

Eficiencia de la innovación en América Latina. Una aproximación a través del Análisis Envoltente de Datos

*Efficiency of innovation in Latin America.
An approximation through the Data Envelopment Analysis*

*Primer envío: 14/enero/2019; Segundo envío: 11/mayo/2019;
aceptado: 20/junio/2019*

*Antonio Favila Tello**

Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo medir la eficiencia en la innovación de once países latinoamericanos con datos para el año 2018, así como conocer cuáles de los factores considerados tuvieron un mayor impacto en el comportamiento de dicho fenómeno. Se plantea como hipótesis que, la eficiencia en la generación de solicitudes de patente por parte de los países seleccionados se encuentra positivamente determinada por su eficiencia en siete insumos denominados Entorno Regulatorio, Educación Básica, Educación Post-Básica, Investigación y Desarrollo, Infraestructura General, Inversión y Comercio y Competencia. Para corroborar lo anterior se realizó una medición por medio del Análisis Envoltente de Datos (DEA) de tipo radial, orientado al producto, con rendimientos constantes a escala. Los resultados sugieren que la mayor eficiencia la alcanzaron Paraguay, Colombia, Brasil y

* Profesor e investigador adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. Correo electrónico: antonio_favila@hotmail.com

Argentina; los países evaluados como los menos eficientes fueron Costa Rica, El Salvador, Guatemala, México, Ecuador y Uruguay.

Palabras clave: Eficiencia; América Latina; envoltente de datos; patentes.

Clasificación JEL: O32

Abstract

The objective of this research is to measure the innovation efficiency of eleven Latin American countries with data for the year 2018, as well as to know which of the factors considered had a greater impact on the behavior of this phenomenon. It is hypothesized that the efficiency in the generation of patent applications by the selected countries is positively determined by their efficiency in seven inputs called Regulatory Environment, Basic Education, Post-Basic Education, Research and Development, General Infrastructure, Investment and Commerce and Competition. To corroborate the above, a measurement was carried out using a radial type Data Envelopment Analysis (DEA), output oriented, with constant returns to scale. The results suggest that the highest efficiency was reached by Paraguay, Colombia, Brazil and Argentina; the countries evaluated as the least efficient were Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Mexico, Ecuador and Uruguay.

Keywords: Efficiency; Latin America; data envelopment; patents.

JEL Classification: O32

Introducción

La innovación ha sido ampliamente reconocida como un componente esencial para el crecimiento de las economías y para la prosperidad de las naciones. Pese a su importancia, los países han afrontado el reto de innovar de una manera ampliamente diferenciada, lo que ha generado un escenario en el que la mayor parte de las innovaciones recientes han tendido a concentrarse en un pequeño grupo de países. De acuerdo con cifras del Banco Mundial (2019), de las 2,672,250 solicitudes de patentes que se generaron en 2015, el 41% le correspondieron a China, el 21% a Estados Unidos y el 8% a Japón, es decir, estos tres países en conjunto concentraron un 70% del total de solicitudes.

Este comportamiento ha generado numerosas investigaciones que buscan esclarecer el origen de las diferencias nacionales en la capacidad de innovación y

la manera en la que los recursos invertidos en su fomento pueden ser utilizados de mejor forma. Pese a que las investigaciones tocantes a la eficiencia de los recursos invertidos en tareas de innovación son relativamente numerosas, existen pocos estudios enfocados en América Latina.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2016), América Latina muestra niveles bajos de inversión en investigación y desarrollo (I+D), un bajo involucramiento del sector privado en estas actividades, poca producción de patentes y un mayor peso relativo de la investigación básica sobre la investigación aplicada.

En 2016, el gasto promedio en I+D como proporción del Producto Interno Bruto (PIB) para la región de América Latina y el Caribe se ubicó en el 0.67%. Sin embargo, entre los países latinoamericanos existieron diferencias notables. En 2016, el país de la región con el valor más alto en este indicador fue Brasil con un 1.28%; le siguieron en importancia, Argentina (0.53%), México (0.5%) y Costa Rica (0.46%) (RICYT, 2018). Estas cifras contrastan con las de los líderes mundiales de este indicador tales como Israel (4.2%), Corea del Sur (4.2%) y Suecia (3.2%) (OCDE, 2018).

Además de los problemas de financiamiento que denotan estos indicadores, la región enfrenta otras dificultades que impiden el adecuado desarrollo de sus sistemas de innovación, tales como la insuficiente presupuestación pública, la falta de infraestructura física de calidad, la poca vinculación existente entre las universidades y la industria, el rezago en materia de formación de recursos humanos especializados, los mecanismos ineficientes para evaluar a los investigadores, el peso de los escenarios políticos futuros, la baja existencia de conglomerados industriales y la complejidad de los marcos normativos aplicables (UNAM, 2018).

Esto coincide con lo señalado en otros trabajos, como el de Wood et al. (2014), quienes agregan a estos problemas los de una baja valoración cultural hacia la labor científica, una alta complejidad tributaria y fiscal que merma el aprovechamiento de los estímulos a las actividades de I+D, una excesiva burocratización e inoperatividad de los programas de la materia y la poca atención que han recibido alternativas como la atracción de recursos provenientes de organismos internacionales, la generación de start-ups y el crowdfunding.

Ante este escenario, el presente trabajo tiene por objetivo evaluar la eficiencia en innovación para once países latinoamericanos con datos para el año 2018. Los países se seleccionaron con base en la disponibilidad de información respecto a ellos, siendo los elegidos: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Paraguay y Uruguay.

Se plantea como hipótesis que, la eficiencia en la generación de solicitudes de patente por parte de los países seleccionados se encuentra positivamente determinada por su eficiencia en siete insumos denominados Entorno Regulatorio, Educación Básica, Educación Post-Básica, Investigación y Desarrollo, Infraestructura General, Inversión y Comercio y Competencia.

Las variables mencionadas y sus indicadores obedecen al modelo del Índice Global de Innovación (GII por sus siglas en inglés), publicado anualmente por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), la Universidad de Cornell y el Institut Europeen d'Administration des Affaires (INSEAD).

A continuación, se presenta una revisión de la literatura del tema para posteriormente detallar el instrumento de medición utilizado, comentar los resultados encontrados y formular las conclusiones del estudio.

I. Revisión de literatura

La capacidad nacional de innovación y sus determinantes

La capacidad nacional de innovación es aquella habilidad de las empresas, organizaciones e instituciones de un país para producir y comercializar un flujo constante de tecnología innovadora durante un determinado periodo de tiempo (Furman, et al. 2001). Alrededor de los determinantes que inciden en la capacidad nacional de innovación han surgido distintas corrientes que buscan elucidar las diferencias regionales de la materia. Pese a que el tema ha sido abordado con gran interés desde las ciencias económicas, no puede hablarse de un pleno consenso sobre cuáles son los factores que determinan la capacidad de las naciones para innovar.

Una de las primeras clasificaciones sobre la materia puede ser encontrada en el denominado Modelo Lineal del Cambio Tecnológico, el cual centra su análisis en la empresa, el mercado y las instituciones científicas y tecnológicas. Desde esta perspectiva, las innovaciones pueden clasificarse en dos grupos: aquellas resultantes de la demanda (es decir, la innovación desde el mercado) y aquellas resultantes de la oferta (es decir, la innovación desde la tecnología); en la primera de ellas, la innovación es un producto del uso constante de la tecnología por parte de la sociedad, la cual genera con su demanda una sofisticación de la oferta de la iniciativa privada; en la segunda vertiente, la industria detecta una necesidad o mercado insatisfecho o desatendido y diseña una alternativa tecnológica que los consumidores van adoptando e integrando a sus vidas cotidianas de manera paulatina (Buesa et al., 2002; Sutz, 2002).

En contraposición de este modelo surgió el denominado Modelo Interactivo, en el cual la innovación es el resultado de un proceso dinámico en el que las capacidades tecnológicas de las empresas interactúan con múltiples actores, los cuales pueden estar dentro o fuera del ámbito de la empresa (tales como los clientes, los proveedores o los distribuidores). A diferencia del Modelo Lineal, el Modelo Interactivo reconoce una influencia determinante del entorno, de la acumulación de experiencias en la empresa y de las estrategias de las firmas, así como de las políticas de fomento y del estado de la competencia (Buesa, et al., 2002).

En adelante, los desarrollos al Modelo Interactivo se extendieron y originaron nuevos modelos que tendieron a dividir a los determinantes de la capacidad de innovación en dos grandes grupos: los factores internos y los factores externos. Los factores internos son aquellos referentes al nivel micro, los cuales son generalmente identificables en la empresa, tales como la cultura organizacional, la acumulación de activos tangibles e intangibles, la capacidad tecnológica de la organización y las características de los empresarios. Los factores externos se refieren a las características del entorno que obstaculizan o dinamizan el proceso, por ejemplo, las relaciones entre las instituciones científicas y las firmas, los marcos regulatorios y los sistemas de incentivos a las actividades de innovación (Moori y Yoguel, 1998; Guan et al. 2006; Morales et al. 2012).

En concordancia con estas ideas, es posible mencionar a la Teoría de los Sistemas Nacionales y Regionales de Innovación, la cual brinda una gran importancia a la interacción, retroalimentación y sinergia entre las instituciones educativas, científicas y tecnológicas, la iniciativa privada y el sector público, para generar, transferir y comercializar las innovaciones (Freeman, 1987). A esta línea de pensamiento pertenecen modelos como el de la Triple Hélice (la cual integra a las universidades, las empresas y el gobierno) (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000) y el de la Tetrahélice (la cual incorpora a los ciudadanos como participantes del proceso de innovación) (Leydesdorff y Etzkowitz, 2002).

Otros trabajos centraron sus análisis en la importancia de las externalidades y la proximidad geográfica como elementos dinamizadores de la generación de innovaciones, a través de la competencia, la especialización y el aprendizaje colectivo. En esta perspectiva se brinda una gran importancia tanto a la empresa como a su entorno y en particular a la organización de las firmas en conglomerados.

En este orden de ideas, Furman et al. (2001) proponen un modelo en el que la capacidad de innovación de un país se fundamenta sobre cuatro pilares. El primer pilar se refiere a que en el país se encuentren disponibles los insumos necesarios para la generación de conocimientos e innovaciones, tales como la existencia de infraestructura física adecuada y recursos humanos especializados. El segundo pilar

se refiere a la competencia local; es decir, a la rivalidad entre firmas, la existencia de incentivos a la innovación, el estado que guarda la protección a la propiedad intelectual y la apertura comercial, entre otros aspectos. El tercer pilar hace referencia a las características de la demanda doméstica, es decir, a la manera en la que los consumidores presionan a los actores para innovar. Por último, el cuarto pilar se relaciona con la existencia e interconexión entre las empresas de una determinada industria y su cercanía geográfica, factores importantes para la generación de economías de escala, la transferencia de conocimientos y el aprendizaje colectivo (Furman, et al., 2001; Buesa et al., 2002).

El organizar a los determinantes de la capacidad de innovación en pilares contruidos a partir de la valoración de indicadores ha sido una manera frecuentemente adoptada para la caracterización del tema. Por ejemplo, Buesa et al. (2002) proponen un sistema de ocho pilares que determinan la capacidad de innovación: el tamaño tecnológico de las empresas, el esfuerzo innovador, el entorno económico, la participación del sector público, la infraestructura de apoyo, la interacción entre los agentes del sistema, la calidad de las universidades y la calidad de los recursos humanos en las actividades de I+D.

De Ferranti et al. (2003) proponen un sistema de cinco pilares: la existencia de una población educada y capacitada, la estabilidad macroeconómica, la infraestructura dinámica de la información, la eficiencia del sistema de innovación, y los vínculos y redes entre las empresas y los hogares.

Archibugi y Coco (2004) proponen un índice para la medición de las capacidades tecnológicas de una nación con base en tres pilares: la creación de tecnología, la infraestructura tecnológica y el desarrollo de habilidades humanas. Por otro lado, Hollanders y Celikel (2007) proponen un sistema de tres pilares: a) los conductores de la innovación (factores demográficos tales como el nivel educativo de los recursos humanos y su contacto con las tecnologías de la información); b) la inversión pública y privada en actividades de I+D; y c) el emprendimiento y la inversión en I+D realizada por las pequeñas y medianas empresas.

Por su parte, Bloomberg (2015) propone un sistema de cinco pilares que son: el gasto en I+D, el valor agregado del sector manufacturero, el número de empresas de alta tecnología ubicadas en el país, el nivel educativo post-básico de la población y el personal dedicado a actividades de investigación.

De entre los índices de innovación basados en pilares destaca el GII (OMPI, Universidad de Cornell e INSEAD, 2018), por su periodicidad anual, su alcance y cobertura temática (126 países estudiados a través de 80 indicadores en 2018). En el GII existen cinco pilares que representan a los insumos del proceso de innovación; estos son: instituciones, capital humano e investigación, infraestruc-

tura, sofisticación del mercado y sofisticación de negocios. Se considera que estos cinco pilares actúan para generar dos pilares más que representan a los productos del sistema de innovación: los productos científicos y tecnológicos y los productos creativos. Los cinco pilares de insumos engloban a quince subíndices que se detallan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1
Descripción de los insumos utilizados

<i>Insumo</i>	<i>Descripción</i>
Entorno político.	Da cuenta de las condiciones estabilidad política, seguridad pública y eficiencia gubernamental.
Entorno regulatorio.	Mide la calidad regulatoria y la efectividad de las leyes y una estimación del costo de liquidación de los trabajadores.
Entorno de negocios.	Mide la facilidad para iniciar un negocio, para resolver situaciones de insolvencia y para pagar impuestos.
Educación básica.	Integra cinco indicadores: el gasto en educación como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB), el gasto gubernamental por alumno, la escolaridad esperada, las evaluaciones de la prueba PISA y la cantidad de alumnos por maestro.
Educación post-básica.	Se integra por tres indicadores: la cobertura en educación terciaria, el porcentaje de graduados en ciencias e ingeniería y la movilidad en educación terciaria.
Investigación y Desarrollo.	Pondera cuatro indicadores: el número de investigadores por cada millón de habitantes, el gasto en I+D como porcentaje del PIB, el gasto de en I+D realizado por empresas globales y la calidad de las universidades.
TIC's.	Pondera cuatro aspectos: el acceso a las TIC's, el uso de las TIC's, los servicios de gobierno en línea y la participación en línea de los ciudadanos.
Infraestructura general.	Se compone por tres indicadores: la producción de electricidad, el desempeño logístico y la formación bruta de capital.
Ecología y sustentabilidad.	Pondera tres indicadores: el consumo de energía en función del PIB, el desempeño ambiental y el número de empresas certificadas en ISO 14000 en función del PIB.
Acceso al crédito.	Evalúa tres aspectos: la facilidad para acceder al crédito, el crédito al sector privado como porcentaje del PIB y los micro-financiamientos como porcentaje del PIB.
Inversión.	Se compone de cuatro indicadores: la facilidad de proteger a los inversores minoritarios, la capitalización de mercado como porcentaje del PIB, el valor total de las acciones negociadas como porcentaje del PIB y las ofertas de capital de riesgo como porcentaje del PIB.
Comercio y competencia.	Se compone de tres indicadores: el tipo arancelario aplicado promedio, la intensidad de la competencia local y el tamaño del mercado doméstico.

Continúa...

Trabajadores intensivos en conocimiento.	Se integra por cinco indicadores: el empleo en servicios intensivos en conocimiento, el porcentaje de firmas que ofrecen capacitación formal, el gasto en I+D desempeñado por las empresas como porcentaje del PIB, el gasto en I+D financiado por las empresas como porcentaje del total y el porcentaje de mujeres empleadas con grados avanzados.
Vinculación para la innovación.	Valora 5 aspectos del país: la colaboración universidad industria, el grado de desarrollo de los clústeres, el gasto en I+D financiado desde el exterior, las <i>joint ventures</i> en relación con el PIB y los tratados de cooperación de patentes.
Absorción del conocimiento.	Se integra por cinco indicadores: los pagos por propiedad intelectual, las importaciones de alta tecnología, las importaciones de servicios de informática y comunicaciones, los flujos netos de Inversión Extranjera Directa (IED) y el talento en investigación en las empresas.

Fuente: Elaboración propia con información de OMPI, Universidad de Cornell e INSEAD (2016)

Antecedentes sobre la medición de la eficiencia en la innovación

Los modelos basados en pilares que representan insumos de un sistema han favorecido que el fenómeno de la innovación sea abordado con instrumentos para la medición de la eficiencia con una relativa frecuencia.

En su sentido económico, la idea de la eficiencia remite a la capacidad de las entidades para conseguir, a partir de un conjunto de insumos, la máxima producción posible. Se entiende que las entidades más eficientes aprovechan de mejor forma sus recursos, disminuyen sus costos y maximizan los beneficios que les generan sus inversiones. Estas ventajas han hecho que el uso de instrumentos de medición de la eficiencia se haya popularizado en los trabajos relacionados con los bienes intangibles, dada su versatilidad y sus implicaciones para la toma de decisiones y el diseño de alternativas de política (Restrepo y Villegas, 2007).

Farrell (1957) dividió a la eficiencia en dos elementos: la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa. El producto de ambos tipos de eficiencia proporciona una medida de la eficiencia económica. La eficiencia técnica refleja si los recursos son explotados al máximo de su capacidad productiva o no, es decir, si existe capacidad ociosa de los factores productivos. La Frontera de Posibilidades de Producción (FPP) es una representación gráfica de las cantidades máximas de producción que pueden obtenerse en un periodo dado haciendo uso de un conjunto de recursos disponible. Si una entidad se ubica por debajo de dicha FPP se dice que existe capacidad ociosa y que por lo tanto la entidad se encuentra en un punto ineficiente; por otro lado, los puntos sobre la FPP implican que la entidad utiliza todos los recursos con los que cuenta y que por lo tanto no existe capacidad ociosa (Cachanosky, 2012).

La eficiencia asignativa se refiere a que el gasto monetario total en los insumos utilizados para producir una cantidad dada de bienes sea el mínimo posible de acuerdo con los precios de los insumos (Navarro y Torres, 2006). Por otro lado, la eficiencia económica es aquel punto sobre la FPP que coincide con la demanda de los consumidores, es decir, aquel donde se utilizan la totalidad de los recursos, no hay capacidad ociosa en la entidad y la cantidad de bienes producida es adquirida y consumida (Cachanosky, 2012).

Farrell (1957) conceptualizó a la eficiencia técnica como la diferencia entre la unidad y un cociente que representa la mayor reducción proporcional en todos los insumos (*inputs*) que aún permite la producción de todos los productos (*outputs*) o como uno más el mayor incremento proporcional factible en todos los outputs con el mismo consumo de *inputs*.

El estudio de la eficiencia (en su sentido económico) reconoce dos vertientes principales: los métodos de no frontera y los métodos de frontera. En los primeros la existencia de la FPP se elimina y por lo tanto el conocimiento de ésta no es perseguido explícitamente. En los segundos se exploran las características de la frontera y se realizan comparaciones entre las unidades productivas para monitorear su funcionamiento y evaluar sus posibilidades potenciales de mejora. Esto se ha trasladado a la aplicación empírica principalmente a través de dos metodologías: la estimación de fronteras estocásticas y el Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés); las diferencias básicas entre ambos enfoques se concentran en el tratamiento del ruido aleatorio y la flexibilidad que otorgan a la curva de eficiencia. Mientras el enfoque paramétrico intenta separar el ruido de la ineficiencia, el enfoque no paramétrico (en el que se suscribe el DEA) busca no confundir errores de especificación de la forma funcional con ineficiencia (Navarro y Torres, 2006).

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) aplicado a la innovación

El DEA es una técnica no-paramétrica determinística cuyo objetivo es evaluar la eficiencia relativa de un conjunto de Unidades de Toma de Decisiones (DMU's por sus siglas en inglés) las cuales son consideradas sistemas de producción de bienes o servicios homogéneos entre sí, en el sentido de que, a partir de los mismos insumos, generan las mismas salidas (Villarreal y Tohmé, 2017).

La eficiencia técnica refleja el nivel de tecnología de una unidad de producción, la cual se puede medir a partir de dos aspectos: las entradas y las salidas; en el caso de una entrada dada, la eficiencia técnica se mide por el grado de maximización de la salida; bajo la condición de una salida dada, la eficiencia técnica se mide por el grado de minimización de la entrada. Por lo anterior, medir el desempeño de una

DMU implica un problema de optimización que busca maximizar la razón de sus entradas entre sus salidas. Se dice que una DMU es eficiente si al resolver el problema de optimización el valor de su desempeño es igual a 1; si el valor es inferior a 1 su eficiencia se expresa mediante el valor del coeficiente asociado expresado como porcentaje (Cheng, 2014).

Para calcular la eficiencia relativa de una DMU resulta más habitual resolver su problema dual, modelo que puede ser descrito a través de las ecuaciones 1 y 2. La ecuación 1 describe a un modelo DEA orientado al insumo con rendimientos constantes a escala y la ecuación 2 a un modelo DEA orientado al producto con rendimientos constantes a escala.

$$\min_{\theta, \lambda} \theta \quad (1)$$

Sujeto a:

$$y_j \leq \lambda Y$$

$$\lambda X \leq \theta x_j$$

$$\lambda Z = z_j$$

$$\lambda \in R^+$$

$$\max_{\theta, \lambda} \theta \quad (2)$$

Sujeto a:

$$\phi y_j \leq \lambda Y$$

$$\lambda X \leq x_j$$

$$\lambda Z = z_j$$

$$\lambda \in R^+$$

Donde Y es una matriz $N \times r$ de los productos de las entidades en la muestra (donde N denota el número de entidades y r el número de productos); X es una matriz $N \times m$ de insumos (donde m indexa los insumos considerados); Z es una matriz $N \times s$ que contiene toda la información sobre las S variables ambientales de las entidades; y_j , x_j y z_j son los vectores observados de productos, insumos y variables ambientales, respectivamente, de la entidad bajo análisis. El problema anterior debe resolverse N veces, una vez para cada una de las empresas en la muestra (Navarro y Torres, 2006).

La segunda fase del proceso se refiere a identificar las holguras (también conocidas como *slacks*) necesarias para eliminar lo que se conoce como ineficiencia de mezcla, es decir, se establece si existe un exceso de entradas y/o un déficit de salidas. De tal forma, la DMU puede ser considerada eficiente si obtiene un des-

empeño igual a uno y las holguras son iguales a cero. Si la DMU es ineficiente, el modelo arrojará la información de su ineficiencia y las magnitudes asociadas a las holguras (Restrepo y Villegas, 2007).

El análisis de *slacks* indica la dirección en la cual deberán mejorar los niveles de eficiencia de las DMU's. Un valor *output slack* representa el nivel adicional de *outputs* necesarios para convertir una DMU ineficiente en eficiente; por otro lado, un valor *input slack* implica las reducciones necesarias para tener DMU's eficientes. Los modelos DEA pueden tener dos orientaciones: hacia la optimización en la combinación de *inputs* o hacia la optimización de los *outputs* (Navarro y Torres, 2006).

El DEA original desarrollado por Charnes, et al. (1978) se trata de un modelo radial con rendimientos constantes a escala también conocido por las siglas CCR. La característica radial se refiere a que el modelo mide el movimiento proporcional (es decir las holguras) necesarias para que los factores relevantes alcancen la frontera de eficiencia, de manera radial; es decir, como si se trazara un círculo entre la ubicación de la desviación y la frontera de eficiencia, y el radio de dicho círculo proporcionara la cuantía de la desviación (Cheng y Qian, 2014).

Por otro lado, el supuesto de rendimientos constantes implica que si la entrada de una DMU se convierte en t veces (siempre que $t > 0$) como su valor original bajo la condición de que la eficiencia técnica permanezca sin cambios, su salida será t veces como su valor original en consecuencia. Suponiendo, a su vez que, tanto la entrada como la salida del DMU evaluado, se han vuelto t veces como sus valores originales, su eficiencia técnica seguirá siendo la misma bajo la hipótesis de rendimientos constantes a escala (Cheng, 2014).

Ejemplos de la aplicación de mediciones de tipo DEA pueden encontrarse en trabajos como el de Lee y Park (2005) en el cual se mide la eficiencia en el desarrollo de las actividades de I+D para un grupo de 27 países asiáticos, destacando entre sus resultados lo realizado en países como Singapur y Japón.

De manera similar, Hollanders y Celikel (2007) realizan un comparativo sobre la eficiencia en innovación para un conjunto de países europeos, utilizando como insumos del sistema cuatro pilares: el nivel educativo, el contacto con nuevas tecnologías, la inversión en actividades de I+D y las actividades de I+D realizadas por las pequeñas y medianas empresas, y como productos del sistema al empleo en actividades innovadoras, a las patentes y a las exportaciones de productos innovadores. Sus resultados señalan como los países más eficientes a Alemania, Luxemburgo, Italia y Suiza.

En un trabajo similar Aguado y Martínez (2014) midieron la eficiencia en la innovación de los integrantes de la Unión Europea, utilizando como insumos del sistema al gasto privado en I+D, al gasto público en I+D y al gasto de las univer-

sidades en I+D; como productos del sistema utilizaron a las patentes y al empleo especializado. Sus resultados señalan que los países más eficientes fueron Alemania, Austria y Dinamarca.

En otro trabajo, Dzemydaite et al. (2016) evalúan la eficiencia en la innovación de los países de Europa Central y Europa del Este, utilizando como insumos el gasto en I+D, los recursos humanos empleados en actividades de I+D y los recursos humanos empleados en sectores altamente tecnológicos, teniendo como producto del sistema al número de solicitudes de patente.

En este mismo orden de ideas, Zamora y Favila (2018) miden la eficiencia en innovación para los países miembros de la OCDE utilizando como insumos a la calidad de las instituciones, al capital humano, a las condiciones de la infraestructura, al grado de sofisticación del mercado local y al grado de sofisticación de las empresas, encontrando las condiciones de mayor eficiencia en países como Irlanda, Suiza y Hungría.

II. Materiales y métodos

Tomando en consideración lo encontrado en la revisión de literatura, el presente trabajo plantea un análisis en dos etapas. En primera instancia se realizó un Análisis de Componentes Principales con la finalidad de identificar cuáles de los sub-pilares del GII (que funcionan como insumos) poseen una mayor incidencia en el comportamiento del número de solicitudes de patente.

Posteriormente se decidió proceder a la medición de la eficiencia en los términos plasmados en la hipótesis del presente trabajo, utilizando para ello un modelo DEA de tipo radial, orientado al producto, con rendimientos constantes a escala. Los resultados de estos análisis se describen a continuación.

III. Resultados

Los resultados del Análisis del Componentes Principales realizado se presentan a continuación en las tablas 2 y 3. Como se observa en la tabla 2, la extracción concentra el poder explicativo de los insumos en cuatro componentes los cuales en su conjunto explican el 82% de la varianza total.

Tabla 2
Análisis de Componentes Principales. Varianza total explicada

Com- ponen- te	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumu- lado	Total	% de la varianza	% acumu- lado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	6.09	40.628	40.628	6.09	40.628	40.628	3.59	23.952	23.952
2	2.69	17.937	58.565	2.69	17.937	58.565	3.03	20.218	44.17
3	2.15	14.317	72.883	2.15	14.317	72.883	3	19.972	64.143
4	1.37	9.124	82.006	1.37	9.124	82.006	2.68	17.863	82.006

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Fuente: Cálculos propios con datos de OMPI, Universidad de Cornell e INSEAD (2018).

Para complementar esta información se presenta a continuación la Matriz de Componentes Rotados (véase la tabla 3). Gracias a los coeficientes reportados en la Tabla 3 es posible identificar cuáles de las variables consideradas como insumos se encuentran más relacionadas con cada uno de los componentes extraídos.

Tabla 3
Matriz de componentes rotados^a

	Componente			
	1	2	3	4
Entorno político	.163	-.098	.720	.523
Entorno regulatorio	.048	.290	.342	.831
Entorno de negocios	.361	.212	-.057	.775
Educación básica	.300	.102	.892	.116
Educación post-básica	.863	.105	.090	.309
Investigación y desarrollo	.224	.820	.402	-.082
TIC's	.269	.368	.682	.478
Infraestructura general	.816	.240	.175	.235
Ecología y sustentabilidad	.262	-.099	.055	.771
Acceso al crédito	.374	-.229	-.805	.145
Inversión	.831	.242	-.202	.106
Comercio y competencia	-.057	.917	-.190	.122
Trabajadores intensivos en conocimiento	.470	.594	.269	.175
Vínculos para la innovación	-.827	.263	-.259	-.161
Absorción del conocimiento	.055	.789	.171	.128

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.^a

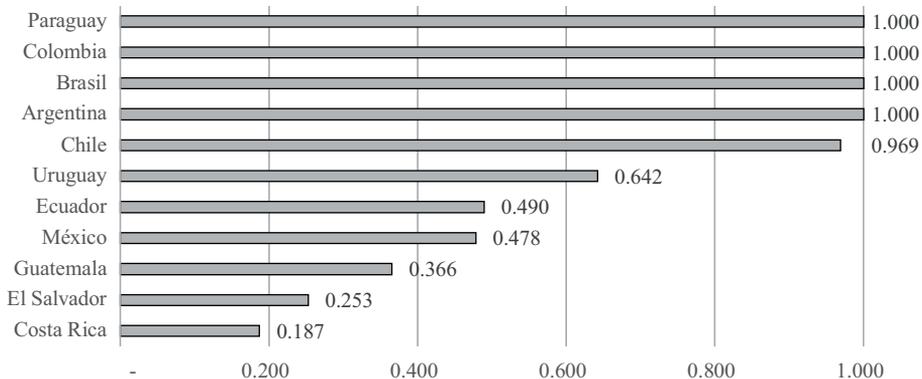
a La rotación ha convergido en 5 iteraciones.

Fuente: Cálculos propios con datos de OMPI, Universidad de Cornell e INSEAD (2018).

Para el componente 1 se trató de las variables Educación Post-Básica, Infraestructura General e Inversión. Para el componente 2 fueron Investigación y Desarrollo y Comercio y Competencia; en el caso del componente 3 fue Educación Básica y para el componente 4 fue Entorno Regulatorio. Con base en lo anterior se procedió a realizar la medición del modelo de eficiencia utilizando siete de los quince insumos originales.

Los resultados del modelo calculado aparecen en la gráfica 1. Como puede apreciarse, es posible considerar que cuatro de los once países estudiados alcanzan la frontera de eficiencia, es decir una evaluación equivalente a uno; estos países son Paraguay, Colombia, Brasil y Argentina.

Gráfica 1
Eficiencia en la generación de solicitudes de patente.
Países seleccionados, año 2018



Fuente: Cálculos con base en datos de OMPI, Universidad de Cornell e INSEAD (2018).

Como lo indica la gráfica 1, el resto de los países seleccionados mostró algún grado de ineficiencia ya que obtuvieron calificaciones por debajo de la unidad. Destaca el caso de Chile, país que se encontró muy cerca de la frontera de eficiencia con un puntaje de 0.969. Le siguieron Uruguay (0.642), Ecuador (0.49), México (0.478), Guatemala (0.366), El Salvador (0.253) y Costa Rica (0.187).

Esta distancia en materia de eficiencia obedece a distintas razones para cada país. La tabla 4 muestra los *slacks* para cada insumo del modelo y para cada uno de los países que resultaron con algún grado de ineficiencia.

Tabla 4
Holguras (slacks) por insumo y país

<i>País</i>	<i>Entorno Regulatorio</i>	<i>Educación Básica</i>	<i>Educación Post-básica</i>	<i>Investigación y Desarrollo</i>	<i>Infraestructura General</i>	<i>Inversión</i>	<i>Comercio y Competencia</i>
Chile	-10.3	-	-0.76	-	-5.48	-	-0.99
Costa Rica	-27.45	-27.42	-	-	-6.67	-	-18.56
Ecuador	-3.14	-7.08	-	-	-9.03	-0.75	-14.04
El Salvador	-24.32	-1.86	-5.26	-	-	-2.77	-23.15
Guatemala	-44.16	-22.53	-2.79	-	-13.77	-19.31	-59.82
México	-4.12	-	-11.27	-	-8.89	-	-13.74
Uruguay	-22.65	-27.06	-0.71	-	-6.74	-	-4.73

Cálculos propios con base en datos de OMPI, Universidad de Cornell e INSEAD (2018).

Todos los valores asociados a los slacks muestran valores negativos. Esto puede interpretarse como que existen insumos en estos sistemas de innovación que pueden encontrarse desaprovechados o sub-utilizados. Chile mostró sus mayores slacks en factores como el Entorno Regulatorio y la Infraestructura General, aunque estas desviaciones son relativamente pequeñas en comparación con lo ocurrido en las demás naciones del estudio.

Costa Rica obtuvo sus mayores ineficiencias en Entorno Regulatorio, Educación Básica y Comercio y Competencia. Ecuador en Comercio y Competencia, El Salvador en Entorno Regulatorio y Comercio y Competencia; Guatemala en Entorno Regulatorio y Comercio y Competencia. México obtuvo sus *slacks* más altos en Comercio y Competencia y Educación Post-Básica. Finalmente, Uruguay obtuvo sus mayores *slacks* en Educación Básica y Entorno Regulatorio.

Conclusiones

Como se indicó anteriormente, la mejora de la capacidad nacional de innovación es un determinante central de la prosperidad de las naciones. Para alcanzar esto, los países realizan inversiones con combinaciones diferenciadas de insumos, algunas de las cuales se encuentran dentro del ámbito de decisión de sus instituciones, mientras que otras se encuentran dependientes de su nivel de desarrollo, de la actuación de la iniciativa privada y del mercado. Los modelos DEA se constituyen como herra-

mientas útiles para el análisis empírico de estas condiciones nacionales y para la identificación de aquellas áreas en las cuales los países pueden mejorar la calidad de sus intervenciones.

En el presente trabajo se consigue el objetivo planteado, así como responder a la hipótesis, al lograr cuantificar la eficiencia en la generación de solicitudes de patentes para los once países seleccionados y las desviaciones para cada uno de los insumos elegidos tras el Análisis de Componentes Principales.

Los resultados del presente estudio muestran que en el desempeño en eficiencia los países latinoamericanos se encuentran altamente diferenciado y que, aunque con ciertas coincidencias, este comportamiento obedece a razones diversas y distintas para cada nación. Existen experiencias favorables en América Latina que ameritan un análisis más cercano tales como las ocurridas en países como Paraguay, Colombia, Brasil y Argentina, los cuales, de acuerdo con los resultados obtenidos, son eficientes en el uso de sus insumos para la generación de solicitudes de patente.

Destaca también que México se ubique en el lugar ocho en materia de eficiencia, de entre los once países considerados, mostrando cifras similares a las de Ecuador. El hecho de que las mayores ineficiencias para el caso mexicano se detectaran en los insumos relacionados con la educación, el comercio y la competencia, lleva a pensar que debe analizarse con mayor cercanía el por qué las condiciones favorables en estos insumos no se están traduciendo en una dinamización del sistema de innovación. Futuras líneas de investigación deben indagar sobre la manera en la que las carencias en materia de transferencia de conocimientos y tecnología pueden estar jugando un papel activo en la sub-utilización de dichos insumos.

Análisis similares pueden realizarse para los casos de Guatemala, El Salvador y Costa Rica, países que mostraron sus mayores ineficiencias en los insumos de Entorno Regulatorio y Comercio y Competencia.

Referencias

- Aguado, R. y Martínez, J. (2014). "R&D productivity in Europe: towards a regional taxonomy in the European Union". *Harvard Deusto Business Research Vol. 3 No. 1* pp: 2-22. <https://doi.org/10.3926/hdbr.55>
- Archibugi, D. y Cocco A. (2004). "A new indicator of technological capabilities for developed and developing countries (ArCo)", *CEIS Tor Vergata Research Paper Series, Vol. 15 No. 44* pp: 1-44. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.10.008>
- Banco Mundial (2019). Indicadores de desarrollo, base de datos recuperada el 3 de mayo de 2019 de <<https://datos.bancomundial.org/indicador>>

- Bloomberg (2015). The Bloomberg Innovation Index. Documento de internet, recuperado el 7 de noviembre de 2018 de: <https://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/>
- Buesa, M., Baumert, T., Heijs, J. y Martínez, M. (2002). “Los factores determinantes de la innovación: un análisis econométrico sobre las regiones españolas”. *Economía Industrial*, Vol. 347 No. 5 pp: 67-84.
- Cachanosky, I. (2012). “Eficiencia técnica, eficiencia económica y eficiencia dinámica”. *Procesos de Mercado Revista Europea de Economía Política*, Vol. 9 No. 2 pp: 51-80.
- Charnes, A., Cooper, W. y Rhodes, E. (1978). “Measuring the efficiency of decision-making units”. *European Journal of Operational Research* Vol. 2 pp: 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cheng, G. (2014). *Data envelopment analysis: methods and MaxDEA software*. Beijing: Publishing House Co. Ltd.
- Cheng, G. y Qian, Z. (2014). *MaxDea pro 6.3 manual*. Beijing: Beijing Realworld Software Company Ltd.
- De Ferranti, D., Perry, G., Gill, I., Guasch, L., Maloney, W., Sánchez-Páramo, C. y Schady, N. (2003). *Cerrar la brecha en educación y tecnología*. Bogotá: Banco Mundial/Alfaomega.
- Dzemydaite, G., Dzemyda, I. y Galiniene, B. (2016). “The efficiency of regional innovation systems in new member states of the European Union: a nonparametric DEA approach”. *Economics and Business* No. 28 pp: 83-89. <https://doi.org/10.1515/eb-2016-0012>
- Etzkowitz, H. y Leydesdorff, L. (2000). “The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university-industry-government relations”. *Research Policy* Vol. 29 No. 2 pp: 109-123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)
- Farrel, M. (1957) The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society* Vol. 120 No. 3 pp: 253-290.
- Freeman, C. (1987). *Technology and economic performance: lessons from Japan*. London: Frances Printer Publishers.
- Furman, J., Porter, M. y Stern, S. (2001). “The determinants of national innovative capacity”. *Research Policy* Vol. 31 No. 6 pp: 899-933. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00152-4)
- Guan, J., Yam, R., Kam, C. y Ma, N. (2006) “A study of the relationship between competitiveness and technological innovation capability based on DEA models”. *European Journal of Operational Research* Vol. 170 No. 3 pp: 971-986. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.054>

- Hollanders, H. y Celikel, F. (2007). *Measuring innovation efficiency*. Maastricht: Innometrics/University of Maastricht.
- Lee, H. y Park, Y. (2005). “An international comparison of R&D efficiency: DEA approach”. *Asian Journal of Technology Innovation Vol. 13 No. 2* pp: 207-222. <https://doi.org/10.1080/19761597.2005.9668614>
- Leydesdorff, L. y Etzkowits, H. (2002). “Can the public be considered as a fourth helix in university-industry-government relations?” *Science and Public Policy Vol. 30 No. 1* pp: 55-61. <https://doi.org/10.3152/147154303781780678>
- Moori, V. y Yoguel, G. (1998). *El desarrollo de capacidades innovativas de las firmas en un medio de escaso desarrollo del sistema local de innovación*. Río de Janeiro: Universidad Federal de Río de Janeiro.
- Morales, M., Ortiz, C. y Arias, M. (2012). “Factores determinantes de los procesos de innovación: una mirada a la situación de Latinoamérica”. *Revista de la EAN Vol.72 No.1* pp: 148-163. <https://doi.org/10.21158/01208160.n72.2012.573>
- Navarro, J. y Torres, Z. (2006). “Análisis de la eficiencia técnica global mediante la metodología DEA: evidencia empírica en la industria eléctrica mexicana en su fase de distribución”, 1990-2003. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos Vol. 1 No. 1* pp: 9-28.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), Universidad de Cornell e Institut Europeen d' Administration des Affaires (INSEAD) (2018) *Índice Global de Innovación 2018*. Ginebra: OMPI.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), Universidad de Cornell e Institut Europeen d' Administration des Affaires (INSEAD) (2016) *Índice Global de Innovación 2016*. Ginebra: OMPI.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2016). *Perspectivas de la OCDE en Ciencia, Tecnología e Innovación en América Latina 2016*. París: OCDE.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2018). Research and development indicator group. Base de datos recuperada el 11 de octubre de 2018 de < <https://data.oecd.org/innovation-and-technology.htm>>
- Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e Interamericana (RICYT) (2018). Gasto en I+D en relación con el PIB 2007-2016. Base de datos recuperada el 11 de octubre de 2018 de < <http://dev.ricyt.org/ui/v3/comparative.html?indicator=GASTOXPBI>>
- Restrepo, M. y Villegas J. (2007). “Clasificación de grupos de investigación colombianos aplicando análisis envolvente de datos”. *Revista Facultad de Ingeniería, Vol. 42* pp. 105-119.

- Sutz, J. (2002). *Problemas avanzados de la innovación en América Latina*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (2018). *Hacia la consolidación y desarrollo de políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación*. Ciudad de México: UNAM.
- Villarreal, F. y Tohmé, F. (2017). “Análisis envolvente de datos. Un caso de estudio para una universidad argentina”. *Estudios Gerenciales*. Vol. 33 No. 144 pp: 302-308. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.06.004>
- Wood, D., Wilson, C. y García, A. (2014). *Fomentando la innovación en México*. Washington: Woodrow Wilson International Center for Scholars/Fundación Idea.
- Zamora, A. y Favila, A. (2018). “Medición de la eficiencia de la innovación 2013-2016 mediante el Análisis Envolvente de Datos (AED) en red dinámica”. *Economía Sociedad y Territorio*, Vol. 18 No. 57, pp. 557-584. <http://dx.doi.org/10.22136/est20181184>

Anexos

Anexo 1

Tabla 5

Datos reportados en el Índice Global de Innovación 2018 para los países e indicadores seleccionados (datos normalizados a 100)

País	Producto	Insumos						
	Solicitudes de patentes	Entorno regulatorio	Educación básica	Educación post-básica	Investigación y Desarrollo	Infraestructura General	Inversión	Comercio y Competencia
Argentina	5.46	49.61	56.98	30.72	18.9	28.67	33.39	60.37
Brasil	8.96	64.45	47.69	18.52	38.56	31.03	36.03	69.86
Chile	4.75	73.75	45.55	33.67	14.5	38.57	40.42	67.61
Colombia	4.26	65.81	37.05	31.93	11.16	33.02	41.13	65.12
Costa Rica	0.57	69.65	54.42	20.98	8.69	28.22	26.56	61.6
Ecuador	1.28	42.6	37.85	20.07	6.24	33.3	31.53	57.8
El Salvador	0.36	56.44	27.21	23.73	0.83	21.01	29.9	58.97
Guatemala	0.08	49.12	26.46	5.65	0.12	17.02	23.51	65.36
México	3.04	59.73	43.04	33.66	24.8	36.99	33.26	74.1
Paraguay	2.17	49.19	38.95	28.33	1.19	32.26	41.67	54.93
Uruguay	1.91	69.72	54.37	23.87	7.47	30.9	30.2	51.75

Fuente: OMPI, Universidad de Cornell e INSEAD (2018).