

Medición de la eficiencia de la Innovación 2013-2016 mediante el Análisis Envoltante de Datos (AED) en red dinámica

Measuring the efficiency of innovation 2013-2016 through Dynamic Network DEA

AMÉRICA IVONNE ZAMORA TORRES*
ANTONIO FAVILA TELLO*

Abstract

This research aims to identify the efficiency with respect to the evaluation of the generation, diffusion and impact of knowledge, and innovation in a group of 33 countries using the Dynamic Network DEA. The proposed hypothesis states that institutions, human capital, and infrastructure generate the sophistication of the market and business, which in turn generate: products of knowledge and technology, creation, impact, and diffusion of knowledge. The results suggest that the most efficient country is Ireland. For the Mexican case it is possible to detect an efficiency gap when obtaining values close to 0.64

Keywords: DEA, knowledge, innovation, diffusion, impact.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo identificar la eficiencia respecto a la evaluación de la generación, difusión e impacto del conocimiento e innovación en un grupo de 33 países; utilizando el Análisis Envoltante de Datos en red dinámica (AED). La hipótesis planteada señala que las instituciones, el capital humano y la infraestructura generan la sofisticación del mercado y empresarial, la cual genera a su vez productos del conocimiento y la tecnología, creación, impacto y difusión del conocimiento. Los resultados sugieren que el país más eficiente es Irlanda. Para el caso mexicano es posible detectar una brecha de eficiencia al obtener valores cercanos a 0.64.

Palabras clave: AED, conocimiento, innovación, difusión, impacto.

Introducción

En un mundo en el que casi todos los países realizan actividades de fomento a la generación y difusión de conocimiento, la elevada concentración de las innovaciones importantes y la generación de nuevos productos y servicios para el mercado mundial representan grandes retos para los estudiosos del tema; retos que además poseen profundas implicaciones respecto la elaboración de políticas y al crecimiento económico de largo plazo (Furman *et al.*, 2001).

En un escenario de amplias desigualdades internacionales en la generación, la difusión, el uso y la comercialización del conocimiento, resulta relevante aplicar las técnicas de análisis disponibles para alcanzar un mejor entendimiento de dicho fenómeno.

El presente trabajo de investigación pretende realizar una aportación en dicho sentido a través del uso del Análisis Envolvente de Datos en red dinámica (AED) de dos etapas, para realizar una evaluación y clasificación de la eficiencia del conocimiento y la innovación para 33 países, utilizando las bases de datos del Índice Global de Innovación (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [OMPI], Universidad de Cornell e INSEAD¹).

Se seleccionaron de los 180 países que evalúa dicho índice aquéllos cuyos datos para el periodo a analizar —2013 y 2016— están completos. Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Corea, Luxemburgo, México, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, Portugal, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido y Estados Unidos.

Los países seleccionados para el presente estudio son los pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Crecimiento Económicos (OCDE), con la excepción de la República Eslovaca que no se incluyó en el estudio debido a la poca disponibilidad de datos.

Además de la disponibilidad de los datos necesarios para la aplicación del instrumento de medición propuesto, los países miembros de la OCDE comparten ciertas características político-económicas que pueden influir en su desempeño en materia de innovación, de tal forma que, para ingresar y permanecer en la OCDE, sus miembros aceptan implementar determinadas políticas y principios que influyen en una extensa gama de aspectos de la vida nacional, tales como: apertura en materia de inversiones, liberalización del comercio, homogenización de prácticas de negocios internacionales, política fiscal, política ambiental, política de manejo de

¹ INSEAD The Business School for the World es una escuela de negocios y un centro de investigación.

desechos peligrosos, gobierno corporativo, regulación de los mercados financieros, normatividad relacionada con los seguros y las pensiones, competencia, políticas de ciencia y tecnología, regulación de las tecnologías de la información, políticas de protección al consumidor, estadísticas nacionales, política de desarrollo, regulación del empleo, la seguridad social, etc. (OCDE, 2007; 2018).

Pese a las similitudes que comparten en materia de políticas públicas, estos países forman un conjunto heterogéneo cuyas características territoriales y socioeconómicas particulares influyen en los resultados que obtienen de sus sistemas de innovación; de ahí la importancia de conocer el grado de eficiencia o ineficiencia de dichos países en términos de innovación.

Partimos de la hipótesis de que tres insumos: las instituciones, el capital humano y la infraestructura, generan a su vez dos *carry-overs*, la sofisticación del mercado y la sofisticación empresarial, los cuales crean cuatro salidas que dan cuenta de la capacidad de innovación de cada economía: productos del conocimiento y la tecnología, creación de conocimiento, impacto del conocimiento y difusión del conocimiento.

Se inicia el presente documento con algunos antecedentes teóricos sobre la temática para posteriormente exponer los instrumentos utilizados, describir los resultados obtenidos y dar a paso a las conclusiones del estudio.

1. Antecedentes

Todo proceso productivo transforma insumos (entradas) en productos (salidas) con el objetivo de satisfacer alguna necesidad. Si se busca mejorar los procesos productivos es preciso establecer métricas que permitan identificar las desviaciones ocurridas en dichos procesos, como un primer paso para identificar alternativas de solución. La eficiencia, en su sentido económico, es la capacidad para conseguir la máxima producción a partir de un conjunto determinado de insumos; valores más altos de un indicador de eficiencia remiten a la idea de que existe una gestión adecuada de los recursos disponibles y un mejor uso de la creatividad y la capacidad de gestión para lograr el mejor aprovechamiento de los recursos invertidos. La medición de la eficiencia ha sido utilizada tanto para los procesos relacionados con bienes tangibles como con los servicios y los bienes intangibles (Huerta, 2004; Restrepo y Villegas, 2007).

Desde la perspectiva económica, el concepto de eficiencia implica la maximización del beneficio y la minimización de los costos, el concepto de eficiencia que se utiliza en el presente estudio parte de este precepto.

Se considera una medición de eficiencia desde una perspectiva real y no idealista, se parte de Farrell (1957), donde cada una de las unidades de decisión (o DMU por sus siglas en inglés: *Decision Making Units*), en este caso cada territorio o país, es evaluada en relación con otras, de tal manera que la eficiencia será relativa y no absoluta, por lo que cada valor de eficiencia representa una expresión de la desviación observada respecto a aquellos territorios considerados como eficientes.

Uno de los recursos intangibles sobre los cuales se han aplicado técnicas de medición de la eficiencia es el conocimiento. Ejemplos de ello pueden encontrarse en trabajos como el de Johnes y Johnes (1995) en el cual se utiliza el AED para evaluar el desempeño investigativo en Reino Unido, en esta investigación los insumos se encontraban representados por el número de profesores investigadores y las salidas por el número de publicaciones científicas.

Un caso parecido es estudiado por Korhonen *et al.* (2001) para el caso de la eficiencia en investigación en Helsinki; en este trabajo se evaluaron criterios tales como el número de actividades de investigación, su calidad, su impacto, el grado educativo de los investigadores y las actividades de la comunidad científica.

Por otro lado, Guang y Wang (2004) realizaron un ejercicio parecido para el caso de China, utilizaron como entradas los grupos de investigación y su presupuesto, y como salidas el número de publicaciones y las citas de dichos trabajos. En un estudio similar Restrepo y Villegas (2007) utilizan mediciones AED como una alternativa para la evaluación y clasificación de los resultados de una muestra de grupos de investigación en Colombia (utilizando como insumos los años de experiencia del cuerpo académico y su número de integrantes y como salidas sus publicaciones científicas y de divulgación, así como sus tesis), se encontró que dichas mediciones son mucho más flexibles y combinables con otras metodologías que los métodos de evaluación tradicionales que generan índices con base en parámetros fijos.

Recientemente, Hollanders y Celikel (2007) utilizan el AED para realizar un comparativo internacional sobre la eficiencia en la generación de conocimientos e innovaciones en el mundo. Utilizan como entradas las variables siguientes: a) Conductores de la innovación: se trata de variables demográficas que dan cuenta del estado de los recursos humanos en cuanto a su educación y contacto con las tecnologías de la información. b) Creación de conocimiento: refleja la inversión pública y privada en Investigación y Desarrollo (I+D). c) Innovación y emprendimiento: se refiere a la inversión y actividades de I+D realizadas por las pequeñas y medianas empresas. Como salidas del modelo los autores utilizan el empleo en actividades innovadoras, el comercio y las exportaciones de nuevos

productos y servicios, así como el uso de instrumentos de protección a la propiedad intelectual.

Posteriormente, Gao y Chou (2015) evalúan la eficiencia en la generación de innovaciones en firmas nacionales y multinacionales, utilizando como entradas el gasto en I+D y el capital invertido en I+D, y como salidas el número de patentes y las citas de las publicaciones científicas. Entre sus hallazgos, los autores encuentran como dinamizadores de este tipo de eficiencia al grado de desarrollo económico de los países donde operan las firmas y a la fortaleza de la protección a la propiedad intelectual.

Como puede apreciarse, no existe un consenso sólido sobre aquellas variables que deben ser consideradas insumos del proceso de gestión del conocimiento y la innovación ni sobre los productos del mismo. Sin embargo, los trabajos anteriores marcan ciertas pautas que son de un uso regular en las investigaciones de este tipo.

1.1. Determinación de las variables utilizadas

Existen diversos modelos que pretenden explicar las diferencias existentes en la capacidad de las naciones para generar, difundir y utilizar el conocimiento, los cuales están basados principalmente en tres grandes orientaciones teóricas: la primera de ellas es la denominada teoría del crecimiento guiado por las ideas, que se basa en los trabajos de Paul Romer acerca del conocimiento como un elemento endógeno que explica el crecimiento económico. Desde esta perspectiva, la cantidad de conocimientos que se generan en una economía depende de la cantidad de recursos humanos que se encuentren trabajando en su generación, es decir, depende de la existencia de un mercado laboral desarrollado dedicado preponderantemente a ello.

En segundo lugar, los recursos que la economía destina a la generación de conocimientos depende de la productividad de las actividades de I+D y del retorno que obtienen las empresas de sus inversiones en dichas tareas.

En tercer lugar, el impacto de los conocimientos depende del aprovechamiento del acervo de conocimientos generados en el pasado alrededor del mundo, es decir, depende de la vinculación y comunicación de los investigadores locales con aquéllos que se encuentran desarrollando los conocimientos más avanzados de la materia. Pese a sus limitaciones, esta teoría enfatiza el peso de las políticas locales en la generación de conocimientos y la importancia de las instituciones para el aprovechamiento local de los avances generados alrededor del mundo. Asimismo, es útil para explicar algunas de las diferencias regionales que determinan la capacidad de las naciones para generar conocimientos, tales como el

número de recursos humanos y de recursos materiales que se destinan a dicha actividad (Furman *et al.*, 2001).

La segunda corriente teórica se concentra en los aspectos microeconómicos, particularmente en los relacionados con la forma en la que la iniciativa privada participa del proceso de generación de conocimientos a través de la conformación de conglomerados industriales. Dentro de esta corriente se encuentran las aportaciones de Porter (1990), quien identifica cuatro pilares de dicho proceso.

El primer pilar se refiere a la disponibilidad de insumos para la generación de conocimiento, particularmente a los recursos humanos especializados (ingenieros, científicos y tecnólogos) que estén participando en actividades de I+D en áreas emergentes de innovación. Estos recursos necesitan encontrarse acompañados de instituciones gubernamentales y universidades capaces de absorber a estos recursos humanos.

Un segundo pilar se refiere a la intensidad de la competencia entre las empresas y a la forma en que dicha competencia recompensa la generación de conocimientos e innovaciones. En ello juegan un papel importante los incentivos que puedan brindar las instituciones, tal como la protección efectiva de los derechos de propiedad intelectual, pero también otros que pueden provenir de la apertura comercial, la rivalidad entre empresas y la competencia. Esto estimula la innovación estableciendo estándares superiores para todos los participantes del mercado.

Un tercer pilar se encuentra determinado por la naturaleza de la demanda por productos y servicios innovadores, la cual depende de la presencia de consumidores sofisticados y sensibles a la calidad. Los hábitos de consumo terminan ejerciendo presión sobre las empresas para generar productos y servicios innovadores ya que, de lo contrario, las firmas que no lo hagan corren el riesgo de salir del mercado.

El cuarto pilar se refiere a la disponibilidad e interconexión (vertical y horizontal) de empresas dedicadas a un mismo ramo a través del establecimiento de conglomerados. Estas agrupaciones de empresas generan que el conocimiento se disemine más fácilmente y permite a las firmas involucradas obtener economías de escala.

La tercera corriente teórica es conocida como el enfoque de Sistemas Nacionales de Innovación; esta corriente se enfoca principalmente a analizar la manera en que la actividad innovadora se organiza en diversos países e identifica a aquellos actores e instituciones que juegan un papel determinante en dicho proceso. Sus áreas de interés incluyen al papel del gobierno, el de las agencias gubernamentales específicas dedicadas a la generación de innovaciones, el de las políticas públicas, el de las universidades, el de la industria y el del mercado laboral (Furman *et al.*, 2001; Pessoa, 2003).

Al integrar los elementos de estas corrientes teóricas, diversas instituciones han diseñado marcos de análisis para evaluar las características nacionales involucradas en el proceso de generación y difusión del conocimiento.

Ferranti *et al.* (2003), por ejemplo, proponen un marco de análisis integrado por cinco pilares: la existencia de población educada y capacitada, la estabilidad macroeconómica, la infraestructura dinámica de la información (principalmente centrada en la disponibilidad y desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC), la existencia de un sistema de innovación eficiente (integrado por las universidades y los institutos de investigación) y la interconexión a través de redes que integren los esfuerzos de los involucrados (incluyendo a las empresas y a los hogares).

Un marco de análisis similar es el utilizado por la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología, el cual utiliza una perspectiva de insumos y productos del sistema de generación de conocimiento científico y tecnológico; los insumos se clasifican en dos grupos: el contexto demográfico y económico y los recursos financieros y humanos aplicados en actividades de investigación. Los productos se dividen a su vez en dos: las patentes y los productos bibliométricos. Este enfoque permite relacionar las causas con sus efectos y disponer de métricas precisas para dimensionar los componentes del modelo (Fundación Friedrich Naumann-Fundación Este País, 2005).

Otro ejemplo de este tipo de marcos de análisis es el generado por la compañía estadounidense Bloomberg, la cual determina la capacidad nacional para generar conocimiento e innovar a partir de la evaluación de cinco variables: las actividades de I+D, el valor agregado de la industria manufacturera, la capitalización de mercado de las empresas altamente tecnológicas, la educación post-básica y el personal dedicado a la investigación (Bloomberg, 2015).

1.2. El Índice Global de Innovación

El Índice Global de Innovación (IGI) es publicado anualmente por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), la Universidad de Cornell y el INSEAD; su modelo propone cinco pilares que funcionan como insumos del Sistema Nacional de Innovación y dos pilares que representan a los productos del mismo. Como se puede observar en la tabla 1, los pilares que representan a los insumos son los siguientes:

1. Instituciones. En este pilar se valoran las condiciones nacionales de gobernabilidad, estabilidad política, protección a la propiedad intelectual y la existencia de estímulos.
2. Capital humano e investigación: Se evalúa el nivel educativo general de la población junto con la prioridad que reciben las actividades de investigación en el país estudiado.
3. Infraestructura: Valora las condiciones de la infraestructura de telecomunicaciones, transportes y energía prevalecientes en el país, las cuales son fundamentales para la generación y difusión del conocimiento.
4. Sofisticación del mercado. Se refiere a elementos del entorno del mercado que favorecen la innovación, tales como la disponibilidad de créditos, la apertura comercial, la competencia entre las empresas y el tamaño del mercado local.
5. Sofisticación empresarial. Se refiere a la existencia de un mercado laboral desarrollado que absorba a los especialistas en ciencia y tecnología para que éstos puedan dedicarse a dichas actividades de manera eficiente.

Los pilares seis y siete del modelo representan los productos de los cinco pilares anteriores. El pilar seis se refiere a los productos científicos y tecnológicos del sistema. Dentro de este pilar se ubican tres clasificaciones denominadas: creación de conocimiento, impacto del conocimiento y difusión del conocimiento.

La creación de conocimiento evalúa los resultados obtenidos por los países en los siguientes indicadores: la generación de solicitudes de patente (ante autoridades nacionales e internacionales), las solicitudes de modelos de utilidad, las publicaciones de artículos científicos en revistas con revisión por pares y las citas de dichos artículos.

El impacto del conocimiento busca evaluar los efectos macroeconómicos y microeconómicos de las mejoras en el conocimiento, evaluando aspectos tales como el incremento en la productividad de los trabajadores, la entrada de nuevas firmas a la economía, el gasto en programas de cómputo, el número de certificados ISO 9000 y la producción industrial de media y alta tecnología como proporción de la producción industrial total.

Por su parte, el pilar denominado difusión del conocimiento se enfoca en cuatro indicadores: las regalías cobradas, las exportaciones de alta tecnología, las exportaciones de servicios relacionados con las TIC y los flujos hacia el exterior de Inversión Extranjera Directa. Con ello se busca dimensionar la forma en la que el conocimiento generado se ha convertido en una fuente de divisas para el país y la manera en la que las innovaciones locales están transfiriéndose alrededor del mundo.

Por último, el séptimo pilar se refiere a los productos creativos derivados del proceso de innovación. Para su cálculo se valoran tres aspectos: *a)* la generación de activos intangibles en el país, tales como las marcas, los diseños industriales, los modelos de negocios y los modelos organizacionales; *b)* la generación y comercialización de bienes y servicios creativos, por ejemplo, los relacionados con la cultura, el cine, la publicidad y los medios de comunicación; y *c)* la creatividad en línea.

La tabla 1 muestra las variables y dimensiones que forman el marco de análisis del IGI. Para efectos del presente trabajo, el marco de análisis utilizado proviene de este índice, puesto que retoma la óptica de insumos y productos para evaluar la capacidad de las naciones para generar, difundir y utilizar el conocimiento e innovar; la cual es óptima para mediciones de eficiencia. Es importante señalar que se optó por utilizar como salida del sistema sólo el contenido del sexto pilar, ya que refleja de mejor manera el tipo de productos que se pretende estudiar y por ser un pilar más congruente con la literatura del tema.

Tabla 1
Componentes del Índice Global de Innovación

<i>Insumos del Proceso de Innovación</i>			<i>Carry-overs</i>		<i>Productos del Proceso de Innovación</i>	
Instituciones	Capital humano e investigación	Infraestructura	Sofisticación del mercado	Sofisticación empresarial	Productos científicos y tecnológicos	Productos creativos
Entorno político	Educación básica	Tecnologías de la Información y Comunicación	Crédito	Trabajadores especializados	Creación del conocimiento	Activos intangibles
Ambiente regulatorio	Educación terciaria	Infraestructura general	Inversión	Vínculos de innovación	Impacto del conocimiento	Bienes y servicios creativos
Ambiente de negocios	Investigación y desarrollo	Sustentabilidad ecológica	Comercio, competencia y escala del mercado	Absorción del conocimiento	Difusión del conocimiento	Creatividad en línea

Fuente: elaboración propia con base en OMPI-Universidad de Cornell-INSEAD (2016).

2. Herramienta metodológica: Análisis Envolvente de Datos en red dinámica de dos etapas

Existen diferentes herramientas que permiten la medición de la eficiencia comparativa, dichos métodos se dividen en dos grandes grupos: fronteras de eficiencia paramétricas y no paramétricas; entre estas últimas se encuentra el Análisis Envolvente de Datos (AED), que es una técnica que sirve para medir la eficiencia relativa de cada una de las DMU, tomando como referencia los insumos utilizados (entradas) y los resultados generados (salidas), lo que permite saber la eficiencia de cada caso de análisis o DMU, así como los mejores modelos de *benchmarking*.

El modelo que se propone se sustenta en Rendimientos Variables a Escala (VRS), es decir, cada unidad analizada es comparada con aquéllas de su tamaño y no con todas las unidades presentes en el problema, cuya orientación es a la salida, debido a que la finalidad última es maximizar la generación de conocimiento, lo cual implica aumentar el nivel de productos del conocimiento y la tecnología, creación de conocimiento, impacto del conocimiento y difusión del conocimiento con los recursos que cuenta cada uno de los países para estos factores. De tal forma que, la expresión matemática se observa en la ecuación 1:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \Phi \\
 & \text{s. a.} \\
 & \left(\sum_{j=1}^I \lambda_j y_{rj} \right) - s_r^+ = \Phi y_{r0} \quad r = 1 \dots m \\
 & \left(\sum_{j=1}^I \lambda_j x_{ij} \right) - s_r^- = x_{i0} \quad i = 1 \dots m
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Aquí se supone la existencia de n DMU, cada una de las cuales puede aplicar m entradas para producir s outputs, asignándole al vector X_{ij} la cantidad de *input* i utilizado por la DMU_j , mientras que el vector Y_{rj} representa la cantidad de *output* r producido por la DMU_j . La variable (λ_j) indica el peso de la DMU_j en la construcción de la unidad virtual de referencia respecto de la DMU_j , que puede ser obtenida por la combinación lineal del resto de DMU . Si dicha unidad virtual no puede ser conseguida, entonces la DMU_z , para la que resuelve el sistema, se considerará eficiente y se obtiene un coeficiente igual a 1.

Actualmente los modelos AED son reconocidos como modelos robustos para medir eficiencia, puesto que utilizan datos reales de las unidades a analizar para construir una frontera de eficiencia sin una pre-configuración funcional específica, reduciendo la posibilidad de sesgo, además permiten que las eficiencias cambien con el tiempo, también disminuye la existencia de errores aleatorios (Berger y Humphrey, 1997).

No obstante las múltiples ventajas los modelos AED estándar presentan como desventaja el desconocimiento de la estructura interna de la “caja negra”, a partir de la cual se calculan las eficiencias relativas, de ahí que se han desarrollado diferentes modelos que permiten conocer dicha estructura interna del modelo, dichas técnicas se conocen como modelos de Análisis Envolvente de Datos en red dinámica (AED).

Fukuyama y Wever (2010), así como Färe y Grosskopf (1996) proponen para medir la eficiencia de un sistema interrelacionado un modelo AED que proporciona un acceso más amplio a la información, permitiendo un diagnóstico subyacente de “la caja negra”; miden el desempeño global y de los subcomponentes de las DMU, también conocidos como modelos AED.

En cuanto al análisis AED en red dinámica, cabe señalar que también este se ha ido desarrollando cada vez más y por ende existen variantes del mismo, si se propone una división general de los tipos de modelos envolventes se pueden dividir en tres tipos de análisis generales acorde con Färe and Grosskopf (2000): el modelo Análisis Envolvente de Datos (AED) en red dinámica estático en el que las salidas de un proceso son transformados en entradas en la siguiente etapa del modelo; el dinámico donde las salidas del proceso del primer periodo son consumidos como entradas en un periodo diferente; el tercer modelo está compuesto por diferentes procesos paralelos en la “caja negra”, y las entradas y las salidas del modelo son agregaciones del proceso en su conjunto. No obstante, un análisis realizado por Kao (2014) muestra hasta nueve tipos de modelos AED en red dinámica.

El modelo Análisis Envolvente de Datos (AED) en red dinámica que se propone para este estudio es un modelo dinámico que consta de dos etapas compuestas por dos nodos y variables intermedias; se hicieron dos pruebas que verifican la relación entre las entradas iniciales, variables intermedias y salidas finales. A través del análisis factorial con la técnica de análisis de componentes principales, mediante el análisis de comunalidades, todas las variables mostraron un buen nivel de extracción; en la prueba de Kaiser, Meyer y Olkin (KMO), para cada análisis se obtuvo un valor de 0.636 (ver anexo).

El modelo AED en red dinámica de dos etapas considera el proceso de transformación, y los productos intermedios z_{pj} , donde las salidas de

la primera etapa o nodo son también entradas del segundo nodo o etapa, de forma tal que la eficiencia no se calcula de manera independiente. El modelo entonces consiste en una serie de relaciones entre todo el sistema y las dos etapas correspondientes, así como la eficiencia total θ_k (Yang y Liu, 2012). Con base en esto se presenta la siguiente estructura (ecuación 2):

$$\begin{aligned}
 & \theta_k = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \\
 = & \max \left[\sum_{p=1}^q n_p z_{pk} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} \times \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pk} \right] \\
 & \text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, n \\
 & \sum_{p=1}^q n_p z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, n \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pj} \leq 1, j = 1, \dots, n \\
 & u_r, n_p, v_i \geq \varepsilon > 0 \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; p = 1, \dots, q
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Debido a que las salidas del primer nodo z_{pj} , son también las entradas del segundo nodo, los *multipliers* asociados con z_{pj} deberían ser los mismos en ambos nodos, y la eficiencia total puede ser transformada en el producto de la eficiencia de los nodos (Yang y Liu, 2012). Luego entonces, las eficiencias por nodo del modelo se presentan en la ecuación 3 y 4:

$$\begin{aligned}
 & \theta_k^1 = \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pk} \\
 & \text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = \theta_k \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, n \\
 & \sum_{p=1}^q n_p z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, n \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pj} \leq 1, j = 1, \dots, n \\
 & u_r n_p v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; p = 1, \dots, q
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

(4)

$$\begin{aligned} \theta_k^2 &= \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pk} \\ \text{s. t. } &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = \theta_k \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 1, j = 1, \dots, n \\ \sum_{p=1}^q n_p z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 1, j = 1, \dots, n \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pj} &\leq 1, j = 1, \dots, n \\ u_r n_p v_i &\geq 0 \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; p = 1, \dots, q \end{aligned}$$

En el modelo se utiliza en el concepto de *carry-overs*, variable que es una salida en el periodo t y se convierte en una entrada en el periodo $t+1$. Acorde a la actividad de los *carry-overs* se dividen en cuatro categorías: deseables o buenos, indeseables o negativos, discrecionales o libres y no discrecionales o *fixed*. En el presente modelo se utilizan solo *carry-overs* no discrecionales o *fixed*, ya que el valor de éstos está dado por los niveles observados de la variable a estudiar y afectan el resultado de la eficiencia indirectamente a través de la continuidad de la condición entre los dos periodos, siguiendo las siguientes restricciones (ecuación 5):

(5)

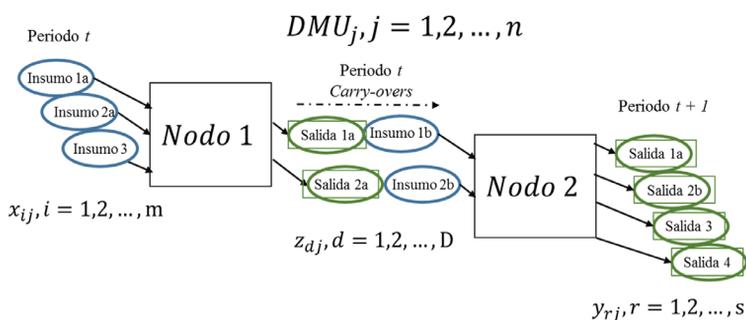
$$\begin{aligned} z_{ok_{lfix}}^{(t,1+1)} &= \sum_{j=1}^n z_{jk_{lfix}}^{(t,1+1)} \lambda_{jk}^t \\ (k_1 = 1, \dots, nfix_k; k &= 1, \dots, K; t = 1, \dots, T) \end{aligned}$$

El modelo AED en red dinámica a utilizar se divide en dos etapas, considera que cada DMU transforma algunas entradas externas X a las salidas finales Y , a través de las medidas intermediarias Z en un proceso de dos etapas, con un retraso en el tiempo, de t a $t+1$. Siendo el año t para el presente caso de estudio el año 2013 y el periodo $t+1$ corresponde al año 2016, como se muestra en la figura 1 (Tone y Tsutsui, 2014).

Para este caso de estudio, el primer nodo se compone de las variables: entorno institucional, capital humano y de investigación e infraestructura

como entradas. En el segundo nodo las variables utilizadas como salidas son: conocimiento y tecnología, creación de conocimiento, impacto del conocimiento y difusión del conocimiento. Las variables intermedias (que fungirán como salidas en la primera etapa y como entradas en la segunda etapa) son sofisticación del consumidor doméstico y sofisticación del mercado empresarial. La estructura del modelo se puede apreciar de mejor manera en la figura 1.

Figura 1
Sistema del modelo Análisis Envolvente de Datos en red dinámica propuesto



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se deben considerar diferentes elementos para este tipo de modelos: que el número de observaciones sea mayor al número total de variables, así como la homogeneidad de las DMU a comparar cuidando que las disparidades no sean demasiado significativas (Cordero, 2006); es decir, que consuman los mismos tipos de entradas y produzcan las mismas clases de salidas (Mosquera y Millán, 2013). Sin embargo, dada la naturaleza de los indicadores se elimina el primer riesgo. Así, también la eficiencia de algunas unidades podría resultar subestimada como consecuencia de la presencia de alguna o algunas observaciones (influyentes) llamadas también *outliers*², por lo que para su detección se realizan pruebas de ajuste y confiabilidad que se presentan en el apartado de anexos.

Una vez obtenidos los resultados se propone un análisis de clústeres esto con la finalidad de ofrecer una mejor interpretación de los resultados,

² Se conoce con este nombre a una unidad que no se ajusta al patrón que siguen la mayoría de las unidades a analizar (Medal y Sala, 2011).

dicho análisis de clústeres se realizará mediante el método de K-Medias, que consiste en la partición de un conjunto de n observaciones en k grupos en el que cada observación pertenece al grupo cuyo valor medio es más cercano. Considerando medias cuadráticas por medio de la prueba ANOVA³ y confirmando el número de clústeres a través de la prueba F de Fisher y el nivel de significancia.

3. Resultados

Los resultados muestran que es en la segunda etapa donde se obtuvieron los mejores valores de todos los obtenidos, esto muestra que en general los países parte del estudio tienen de un medio a un alto nivel de sofisticación, tanto por parte del consumidor como por parte de las empresas.

Los países que resultaron eficientes en la segunda etapa son Estonia, Hungría, Irlanda, Corea, Suecia, Suiza y Turquía; mientras que los países que obtuvieron resultado de ineficiencia al no alcanzar el valor de 1, pero con un valor cercano a éste fueron, en orden descendente acorde con su *score* de la segunda etapa: Alemania, República Checa, Eslovenia, Portugal, Italia, Países Bajos, México, España, Finlandia, Reino Unido, Japón, Estados Unidos, Grecia, Dinamarca y Luxemburgo. Por su parte, los países con los más altos niveles de ineficiencia en la etapa dos son Polonia, Canadá, Bélgica y Australia, con valores de 0.6846, 0.7061, 0.7232 y 0.7381 respectivamente.

La primera etapa del análisis liga al conocimiento en sus diferentes formas con tres variables: la infraestructura, el capital humano y de investigación y el entorno institucional a través de la sofisticación de los mercados, tanto del consumidor como el empresarial, mostrando resultados del nivel de eficiencia de estos tres indicadores y el impacto que se genera en dicha sofisticación o dicho de otro modo, ese nivel de exigencia de los mercados. Cabe señalar que los valores muestran un menor número de países con eficiencia que en la segunda etapa, los países eficientes para esta etapa son Bélgica, Chile, Irlanda, Israel y Estados Unidos. Por otra parte, los países con los indicadores más bajos en esta etapa son Portugal, Grecia, Finlandia, Austria y Noruega con valores de 0.7036 a 0.7810 (tabla 2).

La quinta columna de la tabla 2 muestra los resultados de eficiencia total, es decir, al considerar el sistema propuesto para el sistema o modelo de AED en red dinámica (que se puede observar de manera gráfica en la figura 1), sólo Irlanda mostró ser eficiente, lo cual implica que todos los

³ El análisis de varianza ANOVA permite comparar varios grupos en una variable cuantitativa, dicha prueba contrasta la igualdad de medias para dos muestras independientes.

países necesitan hacer mejoras en torno a las diferentes variables analizadas y a su impacto en el conocimiento, acordes a las cuatro salidas del mismo analizadas (conocimiento y tecnología, creación de conocimiento, impacto del conocimiento y difusión del conocimiento) a fin de ser eficientes. No obstante, los diez países con mejores resultados después de Irlanda fueron en orden descendente Suiza, Hungría, Estonia, Turquía, República Checa, Suecia, Países Bajos, Italia, Corea y Estados Unidos. El caso de México se puede ubicar en la posición número 18 de los 33 países analizados.

Después de calcular los resultados AED totales, en la sexta columna se muestra el resultado Bias, que es la diferencia computada entre el resultado AED y el resultado AED *bootstrapped* del resultado AED original; en otras palabras, dicha columna muestra el error estándar de los valores *bootstrapped* o el ruido que se elimina del estudio a fin de tener un resultado más certero de eficiencia.

La estimación del modelo AED a través de Bias permite eliminar el ruido, permitiendo que los resultados del modelo sean más certeros (Simar y Wilson, 2000). Una vez realizada la estimación se puede observar que los resultados del *bootstrapping* son más bajos que los resultados de eficiencia iniciales.

La tabla 2 muestra la distribución de los estimados AED, la corrección Bias con intervalo de confianza de 95% y los estimados de eficiencia *bootstrap* que resultan de aplicar la corrección Bias a los estimados de eficiencia AED. Resulta importante este último análisis, ya que si sólo se calcula el resultado de eficiencia AED de, por ejemplo, el caso de México, el resultado indicaría que para ser eficiente respecto a las salidas del conocimiento analizados se deben reducir las entradas en 33.94 por ciento ($=1/0.8757 - 1$). Sin embargo, después de la corrección Bias la reducción de entradas debería ser entre 33.94% y 54.63% con un intervalo de confianza de 95 por ciento. Como se observa, la diferencia en los intervalos no sólo es considerable, sino que adicionalmente la recomendación es más certera.

Acorde con los resultados de *bootstrapping*, ninguno de los países mostró ser eficiente en términos de las variables analizadas, no obstante, los seis países con mejores resultados o más cercanos a la eficiencia son: Irlanda con un 0.9411, Suiza con 0.8516, Hungría con 0.8339, Estonia con 0.7995, Turquía con 0.7698 y Corea con 0.7611. Es importante señalar que las diferencias entre los resultados no son tan considerables, bajan apenas entre dos y tres puntos por cada *score* entre los países.

Como se mencionó, el resultado de eficiencia *bootstrap* de cada país es más bajo que el resultado de eficiencia antes de la corrección Bias;

Tabla 2
Resultados de eficiencia

<i>Núm.</i>	<i>DMU</i>	<i>Eficiencia Etapa 1</i>	<i>Eficiencia Etapa 2</i>	<i>Eficiencia Total</i>	<i>Bias</i>	<i>Bootstrap Eficiencia</i>
1	Australia	0.8497	0.7381	0.6272	-0.0855	0.5416
2	Austria	0.7795	0.7603	0.5927	-0.0744	0.5182
3	Bélgica	1.0000	0.7232	0.7232	-0.0848	0.6384
4	Canadá	0.9692	0.7061	0.6844	-0.0961	0.588
5	Chile	1.0000	0.7685	0.7685	-0.0569	0.7115
6	República Checa	0.9108	0.9462	0.8618	-0.1229	0.7388
7	Dinamarca	0.8119	0.8128	0.6598	-0.0904	0.5694
8	Estonia	0.9345	1.0000	0.9345	-0.1350	0.7995
9	Finlandia	0.7626	0.8550	0.6521	-0.0605	0.5916
10	Francia	0.8581	0.7821	0.6711	-0.0763	0.5948
11	Alemania	0.8319	0.9597	0.7984	-0.1045	0.6938
12	Grecia	0.7151	0.8168	0.5840	-0.0773	0.5067
13	Hungría	0.9665	1.0000	0.9665	-0.1326	0.8338
14	Islandia	0.7949	0.7638	0.6071	-0.0528	0.5543
15	Irlanda	1.0000	1.0000	1.0000	-0.0589	0.9411
16	Israel	1.0000	0.7684	0.7684	-0.0178	0.7506
17	Italia	0.9377	0.8924	0.8368	-0.1193	0.7174
18	Japón	0.8457	0.8248	0.6976	-0.0811	0.6164
19	Corea	0.8241	1.0000	0.8241	-0.0631	0.7610
20	Luxemburgo	0.9780	0.8007	0.7831	-0.1023	0.6808
21	México	0.8525	0.8757	0.7466	-0.0999	0.64667
22	Países Bajos	0.9524	0.8791	0.8373	-0.1124	0.7248
23	Nueva Zelanda	0.8706	0.7862	0.6845	-0.0931	0.5913
24	Noruega	0.7810	0.7985	0.6236	-0.0896	0.5340
25	Polonia	0.9637	0.6846	0.6598	-0.1018	0.5579
26	Portugal	0.7036	0.9280	0.6530	-0.0702	0.5827
27	Eslovenia	0.8423	0.9328	0.7858	-0.1114	0.6743
28	España	0.8401	0.8553	0.7185	-0.1015	0.6170
29	Suecia	0.8478	1.0000	0.8478	-0.0928	0.7550

Tabla 2 (continuación)

Núm.	DMU	Eficiencia Etapa 1	Eficiencia Etapa 2	Eficiencia Total	Bias	Bootstrap Eficiencia
30	Suiza	0.9862	1.0000	0.9862	-0.1346	0.8515
31	Turquía	0.8997	1.0000	0.8997	-0.1299	0.7697
32	Reino Unido	0.9608	0.8476	0.8144	-0.1143	0.7001
33	Estados Unidos de América	1.0000	0.8172	0.8172	-0.0734	0.7438

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología Análisis Envolvente de Datos en red dinámica.

los países que mostraron un mayor diferencial entre los dos resultados de eficiencia son Estonia, Suiza, Hungría, Turquía y República Checa.

Una de las ventajas del modelo AED en red dinámica es que se puede observar en cada etapa del proceso de análisis cuáles de las DMU eficientes fueron utilizadas como referencia por los países no eficientes en el modelo, esto puede ser de gran ayuda a la hora de construir líneas de acción en torno a la mejora de los indicadores de eficiencia en cada etapa.

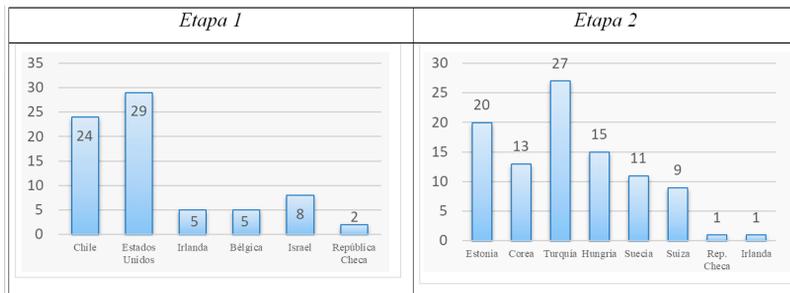
El *benchmarking* es una herramienta comúnmente utilizada, tanto en el sector público como privado, que facilita la utilización de estrategias eficaces para la mejora de los procesos, en este caso de la innovación y generación del conocimiento. De tal forma que, en la primera etapa, todos los países eficientes fueron utilizados como referencia en el modelo para el *benchmarking* destaca Estados Unidos con 29 referencias, seguido de Chile con 24 menciones, estos dos países son los más referenciados o utilizados como modelo a seguir, ya que el diferencial entre éstos y el siguiente país referenciado (Israel) es de 16 menciones; seguido de Israel, se utiliza como *benchmarking* a Bélgica e Irlanda por igual con cinco menciones y por último a República Checa, con dos menciones.

Es importante señalar que el *benchmarking* que realiza el modelo AED se hace con los países que además de resultar eficientes tienen ciertas similitudes, ya sea en el uso de las entradas o el valor de las salidas obtenidas lo que permite una recomendación más adecuada para lograr ser eficientes (gráfica 1).

En el caso de la segunda etapa, la distribución del *benchmarking* es relativamente más homogénea al tener 27 menciones, Turquía, seguida de Estonia con 20 menciones, luego Hungría con 15 referencias, después de Corea con 13, Suecia con 11, Suiza con nueve y finalmente República Checa e Irlanda con una.

Los resultados de República Checa como *benchmarking* en las dos etapas pueden indicar que dicho país tiene características muy diferentes

Gráfica 1
Benchmarking por etapas



Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología Análisis Envoltente de Datos en red dinámica (AED).

respecto a los otros países analizados, dadas las variables utilizadas, y por lo tanto no es tan recomendable tomarlo como *benchmarking* para la mejora de los países no eficientes.

La tabla 3 muestra los conglomerados resultantes de los datos contenidos en la tabla 2. La primera columna se refiere a los resultados de la medición de la eficiencia en la etapa 1. Para este caso, las naciones más eficientes, con resultados entre 0.9 y 1 forman parte del conglomerado número 3. El conglomerado número 1 agrupa a los países que obtuvieron resultados entre 0.8 y menos de 0.9, es decir los segundos mejor evaluados por la prueba. Los países menos eficientes de la etapa 1 aparecen en el clúster número 2 y obtuvieron calificaciones menores a 0.8. En esta etapa la prueba contrasta los resultados obtenidos del uso de los insumos (instituciones, infraestructura y capital humano) y los productos obtenidos de los mismos.

Si bien el clúster 3 muestra en su mayoría a países desarrollados con capacidades para ser bien evaluados en estos insumos, puede apreciarse que comparten el clúster con países como Hungría, Estonia, Italia o Israel, los cuales pese a sus carencias de insumos relacionados con la infraestructura y la formación de capital humano, consiguen obtener resultados competitivos, en contraste con los obtenidos por países desarrollados.

En la columna de la etapa 2, los países más eficientes aparecen en el conglomerado 3 y son aquéllos con resultados entre 0.94 y 1. Los segundos mejor evaluados se encuentran en el conglomerado 1, con calificaciones entre 0.84 y 0.93. Les siguen en eficiencia los miembros del conglomerado 2, con calificaciones entre 0.83 y 0.74. Por último, se encuentran los países del conglomerado 4, con calificaciones menores a 0.74. En esta etapa las pruebas contrastan la eficiencia entre los *carry overs* y los productos del sistema de innovación. Puede apreciarse que países

Tabla 3
Eficiencia por clúster

<i>Etapas 1</i>		<i>Etapas 2</i>		<i>Total</i>		<i>Total Bootstrap</i>		
1	Australia	1	Finlandia	1	Chile	1	Chile	
	Dinamarca		Italia		República Checa		República Checa	
	Francia		México		Alemania		Estonia	
	Alemania		Países Bajos		Israel		Alemania	
	Japón		Portugal		Italia		Israel	
	Corea		Eslovenia		Corea		Italia	
	México		España		Luxemburgo		Corea	
	Nueva Zelanda		Reino Unido		Países Bajos		Países Bajos	
	Eslovenia		2		Austria		Eslovenia	Suecia
	España				Chile		Suecia	Turquía
Suecia	Dinamarca	Reino Unido		Reino Unido				
	Francia	EUA		EUA				
2	Turquía	2	Grecia	2	Australia	2	Australia	
	Austria		Islandia		Austria		Austria	
	Finlandia		Israel		Dinamarca		Dinamarca	
	Grecia		Japón		Finlandia		Grecia	
	Islandia		Luxemburgo		Grecia		Islandia	
	Noruega		Nueva Zelanda		Islandia		Noruega	
Portugal	Noruega	Noruega	Polonia					
3	Bélgica	3	EUA	3	Polonia	3	Portugal	
	Canadá		República Checa		Portugal		Bélgica	
	Chile		Estonia		Estonia		Canadá	
	República Checa		Alemania		Hungría		Finlandia	
	Estonia	Hungría	3	Irlanda	Francia			
	Hungría	Irlanda		Suiza	Japón			
	Irlanda	Corea		Turquía	Luxemburgo			
	Israel	Suecia	4	Bélgica	4	4	México	
	Italia	Suiza		Canadá			Nueva Zelanda	
	Luxemburgo	Turquía		Francia			Eslovenia	
	Países Bajos	Australia		Japón			España	
	Polonia	4	Bélgica	4	México	4	Hungría	
	Suiza		Canadá		Nueva Zelanda		Irlanda	
	Reino Unido		Polonia		España		Suiza	
EUA								

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología AED en red dinámica y el análisis de clústeres mediante el método de K-Medias.

con mercados y entornos empresariales sofisticados comparten clúster con países menos desarrollados, nuevamente en este clúster es posible identificar a Hungría, Estonia o la República Checa que, pese a su baja sofisticación, consiguieron productos similares a los de naciones tales como Países Bajos o Bélgica.

La eficiencia total realiza una evaluación que toma en consideración las dos etapas previas. En cuanto a eficiencia total se refiere que se generaron cuatro conglomerados. El que contiene a los países más eficientes es el número 3, con calificaciones entre 0.89 y 1. Les siguieron los países del conglomerado 1, con calificaciones entre 0.88 y 0.75; después se ubicaron los países del 4 con evaluaciones entre 0.67 y 0.74 y los países del 2 con calificaciones menores 0.66. Puede apreciarse que el conglomerado más eficiente contiene a dos de las naciones mejor evaluadas en las etapas anteriores y con los insumos y sofisticaciones más destacadas; Irlanda y Suiza, sin embargo, logran compartir este clúster con Hungría y Estonia los cuales, como se apreció en las etapas anteriores, parecen conseguir resultados favorables con recursos relativamente escasos.

Finalmente, la columna *Total Bootstrap* arroja cuatro conglomerados. Los países más eficientes en este sentido aparecen en el clúster 4 con calificaciones entre 0.83 y 0.94; los segundos países más eficientes forman el conglomerado 1, con resultados entre 0.69 y 0.82; les siguieron en eficiencia los países del 3 con evaluaciones entre 0.588 y 0.68. Finalmente, se encontraron los países del conglomerado 2, con índices de eficiencia inferiores a 0.582.

Conclusiones

La generación de conocimiento se ha vuelto un requisito indispensable para las economías que aspiran a crecer y desarrollarse en un ambiente cada vez más competitivo. Dicho conocimiento debe ser transferido a través del mercado para generar un verdadero impacto en las economías.

Pese a la importancia del tema y al amplio consenso que existe sobre su papel determinante en el porvenir económico de las naciones, la cuantificación del uso eficiente de los recursos utilizados en el proceso de generación, transferencia e impacto del conocimiento ha recibido poca atención por parte de la academia.

La metodología AED es una herramienta sumamente útil a la hora de hacer cálculos de eficiencia, sin embargo, tiene algunas debilidades como el no permitir saber el proceso interno del cálculo derivado del manejo de las entradas y salidas, o el ruido que pueda recibir la información

durante su procesamiento, lo que puede generar un error a la hora del cálculo de la eficiencia.

No obstante, estos problemas se resuelven a través de dos procesos realizados en este trabajo: el cálculo del Análisis Envoltante de Datos (AED) en red dinámica, ya que esta variante permite conocer el proceso e infraestructura interna de lo que frecuentemente se conoce como “caja negra”, lo cual permite mejorar las prácticas de las DMU a analizar en lo que se refiere a la transferencia del conocimiento y los diferentes insumos necesarios para la generación de conocimiento e innovación, así como su impacto y difusión.

El ruido generado a través del procesamiento de los datos se elimina realizando un *bootstrap*, lo que genera 95% de confianza respecto a las recomendaciones hechas a partir de los resultados dados. No obstante, es importante señalar que los resultados de eficiencia obtenidos corresponden a los criterios considerados, plasmados en las variables analizadas.

El objetivo de la investigación fue identificar la eficiencia respecto a la evaluación de la generación, difusión e impacto del conocimiento e innovación en un grupo de 33 países; como lo muestra la tabla 2 no sólo se cumplió con el mismo sino que, además, dentro de los hallazgos más importantes, se puede concluir que si bien hace falta mejorar procesos, la gran mayoría de los países están cerca de lograr ser eficientes en el uso de sus insumos respecto a las variables analizadas como lo muestran los resultados generados; Grecia es el país con los resultados más bajos mostrados con un valor de 0.5067.

Otro dato interesante es que al descomponer el análisis en dos etapas se puede observar claramente cómo las variables intermedias empujan los valores de eficiencia hacia arriba, ya que el promedio del *score* de la segunda etapa es superior a los otros resultados, este es de 0.8870. Al analizar este resultado se puede inferir que es el propio consumidor, ya sea doméstico o empresarial, el que empuja hacia el desarrollo de conocimiento y tecnología, esto se respalda a través de la teoría económica que describe la interacción en el mercado entre productores y consumidores.

Destaca que el clúster más eficiente del estudio contiene a Irlanda, Suiza y Hungría. Estos resultados son de esperarse para el caso de los dos primeros, ambos con fortalezas importantes en los insumos del sistema y la sofisticación reflejada en los *carry overs*. El que Hungría consiguiera ser altamente eficiente señala que, pese a sus limitaciones sociales y económicas, el país hace un buen uso de sus recursos y en el futuro podría pertenecer al selecto número de los países líderes del rubro. Cabe también resaltar que ninguno de los miembros más desarrollados de la OCDE (tales como Estados Unidos, Alemania o Reino Unido) consiguió ingresar al clúster más eficiente de la etapa *bootstrap*, permanecieron en el

segundo clúster más eficiente. Esto implica que, pese a su solvencia en materia de insumos y *carry overs*, estas naciones aún tienen espacio para mejorar la gestión de sus recursos invertidos en actividades de innovación.

En el caso de México se puede apreciar que no es un país eficiente respecto a las variables analizadas, ya que obtuvo un valor de 0.6466; dicho de otro modo, es necesario que mejore entre 33.94% y 54.63 por ciento. De los países considerados, México es el segundo peor evaluado en instituciones y capital humano y el peor evaluado en infraestructura. En cuanto a productos del sistema, México es el peor calificado en creación de conocimiento, el segundo peor en impacto del conocimiento y ocupa el lugar 25 de 33 en difusión del conocimiento. La pregunta es ¿en qué debe mejorar?

Acorde con los resultados obtenidos, los más bajos para México fueron en el primer nodo, es decir las recomendaciones más importantes para el caso de México serán respecto al entorno institucional, esto es la mejora de las regulaciones y entorno político para el fortalecimiento empresarial en general; el apoyo de generación de capital humano y de investigación a través de la formación de recursos humanos de alto nivel y el apoyo a través de programas para la investigación, como en el aumento de recursos de Conacyt o la mejor distribución de los mismos. Finalmente, a través del empuje a la infraestructura por medio del acceso a las tecnologías, energías y servicios brindados en línea de calidad.

A partir de los resultados obtenidos en el estudio realizado por Hollanders y Celikel (2007) es posible inferir resultados similares en términos de similitudes territoriales y el grado de innovación. Mientras que el estudio realizado por Gao y Chou (2015) podría robustecer la discusión de los resultados obtenidos respecto a los grados de eficiencia, al considerar dinamizadores de este tipo de eficiencia al grado de desarrollo económico de los países donde operan las firmas y a la fortaleza de la protección a la propiedad intelectual.

Anexo

Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		.636
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	490.571
	gl	36
	Sig.	.000

Fuente: Elaboración propia con base en las pruebas realizadas de Análisis Factorial.

Comunalidades

	<i>Inicial</i>	<i>Extracción</i>
Entorno institucional	1.000	.695
Capital humano y de investigación	1.000	.771
Infraestructura	1.000	.741
Sofisticación del consumidor doméstico	1.000	.677
Sofisticación del mercado empresarial	1.000	.803
Conocimiento y tecnología	1.000	.947
Creación de conocimiento	1.000	.735
Impacto del conocimiento	1.000	.728
Difusión del conocimiento	1.000	.801

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Fuente: elaboración propia con base en las pruebas realizadas de Análisis Factorial.

Fuentes consultadas

Berger, Allen, David Humphrey (1997), "Efficiency of financial institutions: international survey and directions for future research", *European Journal of Operational Research*, 98 (2), Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 175-212.

Bloomberg (2015), "The Bloomberg Innovation Index", Bloomberg L.T. Nueva York, Estados Unidos de América, <<https://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/>>, 22 de agosto de 2017.

Cordero, José Manuel (2006), "Evaluación de la eficiencia con factores exógenos mediante el Análisis Envolvente de Datos. Una aplicación a la educación secundaria en España", tesis doctoral, Universidad de Extremadura, Badajoz, España.

- Färe, Rolf y Shawna Grosskopf (1996), "Productivity and intermediate products: a frontier approach", *Economics Letters*, núm.50, Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 65-70.
- Färe, Rolf y Shawna Grosskopf (2000), "Network DEA. Socio-Economic Planning Sciences", *The International Journal of Public Sector Decision-Making*, 34 (1), Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 35-49.
- Farrell, Michael James (1957), "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, 120 (3), Jstor, Nueva York, Estados Unidos de América, pp. 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Ferranti, David de, Guillermo Perry, Indermit Gill, Luis Guasch, William Maloney, Carolina Sánchez-Páramo y Norgert Schady (2003), *Cerrar la brecha en educación y tecnología*, Banco Mundial-Alfaomega, Bogotá, Colombia.
- Fukuyama, Hirofumi y William Weber (2010), "A slacks-based inefficiency measure for a two-stage system with bad outputs", *The International Journal of Management Science*, núm.38, Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 398-409.
- Fundación Friedrich Naumann-Fundación Este País (2005) "México ante el reto de la economía del conocimiento. Resultados nacionales por entidad federativa", *Este País. Tendencias y opiniones*, núm. 174, Fundación Friedrich Naumann-Fundación Este País, Ciudad de México, México, pp. 1-32.
- Furman, Jeffrey, Michael Porter y Scott Stern (2001), "The determinants of national innovative capacity", *Research Policy*, (31) 6, The National Bureau of Economic Research, Cambridge, Estados Unidos de América, pp. 899-933.
- Gao, Wenlian y Julia Chou (2015), "Innovation efficiency, global diversification and firm value", *Journal of Corporate Finance*, 30 (2), Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 278-298.
- Guang, Jiancheng y Junxia Wang (2004), "Evaluation and interpretation of knowledge production efficiency", *Scientometrics*, 59 (1), Springer, Berlín, Alemania, pp. 131-155.

- Hollanders, Hugo y Funda Celikel (2007), *Measuring innovation efficiency*, Innometrics y University of Maastricht, Limburgo, Países Bajos.
- Huerta, Jesús (2004), “La teoría de la eficiencia dinámica. Procesos del Mercado”, *Revista Europea de Economía Política*, 1 (1), Unión Editorial y Universidad Rey Juan Carlos, Madrid, España, pp. 11-71.
- Johnes, Jill y Geraint Johnes (1995), “Research funding and performance in U.K. University Departments of Economics: a frontier analysis”, *Economics of Education Review*, 14 (3), Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 301-314.
- Kao, Chiang (2014), “Network data envelopment analysis”, *European Journal of Operational Research*, 239 (1), Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp.1-16.
- Korhonen, Pakka, Risto Tainio y Jyrki Wallenius (2001), “Value efficiency analysis of academic research”, *European Journal of Operational Research*, vol. 130, Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 121-132.
- Medal, Amparo y Sala, Ramón (2011), “Análisis de la eficiencia y liderazgo de los puertos españoles por áreas geográficas”, *Revista de Estudios Regionales*, núm. 91, Universidad de Andalucía, Andalucía, España, pp.161-182.
- Mosquera, Henry y Millán, Julio César (2013), “Competitividad en empresas innovadoras de software y tecnologías informáticas”, *Cuadernos de administración*, 29 (49), Facultad de Ciencias de la Administración/Universidad del Valle, Cali, Colombia, pp. 37-44.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (2007) “Roadmap for the accession of Chile to the OCDE Convention”, 3 de diciembre de 2007, OCDE, París, Francia.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (2018), “The accession process”, OCDE, París, Francia, <<https://www.oecd.org/legal/accession-process.htm>>, 24 de febrero de 2018.
- OMPI-Universidad de Cornell-INSEAD (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual Universidad de Cornell-Institut Européen

- d'Administration des Affaires) (2016), *The Global Innovation Index*, OMPI-Universidad de Cornell-INSEAD, Ginebra, Suiza.
- Pessoa, Argentino (2003), *Ideas-driven growth: the OECD evidence*, Universidade do Porto, Oporto, Portugal.
- Porter, Michael (1990), *The competitive advantage of nations*, Free Press, Nueva York, Estados Unidos de América.
- Restrepo, María y Juan Villegas (2007), "Clasificación de grupos de investigación colombianos aplicando Análisis Envoltante de Datos", *Revista Facultad de Ingeniería*, núm. 42, Universidad de Antioquia, Antioquia, Colombia, pp. 105-119.
- Simar, Leopold y Paul Wilson (2000), "Statistical inference in nonparametric frontier models: the state of the art", *Journal of Productivity Analysis*, 13 (1), Springer, Berlín, Alemania, pp. 49-78.
- Tone, Kaoru y Miki Tsutsui (2014), "Dynamic DEA with network structure: Aslacks-based measure approach", *Omega*, núm. 42, Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 124-131.
- Yang, Chyan y Hsian-Ming Liu (2012), "Managerial efficiency in Taiwan bank branches: A network DEA", *Economic Modelling*, núm. 29, Elsevier, Ámsterdam, Holanda, pp. 450-461.

Recibido: 06 de noviembre de 2017.

Reenviado: 06 de febrero de 2018.

Aceptado: 09 de marzo de 2018.

América Ivonne Zamora-Torres. Doctora en Ciencias en Negocios Internacionales por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Es Directora del Centro de Estudios APEC Michoacán, miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1. Tiene el perfil Promep otorgado por la Secretaría de Educación Pública. Se desempeña como profesora-investigadora titular "A" de tiempo completo en el Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE) perteneciente a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), en Morelia, Michoacán. La línea de generación y aplicación del conocimiento que ha desarrollado en su investigación

científica es eficiencia y competitividad internacional con énfasis en la logística del comercio internacional de la región Asia Pacífico. Entre sus últimas investigaciones destacan: “La eficiencia de las aduanas de la región APEC: un análisis a través del modelo DEA Malmquist”, *México y la Cuenca del Pacífico*, 6 (18), Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades/Universidad de Guadalajara, Jalisco, México, pp. 17-36 (2017); en coautoría, “Dimensiones determinantes de la competitividad de Estados Unidos y México a través del análisis factorial de correspondencias”, *Análisis Económico*, 32 (79), Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, México, pp. 126-148 (2017); en coautoría, “Study of the Michoacan providence of Zamora as a pole of international competitiveness in agricultura”, *CLIO América*, 10 (20), Universidad de Magdalena, Santa Marta, Colombia, pp. 139-159e (2017).

Antonio Favila-Tello. Doctor en Ciencias del Desarrollo Regional por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Profesionalmente se ha desempeñado como consultor de diversas empresas y en el sector público dentro del Ayuntamiento de Morelia, la Universidad Abierta y a Distancia de México y la Auditoría Superior de la Federación. Actualmente colabora en el ININEE como investigador y docente de los programas doctorales en Ciencias del Desarrollo Regional y en Ciencias en Negocios Internacionales, así como en el programa de Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel candidato. Entre sus últimas investigaciones destacan: en coautoría “Desigualdad educativa y su relación con la distribución del ingreso en los estados mexicanos”, *CPU-e. Revista de Investigación Educativa*, 24 (1), Universidad Veracruzana, Veracruz, México, pp. 75-98 (2017); “La relación entre escolaridad, empleo informal e ingresos propios en las entidades federativas mexicanas”, *Equilibrio Económico*, 13 (2), Universidad Autónoma de Coahuila, Coahuila, México, pp. 119-142 (2017); en coautoría “La desigualdad de la educación en México, 1990-2010: el caso de las entidades federativas”, *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 15 (2), Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, México, pp. 75-98 (2013).