurren otras organizaciones que intercambian recursos para la creación, la difusión y el uso de conocimiento (Edquist, 1997; Soete, Verspagen y Weel, 2009). Es un enfoque «holístico»⁷ que considera diversos elementos (no necesariamente económicos) para explicar la innovación.

En este enfoque teórico las instituciones tienen un carácter jurídico-normativo de contexto, establecen las reglas del juego innovador: reducen la incertidumbre, proveen información a los agentes, permiten el manejo de los conflictos y la cooperación. Entre las principales instituciones se encuentran: normas,

⁷ En la teoría de sistemas, el término *holístico* indica que las propiedades de un sistema dependen de las partes del sistema y del sistema como un todo. Así, no es posible explicar las propiedades o el comportamiento del sistema únicamente por el análisis de sus partes sin tomar en cuenta la visión integral del todo. Esta perspectiva suele resumirse con el axioma Aristotélico de que: «el todo es mayor que la suma de sus partes». En el enfoque de SI, el término hace referencia al carácter multidisciplinario del estudio de la innovación tomando en cuenta elementos económicos, sociales, políticos, organizacionales, etc. (Edquist y Hommen, 1999).

leyes de patentes u otros derechos de propiedad intelectual, normas culturales, reglas sociales, estándares técnicos. Los actores son organizaciones y se les puede clasificar por el objetivo que persiguen. Tales son los casos de: i) universidades e institutos de investigación, cuyo objetivo central es producir conocimiento; ii) parques científicos, que producen, transfieren y difunden conocimiento; iii) oficinas de patentes cuya función es regular el uso de conocimiento. Otras organizaciones que inciden en el proceso de innovación son los bancos de inversión, escuelas y ministerios de gobierno (Edquist y Johnson, 1997). Este conjunto de instituciones y organizaciones son elementos clave del suceso innovador (Balzat, 2002). Las vinculaciones entre estas pueden ser múltiples y esencialmente se tipifican como organización-organización, organización-institución e institución-institución⁸.

El sistema de innovación se define como nacional porque opera en un espacio físico en el que interactúan organizaciones que crean, difunden y utilizan conocimiento (OCDE, 1997; Lundvall, 1992; Niosi, 2002). La dimensión nacional implica una delimitación geográfica de un Estado-nación; un conjunto de instituciones que apoyan el proceso de innovación; un conjunto de características culturales, políticas, lingüísticas, etc., que permiten cumplir con el objetivo de mejorar continuamente un acervo de conocimientos y unas formas de aprendizaje (Lundvall, 1992). En cada nación, en el proceso de innovación, interactúan empresas públicas y privadas, universidades y agencias de gobierno orientadas a la producción de ciencia y tecnología (Niosi, Saviotti, Bellon y Crow, 1993; Cimoli, 2000).

⁸ La OCDE (2002), por ejemplo, considera que entre las principales interacciones de los agentes del SNI sobresalen las de competencia, intercambio o transacciones entre ellos y la formación de redes. La competencia los coloca en una situación de rivalidad que permite esclarecer el papel del conjunto prevaleciente de incentivos a la innovación. Por su parte, las relaciones de intercambio agilizan la comercialización de productos y servicios. Finalmente, las redes estimulan la contratación de tecnología, la colaboración entre los agentes y la transmisión del conocimiento.

En el marco del sistema nacional de innovación, las políticas gubernamentales se orientan a promover que las instituciones (normas, leyes de patentes, derechos de propiedad intelectual, sistemas de incentivos) y las organizaciones (empresas, instituciones de educación superior, institutos de investigación, agencias públicas) tengan vasos comunicantes para promover la actividad innovadora, los procesos de aprendizaje y la disponibilidad de mano de obra calificada (Balzat y Hanusch, 2004). Así, el vínculo de las instituciones, la estructura económica y el nivel de competencia determinan la tasa y la dirección del cambio tecnológico (Edquist y Lundvall, 1993; Patel y Pavit, 1994).

Las principales funciones del SNI son: i) crear conocimiento, ii) guiar el proceso de investigación, iii) suministrar recursos, iv) facilitar la creación de economías externas y v) instituir mercados (Bergek y Jacobson, 2000; Johnson, 2001). Además, Hekkert, Suurs, Negro, Kuhlmann y Smits (2007) consideran que el sistema puede estimular la creación de nuevas oportunidades de negocios y de nuevos proyectos que lleven a cabo actividades del aprendizaje en la investigación (*learning by searching*). Asimismo, suponen que debe responder a las exigencias del mercado y a las exigencias de los agentes involucrados en él (gobierno, industria, instituciones de educación e investigación); así como modificar el ambiente tecnológico en la medida que lo requieran las nuevas trayectorias tecnológicas.

En un estudio del SNI mexicano, Cimoli (2000) encuentra que la inestabilidad macroeconómica es un factor clave para entender las modificaciones que ha sufrido el sistema en sus procesos de innovación. Para este autor, la volatilidad internacional ha modelado el comportamiento de los agentes productivos (empresas), los cuales han adoptado una postura de aversión al riesgo y a la incertidumbre que conlleva la realización e implementación de actividades innovadoras; considera que ese fenómeno ha limitado la innovación creadora competitiva en el ámbito internacional, la cual se ha orientado hacia actividades tradicionales y de bajo valor agregado.

Un SNI puede presentar «fallas» de eficiencia en el cumplimiento de sus funciones. Estas se pueden generar por la presencia de organizaciones o instituciones «inapropiadas» o disfuncionales; por el establecimiento de objetivos sistémicos inadecuados; por deficiencias en la vinculación entre organizaciones, o por instituciones que no favorecen una adecuada vinculación. Lo anterior ocasiona una desarticulación del sistema (Edquist, 2001).

Las fallas del SNI también pueden ser de tipo transicional o institucional. Las fallas institucionales pueden presentarse como barreras burocráticas a la innovación, insuficiencia de infraestructura institucional, opacidad en las reglas establecidas o en el papel desempeñado por los agentes responsables, así como un deficiente esquema de incentivos a la innovación. Las fallas pueden abrir un sendero institucional adaptativo que no impulse cambios organizacionales, ni mecanismos de aprendizaje que permitan modificar la trayectoria tecnológica del SNI para que este logre acercarse a la frontera de eficiencia mundial (Cimoli, 2000).

En resumen, los objetivos centrales del SNI se agrupan en: i) creación, ii) difusión y iii) utilización de innovaciones (Whitley, 2001). El desempeño en sus tareas depende de factores internos y externos. Los primeros son factores nacionales que afectan a los elementos del sistema y sus propiedades, o a las vinculaciones entre dichos elementos; los segundos son factores internacionales que afectan al sistema en su conjunto, o a algunos de sus elementos o a las vinculaciones entre estos. Generalmente, los factores externos se expresan en variables de tipo macro que no son restrictivas de la innovación pero que inciden en el desempeño del SNI; por ejemplo, la estabilidad macroeconómica, el proceso de globalización, los niveles de riesgo país, el respeto de derechos de propiedad y el nivel de apertura económica.

MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA RELATIVA DE LOS SNI

En este apartado se exponen dos de las metodologías empleadas para medir la eficiencia de los SNI: la metodología de indicadores y la metodología no paramétrica DEA.

Metodología de indicadores

La eficiencia de los sistemas nacionales de innovación se ha evaluado haciendo uso de distintas técnicas de análisis. Una de ellas es la de indicadores, la cual utiliza información de ciencia y tecnología e interpreta y describe sus indicadores. Los indicadores pueden ser datos cualitativos o cuantitativos; información sobre recursos que se consideran pertinentes; o información sobre el tipo de indicador ya sea como una entrada (insumo, *input*) o como una salida (producto, *output*) del sistema.

De acuerdo con Grupp y Schubert (2010), el método de indicadores es multidisciplinario y se basa en dos ideas principales. La primera es que la innovación es resultado de un proceso que, de realizarse, genera beneficios económicos. La segunda es que las estadísticas son válidas para expresar el desempeño en cada una de las etapas del proceso de innovación. Para estos autores, los indicadores individuales son parciales, no miden la innovación como un todo y a menudo son *indirectos* porque la innovación es intangible, no directamente observable. Consideran que «unos indicadores son datos estadísticos que se generan específicamente para medir un aspecto de la innovación —estadísticas nacionales en materia de investigación, financiamiento y desarrollo de personal— y otros indicadores se basan en las estadísticas que se generan para un propósito distinto a la medición de la innovación —como las estadísticas de patentes que se generan como parte del proceso de solicitud de patentes para obtener la protección de la propiedad intelectual» (Grupp y Schubert, 2010, pág. 68).

Metodología no paramétrica: Data Envelopment Analysis

El *Data Envelopment Analysis* (DEA) es una herramienta para evaluar el rendimiento relativo de un conjunto de unidades tomadoras de decisiones (UTD) que utilizan una variedad de insumos (medios) para obtener una determinada producción de bienes y servicios (fines). La herramienta toma como referencia las UTD más eficientes, a las cuales les asigna un índice de eficiencia de uno, y evalúa el desempeño relativo de las menos eficientes cuyos resultados toman valores entre cero y uno. Esta metodología se sustenta en una serie de supuestos básicos: 1) Las UTD que se comparan operan homogéneamente: reciben los mismos insumos y producen los mismos productos aunque en cantidades diferentes. El concepto de eficiencia relativa implica que si una UTD eficiente es capaz de producir x unidades de producto con y unidades de insumo, las otras UTD deberían también ser capaces de hacerlo si operaran eficientemente. 2) La eficiencia de cada UTD se mide con la tasa que resulta de la suma de productos ponderados entre la suma de insumos ponderados. Esta tasa es un número entre cero y uno. 3) En DEA, los ponderadores de insumos y productos no se conocen por anticipado y no son los mismos para las distintas UTD. Son calculados para que sean los más favorables para cada UTD. 4) Las UTD que tienen un índice de eficiencia menor a la unidad, no están en la frontera de eficiencia y son *envueltas* por la misma (de aquí el nombre de *Análisis Envolverte de Datos*). Es decir, la frontera de eficiencia es la base de la medición de la eficiencia relativa. 5) Un *par eficiente* de una UTD ineficiente es su unidad modelo. A partir de la posición de la ineficiente, su modelo es la UTD más cercana que se encuentra en la frontera de eficiencia. Los pares eficientes son guía y objetivo por alcanzar para las UTD ineficientes (Ramanathan, 2003; Productivity Tools, 2009).

Entonces, la eficiencia en DEA se expresa como una tasa de productos entre insumos. Las UTD más eficientes tienen mayores tasas producto/insumo y se encuentran sobre la frontera

de eficiencia. El índice de eficiencia es igual a la unidad a lo largo de toda la frontera, la cual envuelve los datos disponibles. Las UTD que se encuentran sobre la frontera son las más eficientes con los datos disponibles; pero los datos no ofrecen señales de en qué medida las UTD eficientes pueden mejorar su desempeño. El desempeño de las otras UTD se evalúa en relación con el desempeño de las más eficientes. Así, se obtienen eficiencias relativas, no absolutas.

El modelo DEA

Los principales supuestos de un modelo DEA son débiles y se cumplen para cualquier tecnología cuasi-cóncava, a saber: 1) Las combinaciones insumo-producto (x, y) reales observadas son factibles. 2) El conjunto de posibilidades de producción es convexo. 3) Las UTD pueden disponer libremente (eliminar sin costo) de sus insumos y productos. 4) Si existen rendimientos constantes a escala y un plan de producción (x, y) factible, entonces para cualquier $k \geq 0$, (kx, ky) también es factible (Ray, 2004).

El modelo que se utilizó en esta investigación fue el XLDEA 2.1 (Productivity Tools, 2009), producto orientado. Generalmente dicho modelo se presenta en dos fases:

Fase 1. Maximización del inverso del índice de eficiencia de las UTD de la muestra o población.

$$\begin{aligned} & \text{Max } \phi \\ \text{s.a: } & x_0 - X\lambda \geq 0 \\ & -\phi y_0 + Y\lambda \geq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Donde:

- 1) Existen k insumos y m productos
- 2) x_0 e y_0 son vectores de insumos ($k \times 1$) y productos ($m \times 1$) de la unidad j , para $j=1, 2, \dots, n$.

3) X e Y son matrices ($k \times n$) y ($m \times n$) de insumos y productos

4) λ es vector ($n \times 1$) de ponderadores de los pares eficientes

$\phi^* \geq 1$; es el inverso del índice de eficiencia

Fase 2. Maximización de los valores de las variables de holgura⁹.

Se usa ϕ^* para valores de las variables de holgura (hp = variable de holgura en producto, hi = variable de holgura en insumo).

Max $e_{hp} + e_{hi}$

s.a $x_0 - X\lambda - hi = 0$

$-\phi y_0 + Y\lambda - hp = 0$

$\lambda \geq 0, hp \geq 0, hi \geq 0$

e es un vector de dimensión apropiada para hacer que la función objetivo sea igual a la suma de las variables de holgura.

En esta investigación solo se trabaja con resultados de la primera fase: con índices de eficiencia relativa y con ponderadores de pares eficientes.

La técnica DEA resulta pertinente para la medición de la eficiencia de los SNI porque sus estimaciones se realizan sobre la base de una serie de supuestos flexibles con respecto a los insumos y los productos utilizados en el ámbito de la innovación, lo cual permite construir una frontera de posibilidades de innovación.

Se concibe un sistema global de sistemas nacionales de innovación en competencia y cooperación. En este contexto, se ha ido definiendo una división del trabajo global en la creación, difusión y utilización de la innovación. Así, algunos sistemas cumplen de manera eficiente el objetivo de creación pero no necesariamente el de difusión y el de utilización de la innovación. Es decir, un sistema puede ser eficiente en un objetivo y

⁹ Una variable de holgura en un problema de optimización es una variable que se agrega a una restricción de desigualdad para transformarla en igualdad; la variable cumple con la restricción de no negatividad. Si la variable toma el valor cero, entonces, la variable es restrictiva. Si toma un valor positivo no es restrictiva y el sistema permite cambios de su posición inicial.

operar con cierto grado de ineficiencia en el cumplimiento de otro o de otros objetivos. Por ejemplo, si un SNI es eficiente en el uso de nuevo conocimiento, no necesariamente lo es en la creación o en su difusión. En un sistema global, el sistema creador requiere que otros sistemas colaboren en la difusión de su innovación y que pongan el conocimiento nuevo o mejorado¹⁰ al alcance de los sistemas usuarios del mismo. Esta dinámica de la innovación implica que un sistema eficiente no necesariamente lo es en el logro de todos los objetivos que se le asignan o que uno ineficiente lo sea en todos sus objetivos.

En el sistema global, un SNI eficiente en creación se considera líder en innovación; un SNI eficiente en difusión se considera innovador moderado y un SNI eficiente en utilización se considera seguidor de la innovación. Un SNI eficiente en creación cuenta con la infraestructura necesaria para ser un eficiente difusor y utilizador del conocimiento; pero se puede suponer que si se ha especializado en creación es porque esta actividad le resulta más rentable aunque ello implique el descuido relativo de alguno de los otros dos objetivos. Sin embargo, un SNI eficiente en difusión o utilización de la innovación no necesariamente cuenta con la infraestructura tecnológica que se requiere para crear innovación. Es en el contexto de la división del trabajo en el sistema global que un SNI eficiente en creación desempeña el papel de líder oferente de innovaciones y un SNI eficiente en difusión o utilización como demandante y usuario de innovaciones.

¹⁰ El *Manual de Oslo* ofrece una especificación sencilla sobre el tipo de conocimiento que se emplea en el proceso de innovación. Considera como *nuevo* al que difiere significativamente en sus características tecnológicas, o a los usos diferentes, que se le da a un producto ya existente. Ello incluye el uso de tecnologías radicalmente nuevas y a la combinación de tecnologías existentes para un nuevo uso. El conocimiento *mejorado*, en términos de producto, es el que se actualiza de manera significativa, ya sea en un mejor desempeño o en un menor costo. Ello incluye el uso de mejores materiales o componentes con mejor desempeño y el cambio en una parte del complejo técnico del sistema de un producto (OCDE-EUROSTAT, 2000).

MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA RELATIVA DEL SNI POR OBJETIVOS

Para evaluar un SNI por objetivos es necesario construir un modelo DEA para cada objetivo, así como un modelo adicional para evaluar al sistema en su conjunto. La diferencia entre cada uno de los cuatro modelos radica en la selección de insumos y de productos. El modelo DEA se aplica a 33 SNI de países pertenecientes a la OCDE¹¹; se utiliza un modelo producto-orientado con rendimientos constantes a escala (RCE).

Una vez identificados los SNI que se van a analizar, se requiere especificar los insumos que emplean y los productos que generan¹². En general, los insumos del SNI son: recursos humanos, recursos financieros y de capital, tales como el gasto en educación, el gasto en ID y la inversión extranjera directa. Entre los productos más importantes del SNI se encuentran: patentes otorgadas, publicaciones científicas y otros resultados de la inversión en ID de la industria (Ta-Wei, 2007; Cai-Yuezhou, 2011). Los datos se tomaron de distintas fuentes de información y, generalmente, son de los años 2010 y 2011, tal como se señala en las citas pertinentes. Como ya se mencionó, para la estimación de los índices de eficiencia se utiliza el paquete xIDEA¹³.

¹¹ Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Republica Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Corea, Luxemburgo, México, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, República Eslovaca, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos. Los países que no se incluyen en el muestra, el caso de Israel, se debe a falta de datos disponibles para el período de estudio.

¹² El número de insumos y de productos que se permiten en la evaluación es función del número de unidades evaluadas. Nasierowsky y Arcelus (2003) y Ta-Wei (2007) consideran que la relación entre unidades tomadoras de decisión y el número de insumos y productos en el modelo DEA se sintetiza en la fórmula siguiente: $UTD > 3 (P+I)$; donde: P = productos, I = insumos.

¹³ Existe una multiplicidad de paquetes para el cálculo de la eficiencia mediante DEA (véase Barr, 2004).

Modelo de creación

La *creación* se define como la capacidad de un SNI de generar nuevo conocimiento o de mejorar el ya existente (Whitley, 2001). El recurso humano es el insumo más importante en la creación de innovación. En este modelo se incluyen dos variables de este insumo¹⁴: i) investigadores dedicados a investigación y desarrollo (ID) por cada millón de personas y ii) índice de disponibilidad de científicos e ingenieros.

En lo que concierne a insumos financieros se incluyen dos indicadores: i) índice de gasto de las compañías en ID y ii) gasto del país en ID como porcentaje del PIB. El primero muestra la importancia relativa de las actividades de ID, así como su fortaleza¹⁵ en el sector privado. El segundo muestra la «intensidad» de la ID a nivel nacional; este indicador es comúnmente utilizado en comparaciones internacionales para mostrar la importancia que los países asignan a las actividades de innovación y avance tecnológico (OCDE-FECYT, 2003) (véase Tabla A-2).

Otros insumos se relacionan con el marco institucional de protección del nuevo conocimiento. En esta investigación se consideraron dos insumos de este tipo: i) índice de calidad de las instituciones de investigación científica y ii) índice de protección a la propiedad intelectual (IPI). El IPI da cuenta del grado de protección con el que cuentan los empresarios para cosechar los probables rendimientos generados por las inversiones en ID. Un alto índice es un incentivo que favorece el esfuerzo en ID (Falvey y Foster, 2006); un bajo índice estimula a los imitadores y seguidores (Barro y Sala-i-Martin, 1995).

¹⁴ El contenido de los conceptos de insumos y productos del modelo de creación se especifican en el anexo, tabla 2.

¹⁵ Según Sancho (2002), este indicador toma en cuenta los gastos corrientes y de capital. Las cifras se pueden desglosar según el tipo de actividad (investigación básica, aplicada y desarrollo experimental), el sector de ejecución y el tipo de industria, de acuerdo con la clasificación industrial ISIC (*International Standards Industrial Classification*).

Los productos que se incluyen son estos: *Patentes otorgadas por la USPTO por millón de personas*¹⁶ y *Número de patentes triádicas por miles de personas*. Para Archibugi y Coco (2004), una patente es el conocimiento codificado que en forma de innovación tecnológica se crea con fines comerciales para beneficio de la empresa que patentó. La patente triádica es la que se registra en las tres principales oficinas de patentes a nivel mundial: la Oficina Europea de Patentes, la Oficina Japonesa de Patentes y la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos. Una patente triádica suele tener un mayor valor económico y permite superar los sesgos que representa el registro de patentes a nivel local o por localización geográfica (Dernis y Khan, 2004; OCDE, 2011).

Modelo de difusión

La *difusión* es la capacidad de un SNI de propagar las innovaciones mediante canales de transmisión no necesariamente de mercado. Se difunde lo que es nuevo para las empresas, aunque el impacto económico de esta difusión no se limita a la empresa, sino que se puede diseminar a toda una sociedad (Whitley, 2001). En este modelo se consideran dos grupos de insumos: recursos humanos e infraestructura tecnológica. Por un lado, Hall y Khan (2003) sugieren que las competencias de la fuerza de trabajo inciden en la difusión de las nuevas tecnologías, toda vez que permiten llevar a cabo su implementación y operación a nivel de firma. Por el otro lado, la infraestructura tecnológica, entendida como *stock* de bienes de capital, hace posible el manejo del conocimiento disponible en una sociedad para transformar su entorno en beneficio de su calidad de vida. En los sistemas nacionales de innovación la infraestructura tecnológica marca la diferencia entre contar o no con la capacidad

¹⁶ Patentes otorgadas en 2010. Fuente: ICG, 2011.

para aprovechar los beneficios que ofrece la difusión (Smith, 1997, 2005; Justman y Teubal, 1996).

El modelo de difusión utiliza como insumos¹⁷ de *recursos humanos* los siguientes: i) índice de disponibilidad de científicos e ingenieros, ii) índice de calidad de la educación en ciencia y matemáticas, iii) índice de calidad del sistema educativo y iv) tasa de matriculados en educación terciaria (véase tabla A-3).

En términos de infraestructura¹⁸, los insumos son: i) formación bruta de capital como porcentaje del PIB y ii) índice de calidad de la infraestructura general.

Se consideran como productos de la difusión los siguientes: i) índice de absorción tecnológica a nivel de firma, ii) índice de acceso a las últimas tecnologías y iii) índice de inversión extranjera directa y transferencia tecnológica (tabla A-3). Las dos primeras variables están unidas, en la medida en que las empresas tengan acceso a las nuevas tecnologías y cuenten con la capacidad técnica, humana e institucional para adoptarlas, en esa medida el resultado de ambas variables se puede tomar como indicador de la eficiencia del SNI en difusión de la innovación. Por su parte, el indicador de inversión extranjera directa (IED) y el de transferencia tecnológica (TT) muestran los incentivos que tienen las empresas de enviar sus recursos al país receptor. Cada empresa realiza un análisis costo/beneficio de invertir y transferir tecnología a los países de interés; por ello, se supone que un país receptor cuenta con la técnica y el recurso humano para difundir e implementar la innovación a nivel de firma y, con ello, generar el valor agregado que estimu-

¹⁷ El contenido de los conceptos de insumos y productos del modelo de difusión se especifican en el anexo, Tabla 3.

¹⁸ Se refiere a *infraestructura tecnológica* que puede usarse para difundir la innovación. En la literatura especializada se suele distinguir dos tipos de infraestructura: la económica y la social. Para una revisión al respecto se sugiere consultar los trabajos de Perrotti (2011) y Snieska y Simkunaite (2009). Algunas veces se hace referencia a una *infraestructura en conocimiento*, diferenciándola de la infraestructura tecnológica; para tal efecto, consúltese a Smith (1997).

la a la empresa matriz a continuar con el proceso de inversión y de transferencia tecnológica.

Modelo de utilización

La utilización es la finalidad del proceso de innovación pero también es el punto de partida que retroalimenta a la creación y la difusión (Whitley, 2001). Los insumos¹⁹ utilizados en el modelo son: i) índice de acceso a internet en las escuelas; ii) índice de calidad del suministro de energía; iii) índice de disponibilidad de capital de riesgo; iv) usuarios de internet; v) índice de procuración del gobierno en el avance de las tecnologías en producto; vi) líneas de telefonía fija por cada cien habitantes y vii) suscripciones en telefonía móvil por cada mil habitantes (véase tabla A-4).

El producto del modelo es el *PIB per cápita en dólares corrientes de 2010*. El uso de este indicador supone que la población de un país que utiliza bien sus recursos tecnológicos tendrá un alto nivel de bienestar económico (tabla A-4).

Modelo general

Los insumos que se consideraron más representativos de cada objetivo se incluyeron en el modelo general. Así, del modelo de creación se integraron como insumos del general: i) índice de protección a la propiedad intelectual, ii) investigadores dedicados a investigación y desarrollo (ID) por cada millón de personas y iii) gasto en ID como porcentaje del PIB. Del modelo de difusión se consideraron: iv) índice de calidad de la infraestructura general y v) índice de calidad del sistema educa-

¹⁹ El contenido de los conceptos de insumos y productos del modelo de utilización se especifican en el anexo, tabla 4.

tivo. Del modelo de utilización se incluyeron: vi) índice de disponibilidad de capital de riesgo y vii) usuarios de internet.

Los productos del modelo de creación se consideraron los más representativos de la innovación y se incluyeron como productos del modelo general: i) patentes otorgadas por la USPTO por millón de personas y ii) número de patentes triádicas por miles de personas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS. LA POSICIÓN RELATIVA DEL SNI DE MÉXICO

Los índices de eficiencia estimados con el xlDEA, para cada uno de los modelos, se presentan a continuación.

Modelo de creación

Con base en los resultados de la estimación del índice eficiencia relativa de los SNI por objetivo de creación, identificamos cuatro grupos de SNI (véase tabla 1). En el primero se encuentran los de Estados Unidos, Japón y Suiza; son los más eficientes, su índice de eficiencia resultó igual a 1. Estos SNI cuentan con importantes recursos para ID y para la formación de capital humano con elevadas capacidades de absorción de conocimientos científicos y tecnológicos; además, cuentan con sistemas eficientes de incentivos a la innovación y con las redes necesarias para que las instituciones y empresas caminen en un círculo virtuoso de innovación.

En el segundo grupo se ubican los SNI de países que son seguidores de los líderes y cuya eficiencia relativa es cercana a 1. Estos países registran niveles convergentes hacia los países líderes en términos de esfuerzos y entramado institucional favorables a la innovación, pero sus SNI aún no logran estar en la frontera de los líderes. Destaca Corea, país de reciente industrialización, con grandes inversiones en educación, en ID y con

una política gubernamental industrial orientada a lograr una clara coordinación con los grandes corporativos (*chaebols*).

En el tercer grupo se encuentran los SNI de países cuyo índice de eficiencia relativa se encuentra alrededor de la media. Cabe destacar que el promedio del índice de eficiencia de los SNI de los países de la OCDE estudiados es 0.41. Son también SNI que podrían caracterizarse como seguidores de los líderes pero en nivel menor. Algo que caracteriza a este bloque de países es que reportan un déficit en la balanza comercial de bienes tecnológicos y sus exportaciones se orientan a productos con mediano contenido tecnológico²⁰.

Finalmente, en el cuarto grupo se encuentran los SNI con niveles de eficiencia relativa muy por debajo de la media, son los de bajo nivel de innovación. Pertenecen a los países que menos recursos destinan a la ID; además, se caracterizan por su débil sistema institucional para la formación de recursos humanos, su escasa interacción entre instituciones y empresas, un déficit en sus balanzas comerciales de bienes tecnológicos y por la exportación de bienes de bajo contenido tecnológico (Aboites y Cimoli, 2002). Son países de Europa Oriental (Hungría, Estonia, Eslovenia) y de Europa Occidental (España e Irlanda), los cuales han realizado importantes esfuerzos con el propósito de remontar el rezago relativo frente al conjunto de países de la OCDE. En contraste, en México ha persistido una tendencia de mantener un gasto bajo en ID como porcentaje el PIB (0.4%); además, la participación de las empresas en el gasto en

²⁰ En un estudio sobre sistemas nacionales de innovación y de propiedad intelectual, Aboites y Cimoli (2002) identifican que Francia y Reino Unido tienen un sistema de patentes estable, comparado con el sistema convergente de países líderes y el divergente de países con bajas capacidades tecnológicas y de innovación. Entre los aspectos que caracterizan a los países del sistema estable se encuentran los siguientes: su elevado gasto en ID; una alta participación de las firmas en el gasto de ID; déficit en la balanza de bienes tecnológicos; un sistema bien desarrollado para formar recursos humanos, y exportaciones de productos con mediano contenido tecnológico.

ID aún es mínima, los recursos destinados a la educación aún tienen importantes rezagos y el nivel de patentes es marginal (Guzmán y Brown, 2013)²¹. Los magros resultados de innovación en México se asocian con el débil gasto en ID como porcentaje del PIB, lo que a su vez no favorece la absorción de conocimientos provenientes de las derramas de conocimiento tecnológico derivadas de la inversión extranjera, del comercio internacional y otras fuentes formales e informales de adquisición de tecnología (Guzmán, López-Herrera y Venegas-Martínez, 2012).

No obstante las reformas tendientes a la apertura comercial y el modelo basado en las exportaciones, México no ha logrado fortalecer las instituciones y los vasos comunicantes entre instituciones y organizaciones para promover una política de crecimiento basado en la innovación. A pesar de que el sistema de patentes adoptado por México desde 1991 se caracteriza por estar bien diseñado para incentivar la innovación, aún falta concordancia entre las políticas indispensables para fomentar la creación de innovación.

En DEA los *pares eficientes* definen el mejor desempeño alcanzable por un SNI ineficiente, el cual puede tratar de imitar a sus pares con el propósito de mejorar su eficiencia. El movimiento hacia la frontera se realizaría, teóricamente, si el vector de insumos y productos del SNI ineficiente se ajustara al resultado de una combinación lineal de los vectores de los pares eficientes respectivos; los ponderadores para la suma de los vectores de los pares eficientes son un resultado del DEA. En otras palabras, el DEA forma un SNI virtual de un SNI ineficiente como una combinación ponderada de los pares eficientes. Ese SNI virtual es la proyección en la frontera de eficiencia del SNI ineficiente.

²¹ Otros estudios sobre México han mostrado que los esfuerzos en ID son débiles y que las capacidades de innovación son reducidas (Cimoli, Porcile, Primi y Vergara, 2005; Cimoli, 2000 y Aboites y Dutrénit, 2003).

TABLA 1.—Eficiencia relativa en creación de los SNI de los países de la OCDE

Nivel de eficiencia relativa	Países	Características de la creación en el SNI
Índice de eficiencia relativa igual a 1	Estados Unidos, Japón y Suiza	<i>Países con SNI líderes en innovación.</i> Elevado gasto en ID como % del PIB y de las firmas, alto nivel de capital humano y marco institucional fuerte (alta apropiabilidad de las innovaciones), estrechos vínculos entre instituciones y firmas. Alto nivel de generación de patentes.
Índice de eficiencia relativa cercano a 1	Corea del Sur (0.893), Países Bajos (0.806), Suecia (0.788) Alemania (0.731), Luxemburgo (0.686), Finlandia (0.646), Canadá (0.642).	<i>SNI seguidores de los líderes en innovación.</i> Esfuerzos en ID pueden ser convergentes a los países líderes y con sólidas instituciones vinculadas a la innovación, pero el nivel de patentes es menor que el de los líderes.
Índice de eficiencia relativa alrededor de la media	Austria (0.548), Bélgica (0.516) Dinamarca (0.516), Noruega (0.492), Francia (0.488), Reino Unido (0.403), Irlanda (0.359), Australia (0.328), Italia (0.327) y Nueva Zelanda (0.309).	<i>SNI seguidores con un nivel de especialización tecnológica media.</i> Esfuerzos en ID importantes y poseen capital humano calificado.
Índice de eficiencia relativa muy por debajo de la media	Islandia (0.287), Hungría (0.123), Estonia (0.113), Eslovenia (0.108), España (0.107), Grecia (0.062), República Eslovaca (0.058), República Checa (0.047), Chile (0.034), Polonia (0.032), Portugal (0.031), México (0.029) y Turquía (0.027).	<i>SNI con bajo nivel de innovación.</i> Bajo gasto en ID. Débil sistema institucional en la formación de recursos humanos. Débil interacción entre instituciones y empresas. Nivel marginal relativo de patentes.

Fuente: elaboración propia con base en las estimaciones de eficiencia relativa de SNI con el método de *Análisis Evolutivo de Datos*. Tabla A-5.

Los pares eficientes del SNI mexicano son Suiza (0.0004) y Estados Unidos (0.0906). En términos generales, ello significa que el objetivo del SNI de México debiera ser el vector insumo-producto que resulta de la combinación lineal de .0004 del vector insumo-producto del SNI de Suiza más .0906 del vector insumo-producto de Estados Unidos. En otras palabras, para remontar la ineficiencia relativa del SNI de México se recomienda la adopción de los métodos y las prácticas del SNI con mayor ponderación.

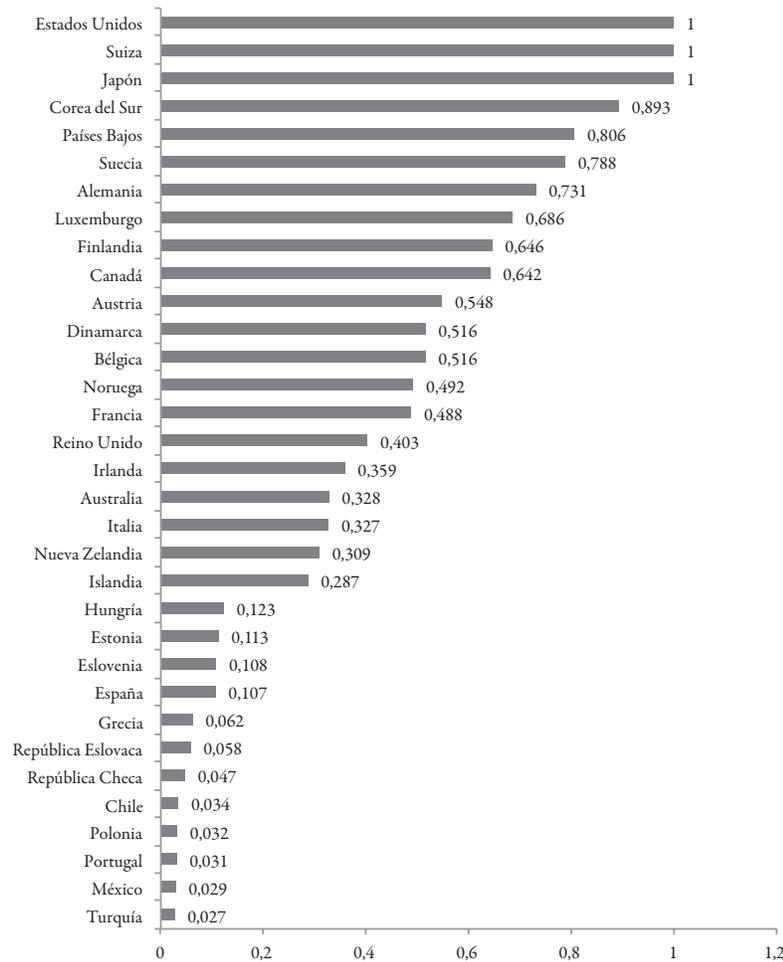
De acuerdo con la eficiencia con que operan los pares eficientes para el caso de México (Suiza y Estados Unidos), su SNI requeriría un movimiento radical hacia la frontera de eficiencia; es decir, aumentar el producto sin alterar la cantidad y la mezcla de insumos. El SNI de México requeriría un aumento de $3,348.27\% = [(1/0.029)-1]*100$ de su producto; ello significaría que debería de haber producido 30.85 patentes en lugar de las 0.9 otorgadas por la USPTO por cada millón de personas en 2011, según el reporte de competitividad global del Foro Económico Mundial.

En el Gráfico 1 se presentan los índices de eficiencia relativa en la creación de innovaciones para los SNI de los países de la OCDE. Como puede observarse, las barras de mayor longitud corresponden a los países con SNI eficientes y su índice es igual a la unidad. Los países con SNI no eficientes tienen un índice menor a la unidad.

El modelo de difusión

Los resultados muestran que casi todos los países de la OCDE cuentan con recursos humanos e infraestructura tecnológica convergentes para la difusión relativamente eficiente de las innovaciones. Así, de los 33 países estudiados, 30 tienen un índice de eficiencia en difusión de entre 0.9 a 1. Los 3 países restantes (Bélgica, Canadá y Finlandia) se encuentran en el rango de entre 0.80 y 0.90. La media del índice de eficiencia relativa del conjunto de países considerados fue la más alta de las cuatro

GRÁFICO 1.— Índice de eficiencia relativa del SNI por creación de la OCDE



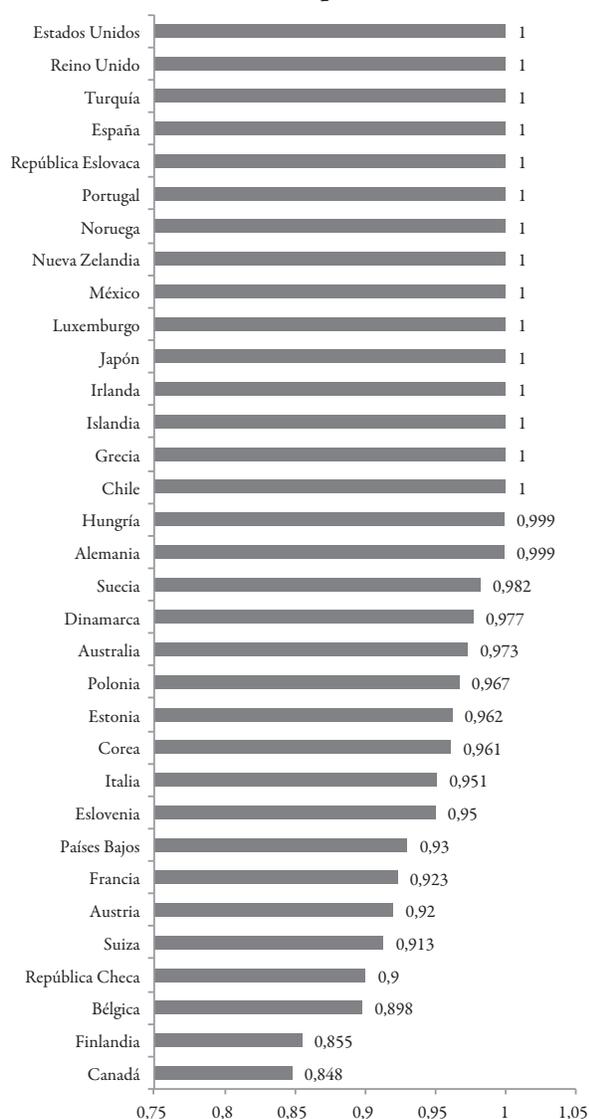
Fuente: Tabla 5 del Anexo.

que se obtuvieron, 0.967 (véase Gráfico 2). La OCDE incide en una política para que sus países miembros adopten niveles convergentes en materia educativa y en adopción de tecnologías de la información y la comunicación que contribuyan al objetivo de la difusión del conocimiento científico y tecnológico.

El SNI de México resultó eficiente en difusión al igual que los SNI líderes como los de Japón y Estados Unidos. Estos resultados indican que un país eficiente en creación puede también serlo en

difusión y que un país ineficiente en creación puede ser eficiente en difusión. En el Gráfico 2 se presentan los índices de eficiencia relativa en la difusión de innovaciones para los SNI de los países de la OCDE; las barras de mayor longitud corresponden a los países con SNI eficientes y su índice es igual a la unidad. Los países con SNI no eficientes tienen un índice menor a la unidad.

GRÁFICO 2.—*Índice de eficiencia relativa del SNI por difusión en países de la OCDE*

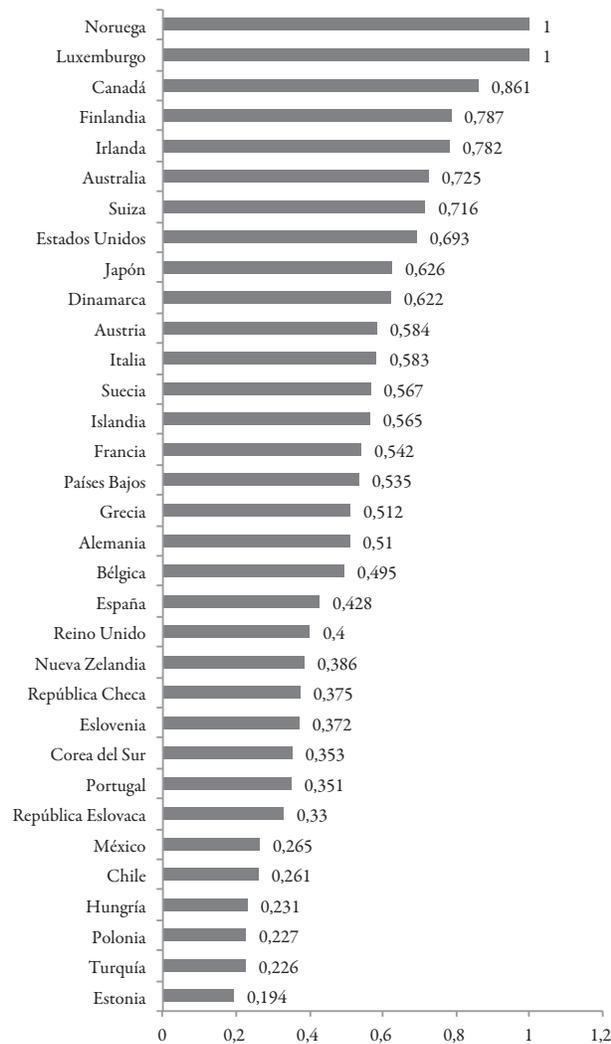


Fuente: Tabla 5 del Anexo.

El modelo de utilización

Los resultados muestran que —conforme a lo esperado en la hipótesis de este trabajo— un SNI puede ser eficiente en difusión, como lo son casi todos los países de la OCDE, y ser ineficiente en utilización. Así, no obstante que los SNI de Estados Unidos y Japón son eficientes en creación y difusión no lo son en utilización de la innovación (véase Gráfico 3). Lo anterior,

GRÁFICO 3.—*Índice de eficiencia relativa del SNI por utilización en países de la OCDE*



Fuente: Tabla 5 del Anexo.

podría asociarse al hecho de que la enorme cobertura del uso de las tecnologías de la información y la comunicación no necesariamente se refleja en el PIB per cápita de los países, el cual está considerado como producto de la utilización; es decir, como una variable proxy del nivel de bienestar que logra la población al utilizar las nuevas tecnologías y, en general, las innovaciones.

En el Gráfico 3 se presentan los índices de eficiencia relativa en la utilización de innovaciones para los SNI de los países de la OCDE; las barras de mayor longitud corresponden a los países con SNI eficientes y su índice es igual a la unidad. Los países con SNI no eficientes tienen un índice menor a la unidad. Los resultados muestran que los SNI eficientes son los de Luxemburgo y Noruega. El SNI mexicano es ineficiente con una puntuación de 0.265, muy por debajo de la media (0.407). Los pares eficientes del SNI de México son los de Luxemburgo (0.2983) y Noruega (0.0425). Lo cual indica que para proyectarse a la frontera de eficiencia se necesitaría el vector insumo-producto que resulta de la combinación lineal de 0.0425 del vector insumo-producto del SNI de Noruega más 0.2983 del vector insumo-producto de Luxemburgo. En otras palabras, la recomendación es que el SNI de México adopte los métodos y prácticas del SNI de Luxemburgo. Esto implica que las políticas en el marco de los SNI deben procurar extender el uso de las nuevas tecnologías que inciden en un mayor PIB per cápita.

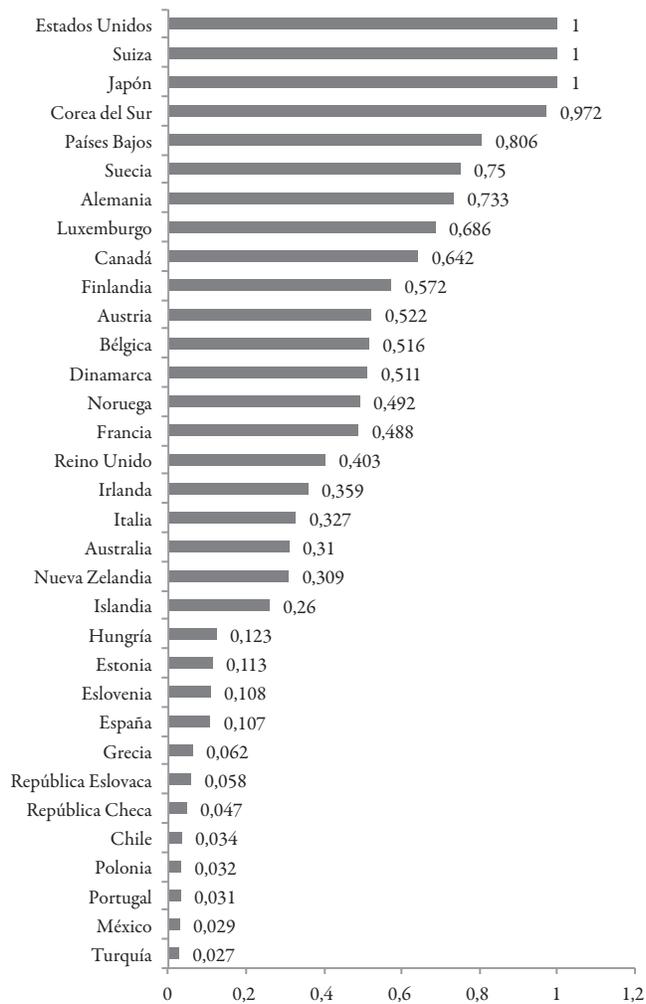
El modelo general

Las estimaciones previas de los índices de eficiencia por objetivos permiten identificar algunas fortalezas y deficiencias de los SNI y, por lo tanto, plantear políticas para mejorar el logro de sus objetivos. El modelo general da cuenta de la eficiencia relativa general de los SNI y permite apreciar algunas fortalezas y debilidades relativas de los sistemas en su conjunto. Los SNI de Japón, Suiza y Estados Unidos presentan una eficiencia de 1. La media del índice de eficiencia para los países OCDE fue de 0.407. La mitad de los países se encuentra con valores de efi-

ciencia por debajo de la media (véase: Tabla 5 y Gráfico 4). Los resultados obtenidos del índice de eficiencia relativa del modelo general del SNI para países de la OCDE, contrastan con estimaciones en estudios previos (Nasierowski y Arcelus, 2003, Ta-Wei, 2007) (véase Tabla 6).

Nuevamente los pares eficientes para México son Suiza (0.04%) y Estados Unidos (9.06%). Este resultado sugiere adop-

GRÁFICO 4.—Índice de eficiencia relativa general del SNI en países de la OCDE



Fuente: Tabla 5 del Anexo.

tar los métodos y prácticas de Estados Unidos. En el Gráfico 4 se presentan los índices de eficiencia relativa global los SNI de los países de la OCDE; las barras de mayor longitud corresponden a los países con SNI eficientes y su índice es igual a la unidad. Los países con SNI no eficientes tienen un índice menor a la unidad.

El modelo DEA permite la introducción de algunos insumos o productos no discrecionales, fuera de control en el modelo. Una variable no discrecional solo muestra qué cambio exógeno sería favorable para que un SNI logre la eficiencia. En el modelo general se incluyó como variable no discrecional o de contexto al *índice de calidad en la regulación*. Los resultados del xIDEA muestran que una mejora en este índice favorecería el desempeño de los SNI menos eficientes, como lo es el de México.

CONCLUSIONES

Un sistema nacional de innovación es un entramado institucional que favorece el diseño y operación de políticas de fomento y desarrollo de capacidades científicas y tecnológicas que incentiven la innovación y, por lo tanto, que impulsen el desarrollo económico y el bienestar social de un país. El SNI de cada nación tiene las particularidades que determinan sus instituciones y sus interacciones entre las diferentes organizaciones y agentes (firmas, universidades, institutos y agencias o instituciones gubernamentales relacionados con la innovación). No obstante, existe consenso en la literatura especializada acerca de los principales indicadores que dan cuenta del esfuerzo que cada nación realiza y de los resultados que se obtienen en innovación. En tal sentido, en este estudio se planteó evaluar comparativamente la eficiencia relativa de los SNI, en cada uno de sus principales objetivos, de los países de la OCDE, utilizando la metodología DEA.

La estimación única del índice de eficiencia de un SNI, en su conjunto, limita el diagnóstico y el planteamiento de políticas tendientes a mejorar su desempeño. En cambio, una evalua-

ción por objetivos genera información más rica que facilita a los tomadores de decisiones un análisis más adecuado de las fortalezas y debilidades del sistema y, con ello, dirigir mejor sus esfuerzos de elaboración y aplicación de política pública en materia de ciencia, tecnología e innovación.

La diversidad de los SNI de los países de la OCDE se debe a diferencias en los recursos invertidos en creación, difusión y utilización de la innovación. En consecuencia, los índices de eficiencia relativa por objetivo muestran que países con SNI eficientes en alguno de sus objetivos pueden operar con cierto grado de ineficiencia en el cumplimiento de otro o de otros objetivos. Tal hipótesis quedó demostrada en los resultados obtenidos en esta investigación. En ese sentido, se observa que los países que destinan mayores recursos a la ID como porcentaje del PIB y a la formación de recursos humanos; cuyas empresas tienen una mayor participación en el gasto en ID, y que desarrollan un entorno institucional con políticas que fomentan las sinergias favorables para el desarrollo de capacidades tecnológicas y científicas, son países cuyos SNI son más eficientes en el objetivo de creación de innovación. El nivel de eficiencia relativa en el objetivo de difusión es convergente en todos los SNI de los países de la OCDE. Sin embargo, no existe tendencia a la convergencia en los índices de eficiencia relativa en el objetivo de utilización. Este resultado sugiere que en los países más ineficientes no han sido suficientes los esfuerzos de cobertura en el uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación por parte de la población y que, por lo tanto, el déficit en esta cobertura se refleja en un bajo PIB per cápita; o bien, el esfuerzo ha sido suficiente y se ha extendido el uso de nuevas tecnologías, pero aún no se traduce en efectos positivos para el crecimiento económico y el bienestar de la población.

Lo anterior, podría asociarse al hecho de que la enorme cobertura del uso de las tecnologías de la información y la comunicación no necesariamente se refleja en el PIB per cápita de los países, el cual está considerado como producto de la utilización. Es decir, esta variable se usa como una proxy del nivel de bien-

estar que logra la población al utilizar las nuevas tecnologías y, en general, las innovaciones.

Los índices de eficiencia relativa estimados con el modelo general, para los SNI de los países de la OCDE, muestran resultados contrastantes. Por un lado, se encuentran los SNI con eficiencia sistémica (Estados Unidos, Japón y Suiza) y, por el otro lado, los SNI que a pesar de ser eficientes en uno de sus objetivos, el de difusión (en el cual se encontró evidencia de convergencia, en la frontera de eficiencia, de todos los SNI), en términos sistémicos resultaron con bajos índices de eficiencia, como es el caso del SNI de México. En consecuencia, las debilidades de los SNI ineficientes se encuentran en la creación y la utilización de la innovación. Un remedio para estas debilidades radica en la canalización de una mayor cantidad de los insumos físicos y humanos especificados en los modelos de creación y utilización de la innovación, así como en la promoción de una mayor y mejor interacción entre las instituciones y las organizaciones (agentes) involucradas en el logro de los objetivos centrales de los SNI.

Los índices de eficiencia relativa estimados nos conducen a plantear que el SNI de México debe mejorar sus métodos y prácticas de generación de innovación. Tomando como modelo la experiencia del SNI de Estados Unidos, es posible que México aumente el producto del sistema en la creación de innovación con los insumos que cuenta. El SNI de Estados Unidos es uno de los líderes en innovación y con este país mantenemos no solo una vecindad, sino amplios vínculos económicos y comerciales, refrendados en el TLCAN. En consecuencia, un mayor esfuerzo de México en ID, en educación, en la mejora del diseño de las instituciones relacionadas con la innovación, así como con los vínculos entre empresas y de las empresas con las instituciones de educación superior y de investigación, pueden propiciar mayor absorción del conocimiento tecnológico proveniente de la IED, los flujos comerciales del TLCAN y las derramas tecnológicas que se originen. De este estudio comparativo se desprende que en México es necesario mejorar la infraestructura tecnológica —el acceso a internet en las escuelas, la calidad del

suministro de energía, la disponibilidad de capital de riesgo, el número de usuarios de internet, las líneas de telefonía fija por cada cien habitantes y la suscripción en telefonía móvil por cada mil habitantes, así como orientar con mayor claridad las decisiones de contratación pública para fomentar la innovación tecnológica— si se desea aumentar la eficiencia en la utilización de las innovaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- ABOITES, Jaime y CIMOLI, Mario (2002), «Intellectual Property Rights and National Innovation Systems. Some lessons from the Mexican Experience», *Revue d'économie industrielle*, 99, segundo trimestre, 215-232.
- ABOITES, Jaime y DUTRÉNIT, Gabriela (coords.) (2003), *Innovación, aprendizaje y creación de capacidades tecnológicas*, México, Miguel Ángel Porrúa / Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.
- ALCORTA, Ludovico y PERES, Wilson (1998), «Innovation Systems and Technological Specialization in Latin America and the Caribbean», *Research Policy*, 26, 857-881.
- ARCHIBUGI, Daniele y COCO, Alberto (2004), «A new indicator of technological capabilities for developed and developing countries (ArCo)». *World Development*, 32 (4), 629-654.
- AROCENA, Rodrigo y SUTZ, Judith (2000), «Looking at the National Systems of Innovation from the south». *Industry and Innovation*, 7(1), 55-75.
- BALZAT, Marcus (2002), «The Theoretical Basis and the Empirical Treatment of National Innovation Systems», Institute for Economics, University of Augsburg, Serie de Documentos de Discusión núm. 232. Consultado en <http://www.druid.dk/conferences/winter2003/Paper/Balzat.pdf>
- BALZAT, Marcus y HORST, Hanusch (2004), «Recent trends in the research on national systems of innovation», *Journal of Evolutionary Economics*, 14, 197-210.

- BARR, Richard (2004), «DEA Software Tools and Technology: A State-of-the-Art Survey», en William W. Cooper, Lawrence M. Seiford y Joe Zhu (eds.), *Handbook on Data Envelopment Analysis*, Boston, Kluwer Academic Publishers, 539-566.
- BARRO, Robert y SALA-I-MARTIN, Xavier (1995), «Technological Diffusion, Convergence, and Growth», *Economic Working Paper*, 116.
- BERGEK, Anna y JACOBSSON, Staffan (2003), «The Emergence of a Growth Industry: A Comparative Analysis of the German, Dutch and Swedish Wind Turbine Industries», en J. S. Metcalfe *et al.* (Eds.), *Change, Transformation and Development*, Berlín, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 197- 227.
- BRACZYK, Hans-Joachim y HEIDENREICH, Martin (1998), «Regional governance structure in a globalized world», en Hans-Joachi Braczyk, Philip Cooke, Martin Heidenreich (editores), *Regional innovation systems*, Londres, UCL Press, 414-440.
- BRESCHI, Stefano y MALERBA, Franco (1997), «Sectoral systems of innovation: technological regimes, Schumpeterian dynamics, and spatial boundarie», en Charles Edquist, (editor), *Systems of innovation*, Londres, F. Pinter.
- BROWN, Flor y GUZMÁN, Alenka (2014), «Innovation and Productivity across Mexican Manufacturing Firms», *Journal of Technology Management & Innovation*, 9, (4), Special Issue, Technical Change and Innovation Policy in Latin America, Lessons learned, 36-52, noviembre.
- CAI, Yuezhou (2011), «Factors Affecting the Efficiency of the BRICS's National Innovation Systems: A Comparative Study based on DEA and Panel Data Analysis», *E-Journal*, Discussion Paper, núm. 2011-52.
- CAI, Yuezhou y HANLEY, Aoife (2012), «Building BRICS: 2-Stage DEA analysis of R&D Efficiency», *Kiel Working Paper*, núm. 1788.
- CARLSSON, Bo y STANKIEWICZ, Rikard (1991), «On the nature, function and composition of technological systems», *Journal Evolutionary Economy*, núm. 1, 93-118.
- CARLSSON, Bo, JACOBSSON, Staffan, HOLMÉN, Mangus, y RICKNE, Annika (2002), «Innovation systems: analytical and methodological issues», *Research Policy*, 31 (2), 233-245.

- CHANG, Yuan-Chieh y CHEN, Ming-Huei (2004), «Comparing approaches to systems of innovation: the knowledge perspective», *Technology in Society*, 26 (1), 17-37.
- CHARNES, Abraham, COOPER, William W. y RHODES, Eduardo (1978), «Measuring the efficiency of decision making units», *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- CIMOLI, Mario (ed.) (2000), *Developing Innovation System: Mexico in the Global Context*, Nueva York y Londres, Continuum-Pinter.
- CIMOLI, Mario, PORCILE, Gabriel, PRIMI, Annalisa y VERGARA, Sebastián (2005), «Cambio estructural, heterogeneidad productiva y tecnología en América Latina», en Mario Cimoli (ed.), *Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina*, Santiago de Chile, CEPAL-BID.
- COOKE, Philip, URANGA, Mikel y ETEXBARRIA, Goio (1997), «Regional innovation systems: institutional and organizational dimension», *Res Policy*, 26, 475-91.
- DE LA MOTHE, John y PAQUET, Gilles (eds.) (1996), *Evolutionary economics and the new international political economy*, Londres, Pinter.
- DERNIS, Hélène y KHAN, Mosahid (2004), «Triadic Patent Families Methodology», *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, núm. 2004/2.
- DOLOREUX, David y PARTO, Saeed (2004), «Regional Innovation Systems: A critical synthesis», en *UNU-INTECH Discussion Papers*, núm. 2004-17.
- DOSI, Giovanni, FREEMAN, Christopher, NELSON, Richard, SILVERBERG, Gerald y SOETE, Luc (eds.) (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter.
- EDQUIST, Charles y JOHNSON, Björn (1997), «Institutions and Organizations in Systems of Innovation», en Charles Edquist (editor), *Systems of Innovation. Technologies, Institutions and Organizations*, Londres, Pinter.
- EDQUIST, Charles (ed.) (1997), *Systems of Innovations*, Londres, Pinter.
- (2001), «The systems of innovation approach and innovation policy: An account of the state of the art», DRUID Conference, Aalborg, 12-15 junio.
- EDQUIST, Charles y LUNDVALL, Bengt-Åke (1993), «Comparing the Danish and Swedish systems of innovations», en Richard R.

- Nelson (ed.), *National Innovation Systems*, págs. 265-298, Nueva York, Oxford University Press.
- EDQUIST, Charles y HOMMEN, Leif (1999), «Systems of innovation: theory and policy for the demand side», *Technology in Society*, 21, 63-79.
- FALVEY, Rod, FOSTER, Neil y GREENAWAY, David (2006), «Intellectual property rights and economic growth», *Review of Development Economics*, 10 (4), 700-719.
- FEINSON, Stephen (2000), «National Innovation Systems Overview and Country Cases», Report CSPO, Conference Knowledge Flows and Knowledge Collectives: Understanding the Role of Science and Technology Policies in Development.
- FREEMAN, Christopher (1987), *Technology policy and economic performance: Lessons from Japan*, Londres, Pinter Publishers.
- (1995), «The National System of Innovation in historical perspective». *Cambridge Journal of Economics*, 19, 5-24.
- GRUPP, Hariolf y SCHUBERT, Torben (2010), «Review and new evidence on composite innovation indicators for evaluating national performance», *Research Policy*, 39 (1), febrero, 67-78.
- GUZMÁN, Alenka, LÓPEZ-HERRERA, Francisco y VENEGAS-MARTINEZ, Francisco (2012), «Un análisis de co-integración entre patentes y crecimiento económico en México, 1980-2008». *Investigación Económica*, LXXXI (281), julio-septiembre, 83-115.
- HALL, Bronwyn y KHAN, Beethika (2003), «Adoption of new technology», NBER Working Paper, núm. 9730.
- HEKKERT, Marco P., SUURS, Roald A., NEGRO, Simona O., KUHLMANN, Stefan, y SMITS, Ruud (2007), «Functions of Innovation Systems: A new approach for analyzing technological Change», *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (4), 413-432.
- HOLLANDERS, Hugo, y CELIKEL, Funda (2007), «Measuring innovation efficiency», *INNO-Metrics Thematic Paper*, diciembre.
- JOHNSON, Anna (2001), «Functions in Innovation System Approaches», Conferencia DRUID Nelson-Winter, Aalborg, Dinamarca.
- JUSTMAN, Moshe y TEUBAL, Morris (1996), «Technological infrastructure policy: creating capabilities and building markets», *Research Policy* (24), 259-281.

- KAST, Fremont E. y ROSENZWEIG, James E. (1972), «The modern view: a systems approach», en John Beishon y Geoff Peters (eds.), *Systems Behavior*, Londres, Open University Press.
- LEE, Hak-Yeon y PARK, Young-Tae (2005), «An International Comparison of R&D Efficiency: DEA Approach», *Asian Journal of Technology Innovation*, 13 (2), 207-222.
- LEMARCHAND, Guillermo (ed.) (2010), *Sistemas nacionales de ciencia, tecnología e innovación en América Latina y el Caribe*. Montevideo, Oficina Regional de Ciencia Para América Latina y el Caribe (UNESCO).
- LIST, Friedrich (1841), *The National System of Political Economy* [edición inglesa: 1904], Londres, Longman.
- LIU, Xielin y WHITE, Steven (2001), «Comparing Innovation Systems: a framework and application to China's transitional context», *Research Policy*, 30 (7), abril, 1091-1114.
- LUNDVALL, Bengt-Ake (ed.) (1992), *National Systems of Innovations*, Londres, Pinter.
- LUNDVALL, Bengt-Ake, PATARAPONG, Intarakumnerd y VANG, Jan (2006), *Asia's innovation systems in transition*, UK, Cheltenham/Northampton, MA, Edward Elgar.
- MALERBA, Franco. (2002). «Sectoral systems of innovation and production». *Research Policy*, 31, 247-264.
- MELO, Alberto (2001), «The Innovation Systems of Latin America and the Caribbean», Banco Interamericano de Desarrollo, *Working Paper*, núm. 460.
- METCALFE, Stan (1995), «The Economic Foundations of Technology Policy: Equilibrium and Evolutionary Perspectives», en Paul Stoneman (ed.), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Oxford (Reino Unido)/Cambridge (Estados Unidos), Blackwell Publishers.
- NASIEROWSKI, Wojciech y ARCELUS, Francisco J. (2003), «On the efficiency of national innovation systems», *Socio-Economic Planning Sciences*, 37 (3) 215-234.
- NASSIF, André (2007), «National Innovation Systems and Macroeconomic Policies, Brazil and India in Comparative Perspective», UNCTAD Discussion Papers, núm. 184.

- NELSON, Richard (ed.) (1993), *National Innovation Systems*, Nueva York, Oxford University Press.
- NELSON, Richard y ROSENBERG, Nathan (1993), «Technical innovation and national systems», en Richard R. Nelson (ed.), *National Innovation Systems*. Nueva York: Oxford University Press.
- NIOSI, Jorge (2002). «National systems of innovation are "x-efficient" (and x-effective). Why some are slow learners», *Research Policy*, 31, 291-302.
- NIOSI, Jorge, SAVIOTTI, Paolo, BELLON, Bertand y CROW, Michael (1993), «National systems of innovations: in search of a workable concept», *Technology in Society*, 15, 207-227.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE) (1997), *National Innovation Systems*, París.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE) (2002), *Dynamising National Innovation Systems*, París.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE) (2011), *OECD Science, Technology and Industry Scoreboard*, París.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE-EUROSTAT) (2000), *Manual de Oslo. Medición de las actividades científicas y tecnológicas: Directrices propuestas para recabar e interpretar datos de la innovación tecnológica*, México, IPN-CIECAS.
- ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICO (OCDE-FECYT) (2003), *Manual de Frascati. Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*, París.
- PATEL, Parimal y PAVITT, Keith (1994), «The Nature and Economic Importance of National Innovation Systems», *STI Review*, 14, París, OECD.
- PERROTTI, Daniel (2011), «The infrastructure gap in Latin America and the Caribbean», *Bulletin FAL*, 293 (1), 1-7. Perrotti, Daniel (2011), http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36339/FAL-293-WEB-ENG-2_en.pdf?sequence=1. Consultado en marzo de 2013.
- PRODUCTIVITY Tools (2009), *XLDEA 2.1*, www.prodtools.com

- RAY, Subhash (2004), *Data Envelopment Analysis. Theory and Techniques for Economics and Operations Research*, Reino Unido, Cambridge University Press.
- RICKNE, Annika (2001), *Assessing the Functionality of an Innovation System*, Goteborg, Chalmers University of Technology.
- SALAI-MARTIN, Xavier (2011), *The Global Competitiveness Report 2011-2012*, Ginebra, Suiza, Klaus Schwab, World Economic Forum.
- SANCHO, Rosa (2002), «Indicadores de los Sistemas de Ciencia, Tecnología e Innovación», *Revista Economía Industrial*, 343, 97-109.
- SHARIF, Naubahar (2006), «Emergence and development of the National Innovation Systems concept», *Research Policy*, 35, 745-766.
- SMITH, Keith (1997), «Economic infrastructures in innovation systems», en Charles Edquist (ed.), *Innovation Systems: Institutions, Organizations and Dynamics*, Londres, Pinter, 86-106.
- (2005), «Innovation Infrastructures». En Gibson H. Geenhuizen (editor), *Regional development and conditions for innovation in the network society*. Indiana: Purdue University Press, 17-34.
- SMITS, Ruud y KUHLMANN, Stefan (2004), «The rise of systemic instruments in innovation policy», *International Journal Foresight Innovation Policy*, 1 (1-2), 4-32.
- SNIESKA, Vytautas y SIMKUNAITE, Ineta (2009), «Socio-Economic Impact of Infrastructure Investments», *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 3, 16-25.
- SOETE, Luc, VERSPAGEN, Bart y TER WEEL, Bas (2009), «Systems of Innovation». En UNU-MERIT Working Paper Series., No. 2009-062.
- TA-WEI, Pan (2007), «Measuring the Efficiency of National Innovation System», *Journal of American Academy of Business*, 11 (2), 176-181.
- TA-WEI, Pan, HUNG, Shiu-Wan y WEN-MIN, Lu (2010), «DEA performance measurement of the national innovation system in Asia and Europe», *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 27 (3), 369-392.
- WHITLEY, Richard (2001), «National Innovation Systems», *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 10303-10309.

TABLA A.1.—Estudios que aplican la metodología DEA para estimar índices de eficiencia de los SNI

Autor(es)/ año	# de países	Insumos	Productos	Principales hallazgos
Nasierowski y Arcelus (2003)	45	1) Importación de bienes y servicios comerciales, 2) Gasto doméstico en investigación, 3) Participación del sector privado de negocios en ID, 4) Empleo en ID, 5) Gasto total en educación	1) Patentes externas por residente, 2) Patentes por residente de un país, 3) Productividad nacional	Introduce la idea de SNI como subsistema de la economía, especifican los insumos, productos y moderadores de este sistema. Colocan al SNI como elemento explicativo en el desarrollo tecnológico, la calidad de vida y la productividad de un país.
Ta-Wei (2007)	40	1) Total del gasto público en educación, 2) Total del gasto en ID (en millones de dólares), 3) Inversión directa por parte del extranjero, 4) Importación de bienes y servicios comerciales, 5) Total del personal en ID	1) Patentes otorgadas a residentes, 2) Patentes aseguradas en el extranjero	Identifica como insumos al trabajo y al capital que se emplea en la innovación. Considera que una mejora en la eficiencia del sistema puede estar relacionada con una mayor cantidad de recursos en ID y con mejoras en el sistema educativo tanto en inversión como en alfabetización.
Lee y Park (2005)	27	1) gastos en ID, y 2) el número de investigadores	1) ingresos por tecnología, 2) artículos en revistas científicas y técnicas, y 3) patentes triádicas	Presenta una tipología de países en relación a la eficiencia relativa que reportan por área tecnológica. Un primer grupo eficiente en la producción de patentes (o inventores); un segundo grupo eficiente en ingresos por tecnología (o comerciantes); un tercer grupo que se consideran eficientes en el número de publicaciones científicas y técnicas (o académicos); y finalmente, un cuarto grupo ineficiente en estas cuatro áreas.

TABLA A.1 (cont.).—Estudios que aplican la metodología DEA para estimar índices de eficiencia de los SNI

Autor(es)/ año	# de países	Insumos	Productos	Principales hallazgos
Cai-Yuezhou (2011)	22	1) GERD (Gasto general en ID); 2) Total de personal en ID	1) Las patentes otorgadas por la WIPO; 2) Los artículos científicos y técnicos publicados; y 3) La exportación en servicios de TIC y alta tecnología	Evalúa la eficiencia relativa de los SNI de los BRICS. El autor encuentra que presentan un desempeño heterogéneo en la eficiencia con que operan, particularmente debido a factores como: la infraestructura en TIC, la investigación empresarial, el ambiente de mercado, el papel del gobierno, el sistema educativo, las economías de escala, la dotación de recursos naturales, y la dependencia externa.
Hollanders y Celikel (2007)	37	15 indicadores agrupados en tres dimensiones: conductores de la innovación, creadores del conocimiento e innovación y emprendimiento	10 indicadores agrupados en dos dimensiones: aplicaciones y propiedad intelectual	Ofrecen una clasificación del desempeño relativo en la eficiencia de los SNI en las siguientes categorías: <i>líderes en innovación</i> (con valores más altos en eficiencia); <i>seguidores en innovación</i> (valores por encima del promedio); <i>innovadores moderados</i> (valores alrededor del promedio); <i>países convergentes</i> (valores por debajo del promedio).

Fuente: Elaboración a partir de fuentes citadas.

TABLA A.2.—Indicadores de insumo (I) y de producto (P) para el modelo de creación

Indicador/Definición	I/P	Fuente	Año
Gasto de las compañías en Investigación y Desarrollo (ID): Muestra qué tanto gastan las compañías de cada país en Investigación y Desarrollo. Se toma el promedio ponderado de 2010 y 2011 y se mide mediante un índice que va de 1 a 7; donde 1 = no se gasta en ID y 7 = se gasta mucho en ID.	I	Salai-i-Martin, World Bank, 2011.	2011
Investigadores dedicados a ID por millón de personas: Representa los investigadores dedicados a ID como profesionales que se dedican al diseño o creación de nuevos conocimientos, productos, procesos, métodos o sistemas, y a la gestión de los proyectos correspondientes. En este indicador, se incluyen los estudiantes de doctorado.	I	Banco Mundial (BM)	2005
Calidad de las instituciones de investigación científica: Mide la valoración de la calidad de las instituciones de investigación científica de cada país. Se estima a partir de un índice promedio ponderado de 2010 y 2011 que va de 1 = muy pobre a 7 = el mejor en su campo a nivel internacional.	I	Salai-i-Martin, World Bank, 2011.	2011
Gasto en ID como porcentaje del PIB: Refleja los gastos corrientes y de capital (público y privado) en trabajo creativo realizado sistemáticamente para incrementar los conocimientos, incluso los conocimientos sobre la humanidad, la cultura y la sociedad, y el uso de los conocimientos para nuevas aplicaciones. El área de investigación y desarrollo abarca tanto la investigación básica, como la investigación aplicada y el desarrollo experimental.	I	OCDE	2008
Disponibilidad de científicos e ingenieros: Mide que tanta disponibilidad de científicos e ingenieros hay en cada país como resultado del promedio ponderado de 2010-2011. El índice va de 1 = no del todo disponible a 7 = bastante disponible.	I	Salai-i-Martin, World Bank, 2011.	2011

TABLA A.2 (cont.).—Indicadores de insumo (I) y de producto (P) para el modelo de creación

Indicador/Definición	I/P	Fuente	Año
<p>Protección a la propiedad intelectual: Califica qué tan débil o fuerte es la protección de la propiedad intelectual en cada país, incluida la lucha contra la falsificación. Este indicador es resultado de un promedio ponderado de entre 2010-2011 que va de 1= muy débil a 7= muy fuerte.</p>	I	Salai-i-Martin, World Bank, 2011.	2011
<p>Patentes otorgadas por la USPTO por millón de personas: Muestra el número de patentes otorgadas en 2010 por la oficina de patentes y marcas de los Estados Unidos por cada millón de habitantes.</p>	P	Global (ICG)	2011
<p>Número de patentes triádicas por miles de personas: Muestra el número de patentes triádicas por cada mil personas. Las patentes triádicas son aquel grupo de la familia de patentes que, de acuerdo con los principales indicadores de ciencia y tecnología de la OCDE, son aquellas patentes que se presentan tanto en la oficina de patentes europea (OEP), la oficina de patentes y marcas de los Estados Unidos (USPTO) y la oficina japonesa de patentes (JPO), ya sea por la misma invención, por el mismo solicitante o por el mismo inventor.</p>	P	OCDE	2010

TABLA A.3.— *Indicadores de insumo (I) y de producto (P) para el modelo de difusión*

Indicador/Definición	I/P	Fuente	Año
<p>Formación Bruta de Capital como porcentaje del PIB: La formación bruta de capital comprende los desembolsos por concepto de adiciones a los activos fijos de la economía más las variaciones netas en el nivel de los inventarios. Los inventarios son las existencias de bienes que las empresas mantienen para hacer frente a fluctuaciones temporales o inesperadas de la producción o las ventas, y los «productos en elaboración». Por su parte, los activos fijos incluyen los mejoramientos de terrenos (cercas, zanjales, drenajes, etc.); las adquisiciones de planta, maquinaria y equipo, y la construcción de carreteras, ferrocarriles y obras afines, incluidas las escuelas, oficinas, hospitales, viviendas residenciales privadas, los edificios comerciales e industriales, y las adquisiciones netas de objetos de valor.</p>	I	Banco Mundial	2010
<p>Calidad de la infraestructura en general: Muestra qué tan especializados o qué tan deficientes son las instituciones de investigación científica de cada país. Este indicador resulta del promedio ponderado de entre 2010 y 2011 que va de 1= muy deficientes a 7=los mejores en su campo a nivel internacional.</p>	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
<p>Disponibilidad de científicos e ingenieros: Refleja la disponibilidad de los científicos y de los ingenieros en cada país. Este indicador, resulta de un promedio ponderado entre 2010 y 2011 que va de 1= ninguna disponibilidad a 7=ampliamente disponibles.</p>	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
<p>Calidad en la educación en ciencia y matemáticas: Refleja la pobreza o la excelencia de la calidad en educación en las escuelas de cada país en los rubros de matemáticas y ciencias. El indicador, resulta del promedio ponderado de los años 2010-2011 que va desde 1= pobre a 7= con excelencia de entre los mejores del mundo.</p>	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
<p>Tasa de matriculados en educación terciaria: Refleja la tasa bruta de la matrícula en educación terciaria para 2008.</p>	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011

TABLA A.3 (cont.).—Indicadores de insumo (I) y de producto (P) para el modelo de difusión

Indicador/Definición	I/P	Fuente	Año
<p>Calidad del sistema educativo: Mide la calidad del sistema educativo en términos de la satisfacción que este le brinda a las necesidades de una economía competitiva. Se sintetiza en un indicador que resulta del promedio ponderado de los años 2010-2011 y que va de 1 = no lo satisface en absoluto a 7 = lo satisface muy bien.</p>	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
<p>Absorción tecnológica a nivel de firma: Mide la habilidad de las empresas de cada país para absorber las nuevas tecnologías. Este indicador resulta del promedio ponderado de los años 2010-2011 que va de 1 = sin absorción 7 = con una fuerte absorción.</p>	P	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
<p>Acceso a las últimas tecnologías: Mide la disponibilidad de las últimas tecnologías en cada país. Como resultado de un promedio ponderado de entre 2010-2011, este indicador va de 1 = no disponibles a 7 = ampliamente disponibles.</p>	P	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
<p>Inversión Extranjera Directa (IED) y Transferencia Tecnológica: Muestra en qué medida un país la Inversión Extranjera Directa (IED) de un país atrae las nuevas tecnologías. Este indicador es un promedio ponderado de 2010-2011 que va de 1 = en nada a 7 = es una fuente clave de la nueva tecnología.</p>	P	Salai-i-Martin-2011. World Bank. Informe de Competitividad Global (ICG)	2011

Fuente: Elaboración a partir de fuentes de información citadas.

TABLA A.4. – Indicadores de insumo (I) y de producto (P) para el modelo de utilización

Indicador/Definición	I/P	Fuente	Año
Acceso de internet en las escuelas: Mide el nivel de acceso a internet en las escuelas de cada país. Un indicador que resulta de un promedio ponderado de 2010-2011 y que va de 1=acceso muy limitado a 7= amplio acceso.	I	Salai-i-Martin-2011. World Bank. Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
Calidad del suministro de energía: Mide la calidad en el suministro de energía eléctrica de cada país en términos de las interrupciones y/o fluctuaciones del voltaje. Este indicador resulta del promedio ponderado de 2010-2011 y va de 1= suministro insuficiente con frecuentes interrupciones a 7= suministro suficiente y fiable.	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
Disponibilidad en capital de riesgo: Refleja la facilidad con la que los agentes emprendedores de proyectos que resultan innovadores y arriesgados, pueden proveerse de capital de riesgo. El indicador resulta del promedio ponderado de 2010-2011 y va de 1= muy difícil a 7 = muy fácil.	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
Usuarios de Internet: Muestra los datos de 2010 del porcentaje de personas que utilizan internet.	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
Procuración del gobierno en el avance de las tecnologías en producto: Muestra las decisiones de contratación pública para fomentar la innovación tecnológica en cada país. El indicador resulta de un promedio ponderado de 2010-2011 que va de 1= no, en absoluto a 7= si, extremadamente eficaz.	I	Informe de Competitividad Global (ICG)	2011
Líneas de telefonía fija por cada cien personas: Refleja los datos de 2010 del número de líneas activas de telefonía fija por cada cien habitantes.	I	Salai-i-Martin, World Bank, 2011.	2011
Suscripciones en telefonía móvil por cada mil personas: Refleja los datos de 2010 del número de suscripciones de telefonía móvil/teléfonos celulares por cada cien habitantes.	I	Salai-i-Martin, World Bank, 2011.	2011
PIB per cápita a dólares corrientes de 2010: Muestra el producto interno bruto per cápita de 2010 medido en dólares corrientes.	P	Salai-i-Martin, World Bank, 2011.	2011

Fuente: Elaboración a partir de fuentes de información citadas.

TABLA A.5.—*Evaluación de la eficiencia del SNI de los países de la OCDE*

	Creación	Difusión	Utilización	General
Australia	0.328	0.973	0.725	0.31
Austria	0.548	0.92	0.584	0.522
Bélgica	0.516	0.898	0.495	0.516
Canadá	0.642	0.848	0.861	0.642
Chile	0.034	1	0.261	0.034
República Checa	0.047	0.9	0.375	0.047
Dinamarca	0.516	0.977	0.622	0.511
Estonia	0.113	0.962	0.194	0.113
Finlandia	0.646	0.855	0.787	0.572
Francia	0.488	0.923	0.542	0.488
Alemania	0.731	0.999	0.51	0.733
Grecia	0.062	1	0.512	0.062
Hungría	0.123	0.999	0.231	0.123
Islandia	0.287	1	0.565	0.26
Irlanda	0.359	1	0.782	0.359
Italia	0.327	0.951	0.583	0.327
Japón	1	1	0.626	1
Corea del Sur	0.893	0.961	0.353	0.972
Luxemburgo	0.686	1	1	0.686
México	0.029	1	0.265	0.029
Países Bajos	0.806	0.93	0.535	0.806
Nueva Zelandia	0.309	1	0.386	0.309
Noruega	0.492	1	1	0.492
Polonia	0.032	0.967	0.227	0.032
Portugal	0.031	1	0.351	0.031
República Eslovaca	0.058	1	0.33	0.058
Eslovenia	0.108	0.95	0.372	0.108
España	0.107	1	0.428	0.107
Suecia	0.788	0.982	0.567	0.75
Suiza	1	0.913	0.716	1
Turquía	0.027	1	0.226	0.027
Reino Unido	0.403	1	0.4	0.403
Estados Unidos	1	1	0.693	1
Promedio países OCDE	0.41	0.967	0.518	0.407

Fuente: elaboración propia con base en las estimaciones de eficiencia relativa de SNI con el método de *Análisis Envolvente de Datos*.

TABLA A.6.—*Comparativo en evaluación de la eficiencia de los SNI*

País	Rojo, Guzmán y Llamas (2016)*	Ta-Wei (2007)	Nasierowski y Arcelus (2003)
Australia	0.310	0.339	0.768
Austria	0.522	0.444	0.634
Bélgica	0.516	0.266	0.919
Canadá	0.642	0.316	0.560
Chile	0.034	0.029	0.696
República Checa	0.047	0.285	0.261
Dinamarca	0.511	0.296	0.503
Estonia	0.113	n.d	n.d
Finlandia	0.572	0.522	0.620
Francia	0.488	0.376	0.746
Alemania	0.733	0.512	0.953
Grecia	0.062	0.233	0.804
Hungría	0.123	0.470	0.345
Islandia	0.260	0.149	0.618
Irlanda	0.359	n.d	0.842
Italia	0.327	0.191	0.947
Japón	1.000	1.000	1.000
Corea del Sur	0.972	1.000	0.477
Luxemburgo	0.686	n.d	n.d
México	0.029	0.056	0.408
Países Bajos	0.806	0.480	0.803
Nueva Zelanda	0.309	1.000	0.455
Noruega	0.492	0.252	0.517
Polonia	0.032	0.352	0.271
Portugal	0.031	0.065	0.411
República Eslovaca	0.058	0.319	n.d
Eslovenia	0.108	0.522	n.d
España	0.107	0.220	0.645
Suecia	0.750	0.512	0.608
Suiza	1.000	0.611	1.000
Turquía	0.027	0.032	0.523
Reino Unido	0.403	0.626	0.793
Estados Unidos	1.000	n.d	0.935

* Estimación de la eficiencia de SBI en el modelo general.

Fuente: Estimación propia y de los autores referidos.