

Innovación de los países miembros de la OCDE. Una aproximación a través del Análisis Envoltante de Datos Network Dinámico y el Análisis de Conglomerados Jerárquicos

Innovation among the OECD members. An approach through Dynamic Network Data Envelopment Analysis and Hierarchical Conglomerate Analysis

América Ivonne Zamora-Torres^{1*}, Antonio Favila Tello¹

¹Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ciudad Universitaria, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales. Francisco J. Mújica S/N, Morelia, Michoacán, México. C.P. 58030. Tel: +52 433 3165131
Correo electrónico: americazt@gmail.com

*Autor de correspondencia

Resumen

El presente estudio tiene por objetivo el realizar un comparativo por clústeres de la eficiencia de 33 países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en lo relativo a su desempeño en materia de innovación. Para ello se emplean dos metodologías: el Análisis de la Envoltante de Datos (DEA) Network Dinámico (que sirve para medir eficiencia) y un Análisis de Conglomerados Jerárquicos (cuyo propósito es clasificar). Los insumos del análisis DEA de la primera etapa fueron tres variables: las instituciones, el capital humano y la infraestructura. Como variables intermedias se consideraron a la sofisticación del mercado doméstico y a la sofisticación del mercado empresarial. Como productos del sistema, se utilizaron las variables de los productos científicos y tecnológicos de los países considerados. Los resultados muestran que los líderes innovadores más eficientes fueron Estonia, Hungría, Suiza e Irlanda. Otros catorce países fueron clasificados como innovadores fuertes. México se encontró en el clúster de innovadores moderados junto con España y Japón, mientras los países menos eficientes fueron Australia, Austria, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Grecia, Islandia, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia y Portugal.

Palabras clave: Eficiencia; OCDE; DEA; Network; Conglomerados.

Abstract

The objective of this study is to make a comparison by cluster of the innovative efficiency of 33 Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) members. To do so, two methodologies are used: a Dynamic Network Data Envelopment Analysis (DEA) and a Hierarchical Conglomerate Analysis. The inputs of DEA analysis of the first stage were three factors: institutions, human capital, and infrastructure. As intermediate variables, the sophistication of the domestic market and the sophistication of the business market were considered. As products of the system, scientific and technological products were used. The results show that the most efficient innovative leaders were Estonia, Hungary, Switzerland, and Ireland. Fourteen other countries were classified as strong innovators. Mexico was found in the cluster of moderate innovators along with Spain and Japan, while the least efficient countries were Australia, Austria, Canada, Denmark, Finland, France, Greece, Iceland, New Zealand, Norway, Poland, and Portugal.

Keywords: Efficiency; OECD; DEA; network; clusters.

Recibido: 18 de marzo de 2018

Aceptado: 8 de febrero de 2019

Publicado: 16 de octubre de 2019

Como citar: Zamora-Torres, A. I., & Favila-Tello, A. (2019). Innovación de los países miembros de la OCDE. Una aproximación a través del Análisis Envoltante de Datos Network Dinámico y el Análisis de Conglomerados Jerárquicos. *Acta Universitaria* 29, e2244. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2019.2244>

Introducción

Uno de los grandes retos que enfrentan las naciones consiste en desarrollar actividades económicas de mayor valor agregado que les permitan competir en el complejo escenario actual de los negocios internacionales; en este sentido, el desarrollo de las capacidades nacionales para innovar reviste una enorme importancia, tanto para fomentar el crecimiento económico de largo plazo como para generalizar el acceso de la población a una mejor calidad de vida (Dzemydaite, Dzemyda & Galiniene, 2016).

Un prerrequisito indispensable para la mejora del desempeño de las naciones en las tareas de innovación es la medición y el seguimiento de la eficiencia de los recursos invertidos en dichas actividades. Esta medición posee a su vez profundas implicaciones en el adecuado diseño de las políticas públicas de la materia y en la asimilación local de las mejores prácticas internacionales del rubro (Lee & Park, 2005).

Distintos marcos de análisis han surgido con la finalidad de evaluar la actuación de las naciones en materia de innovación. Algunos de estos instrumentos generan índices que proporcionan una imagen de las fortalezas y debilidades de las naciones en distintos componentes que se consideran como dinamizadores de la actividad innovadora, con la finalidad de realizar clasificaciones y análisis comparativos que nutran la discusión de la materia y orienten la toma de decisiones.

Entre estos instrumentos es posible mencionar al Índice ArCo (Archibugi y Coco, 2004), al Índice de Logro Tecnológico (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2001), al Índice Global de Innovación (Organización Mundial de Propiedad Intelectual [OMPI], Universidad de Cornell y el Instituto Europeo para la Administración de Negocios [Insead], 2016) y al Índice de Política e Innovación de la Cámara Internacional de Estados Unidos (*U.S. Chamber of Commerce Global Innovation Policy Center*, 2018).

Los instrumentos anteriores, en general, agrupan indicadores de un mismo tipo para generar una serie de pilares o grandes variables fundamentales que a su vez funcionan como insumos del proceso de innovación y cuyos resultados se ven reflejados en un conjunto de productos del sistema.

Esta conformación permite generar de manera ágil comparaciones útiles para identificar las áreas que requieren de mayor atención por parte de los tomadores de decisiones. Sin embargo, pese a la utilidad de estos índices, su alcance es mayormente descriptivo, lo que abre una ventana de oportunidad para el aprovechamiento de otras técnicas estadísticas que permitan una aproximación más compleja a la naturaleza del fenómeno, robustezcan los resultados obtenidos, disminuyan la subjetividad en la interpretación de estos y funcionen como medidas de sensibilidad que permitan identificar el aporte de los factores al producto final del sistema de innovación (Cherchye *et al.*, 2008).

El objetivo del presente trabajo es realizar un comparativo por clústeres en cuanto a la eficiencia de 33 países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en lo que respecta a su desempeño en materia de innovación. Se parte del supuesto que indica que tres insumos, las instituciones, el capital humano y la infraestructura, generan a su vez dos *carry-overs*¹, la sofisticación del mercado y la sofisticación empresarial, los cuales a su vez crean cuatro salidas que dan cuenta de la capacidad de innovación de cada economía denominados: productos del conocimiento y la tecnología,

¹ Es una variable que es un output en el periodo t y se convierte en un input en el periodo $t+1$.

creación de conocimiento, impacto del conocimiento y difusión del conocimiento (OMPI, Universidad de Cornell e Insead, 2016).

Para realizar lo anterior se utiliza un Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés) de dos etapas. Con dichos resultados se realiza la conformación de los conglomerados correspondientes y se analizan sus características.

Los 33 países de la OCDE tomados en consideración para el presente estudio son los siguientes: Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Corea, Dinamarca, Eslovenia, España, Estados Unidos, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia, Suiza y Turquía.

El factor principal para la selección de esos países obedece a que su pertenencia a la OCDE los somete a un conjunto de condiciones similares. Por un lado, la pertenencia a la OCDE tiende a homogenizar ciertas características relevantes para el desempeño de sus Sistemas Nacionales de Innovación, tales como su apertura a las inversiones extranjeras y al comercio internacional, así como sus políticas de desarrollo, competencia, educación, ciencia y tecnología. Por otro lado, estos países comienzan a experimentar desventajas en materia de innovación relacionadas con el rápido avance de las economías emergentes, las actividades de las empresas transnacionales, el cambio en los patrones tradicionales de la migración internacional, el envejecimiento de la población en las economías europeas y la fragmentación de las cadenas de valor, fenómenos que tienen por resultado una reconfiguración de la distribución de las actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) alrededor del mundo, con una consecuente concentración espacial del talento y la inversión (OCDE, 2016).

En términos generales, la inversión en actividades de I+D de los miembros de la OCDE sufrió retrocesos importantes a partir de la crisis económica de 2008 y ha sido hasta años recientes que la misma ha mostrado signos de recuperación. Dicha recuperación ha sido subsidiada de manera importante por los gobiernos lo cual ha generado una creciente preocupación por incentivar las inversiones privadas en actividades de I+D y por incrementar la eficiencia de los recursos públicos invertidos (OCDE, 2016).

En este escenario, la utilización de las técnicas disponibles para la evaluación de la eficiencia incide en el mejor conocimiento y diagnóstico del fenómeno y en la generación de elementos que coadyuven a la mejor toma de decisiones. Se comienza con una revisión de la literatura existente sobre el tema de estudio, posteriormente se describen las metodologías utilizadas durante el presente análisis, a continuación, se redactan los principales resultados obtenidos y se cierra el documento con una sección de discusión y conclusiones.

El presente documento se inicia con una revisión de literatura entorno a la innovación y la eficiencia, posteriormente exponer los instrumentos utilizados en el apartado de materiales y métodos a fin de cumplir con el objetivo planteado, después se muestran y analizan los resultados obtenidos a partir de la implementación de la metodología empleada y por último se da a paso a las conclusiones del estudio.

Revisión de literatura

Retrospectiva teórica sobre la innovación

La innovación ha sido considerada como uno de los elementos fundamentales que explican la capacidad de las naciones para prosperar y competir; su influencia ha sido reconocida desde los tiempos de los economistas clásicos y hasta nuestros días, frecuentemente entremezclándose con otros conceptos típicos

de la teoría del crecimiento económico, tales como el cambio técnico o el avance tecnológico (Hejs & Buesa, 2016; Porter & Stern, 2001).

Pese a la importancia del tema, la mayor abundancia de definiciones y pronunciamientos teóricos al respecto se originaron a partir del siglo XX; el desarrollo de definiciones fue acompañando al desenvolvimiento de las teorías de la materia y a la generación nuevas posiciones al respecto.

Desde los años de la segunda guerra mundial y hasta principios de los años ochenta es posible ubicar la influencia determinante del enfoque Schumpeteriano de la innovación. De acuerdo con Schumpeter (1939), la innovación abarca una variedad de fenómenos sintetizados en cinco categorías: la innovación del producto, la innovación del proceso, la apertura de un nuevo mercado, la aplicación de nuevos materiales a la producción y la emergencia de nuevas formas organizativas en la industria. El pensamiento Schumpeteriano continúa influyendo en las definiciones y métodos de medición hasta nuestros días, lo cual puede observarse, por ejemplo, en la definición de innovación postulada dentro del Manual de Oslo, en la cual puede entenderse a la innovación como la generación de nuevos o significativamente mejorados productos (sean bienes o servicios), procesos, métodos de mercadotecnia, métodos organizacionales, prácticas de negocios y formas de organización del lugar de trabajo o de las relaciones externas (OCDE, 2005).

El enfoque Schumpeteriano coloca en el centro del proceso de innovación a los empresarios, los cuales al innovar ejercen un proceso de destrucción creativa, en el cual provocan la salida de determinados productos del mercado y la llegada de otros más novedosos e innovadores.

El colocar al empresario en el centro del proceso fue también una influencia determinante en el denominado enfoque lineal, el cual abarcó una parte importante de los estudios del tema hasta los años ochenta. En el enfoque lineal el proceso de innovación parte de la detección de una necesidad por parte de los empresarios, los cuales se valen de las actividades de investigación y desarrollo (I+D) para satisfacerla y generar lucro. A su vez, el consumidor retroalimenta el proceso, generando así influjos de información que la empresa convierte en nuevas innovaciones. En este enfoque, el avance científico y tecnológico también puede generar innovaciones, ofreciendo el producto para originar su demanda, es decir, la innovación puede surgir por un tirón de la propia demanda o por un empujón de la ciencia (Formichella, 2005).

A partir de los años ochenta es posible detectar el inicio de la teoría evolucionista, la cual buscó profundizar y complejizar los conceptos Schumpeterianos. Para los evolucionistas, la tecnología se desarrolla gradualmente a la vez que se difunde, es decir, el desarrollo tecnológico y su asimilación por parte de la sociedad forman parte de un mismo fenómeno. Así mismo, los evolucionistas se caracterizan por brindar un peso importante en el análisis al contexto (político, económico, histórico e institucional) y la retroalimentación que dicho contexto ejerce sobre las empresas, las cuales poseen características y capacidades diferenciadas para innovar (Dosi, 1988; Formichella, 2005).

En esta época Nelson & Winter (1982) plantean que la innovación puede definirse de dos maneras distintas: la innovación radical, la cual introduce un bien o servicio que antes era inexistente y que acorta bruscamente el ciclo de vida de los otros productos, y la innovación incremental, la cual consiste en pequeñas mejoras sucesivas de los productos y procesos ya existentes.

En adelante el pensamiento evolucionista influiría en una gran variedad de trabajos sobre la materia. Para Porter & Stern (2001), los trabajos teóricos sobre la innovación tendieron a alinearse ante tres grandes corrientes:

- a) La corriente del crecimiento guiado por las ideas. Esta corriente toma sus principales influjos de la teoría del crecimiento endógeno de Romer (1990) y plantea que las sociedades destinan recursos a la innovación en función del retorno que esperan obtener sobre dichas inversiones, lo cual explica la diferenciación en las asignaciones presupuestales y en la cantidad de recursos humanos dedicados a las actividades de I+D en diferentes países del mundo.
- b) La corriente microeconomicista. Esta corriente brinda al entorno microeconómico un alto poder explicativo sobre la capacidad de innovación de las naciones y en el esclarecimiento de las relaciones existentes entre esta, la productividad y la competitividad. Esta corriente brinda especial atención a la manera en la que las empresas de un determinado país se agrupan en clústeres y el impacto que ello tiene en la innovación del sector privado. La organización en clústeres es vista como una forma ágil de transferir conocimientos entre las empresas, pero también como una fuente de presión y competencia benéfica para la innovación. Otros factores centrales en los análisis microeconomicistas son: la disponibilidad de recursos humanos altamente capacitados, la influencia de las instituciones, la eficiencia del mercado laboral, la existencia de incentivos a la actividad creativa, la protección a la propiedad intelectual, el papel de las universidades y la sofisticación de la demanda, así como los vínculos existentes entre los actores del proceso de innovación (Stern, Porter & Furman, 2000).
- c) La corriente de los Sistemas Nacionales de Innovación. Esta corriente se concentra en el papel que las organizaciones, las instituciones y otros actores específicos juegan en el comportamiento innovador de los países. Esta corriente otorga un papel central a la evaluación y diseño de las políticas públicas del sector, a la actuación de los gobiernos, al contexto histórico, a la protección de la propiedad intelectual y, especialmente, a los vínculos que se construyen entre la iniciativa privada, el gobierno, las universidades y la sociedad (Stern *et al.*, 2000).

Aun cuando estas escuelas teóricas continúan siendo ampliamente influyentes y continúan sirviendo como marco para agrupar a los nuevos trabajos de la materia, existen novedades en el estudio de la innovación que enfatizan la importancia de la tecnología y de la participación de la sociedad en la generación de nuevas empresas innovadoras y en su financiamiento. Maneras como la microfinanciación colectiva y el financiamiento entre pares han ganado una gran atención de los académicos que buscan medir sus impactos y su potencial para dinamizar las actividades innovadoras en países emergentes (Bruton, Khavul, Siegel & Wright, 2014).

Pese al largo camino que la innovación ha recorrido en la literatura económica, aún se encuentra sujeta a limitaciones conceptuales y teóricas, dado que no ha sido posible llegar a una definición unívoca del término ni a un acuerdo sobre la mejor manera de representarla numéricamente. Estas limitaciones generalmente se han solventado a través de indicadores que se aproximan a sus efectos, tales como el número de solicitudes de patentes o el número de publicaciones científicas, los cuales continúan siendo polémicos como aproximaciones de un concepto amplio y complejo como el de la innovación.

La medición de la eficiencia en la innovación

El concepto de eficiencia (en su sentido económico) remite a la idea de la capacidad de las entidades para conseguir la máxima producción posible a partir de una cantidad determinada de insumos. Los valores más altos en un indicador de eficiencia se relacionan con el mejor aprovechamiento de los recursos invertidos, la maximización de los beneficios y la disminución de los costos, así como con el mejor uso de la tecnología y la creatividad en los procesos productivos. Los análisis de eficiencia, pese a haberse originado en el ámbito de la industria, poseen múltiples aplicaciones en el estudio de los bienes intangibles,

dada su utilidad para orientar la toma de decisiones y el diseño de políticas públicas (Restrepo & Villegas, 2007).

La combinación de mediciones de eficiencia y el análisis de conglomerados (también conocidos como clústeres) para el estudio de la capacidad de innovación de países o regiones es relativamente reciente en la literatura del tema. Esta combinación permite realizar clasificaciones ordenadas del desempeño de las Unidades de Decisión (DMU's), de acuerdo con sus características e identificar de manera gráfica aquellas áreas en las que pueden concentrar sus esfuerzos para mejorar.

Ejemplo de lo anterior pueden encontrarse en trabajos como el de Lee & Park (2005) en el cual los autores utilizan el Análisis Envolvente de Datos (DEA) para medir la eficiencia de las actividades de I+D de 27 países asiáticos, clasificándolos de acuerdo con las características de sus productos en cuatro grandes conglomerados: países inventores, comercializadores, académicos y rezagados. En este estudio destacaron países como Singapur y Japón, mientras resultaron rezagados China y Taiwán.

Hollanders & Celikel (2007) realizan un comparativo internacional de la eficiencia en innovación utilizando como insumos del sistema al nivel educativo de los recursos humanos, al contacto con las nuevas tecnologías, a la inversión pública y privada en I+D y a las actividades de I+D realizadas por las pequeñas y medianas empresas. Como productos del sistema, los autores consideraron al empleo en actividades innovadoras, al uso de instrumentos de propiedad intelectual y a las exportaciones de nuevos productos. Destacaron por su desempeño países como Alemania, Luxemburgo, Italia, Suiza, Eslovaquia, Rumania y Bélgica.

Por su parte, Blázquez & García-Ochoa (2009) realizan un análisis de conglomerados para la capacidad de innovación de 22 países iberoamericanos, sintetizando 18 indicadores en dos grandes componentes: la política de generación de tecnología e innovación y la preparación tecnológica de la sociedad. Con base en sus resultados las autoras identifican cuatro clústeres: el clúster mejor posicionado estuvo integrado solo por España, lo cual indica una severa brecha entre dicho país y el resto de los integrantes del estudio. El clúster más rezagado concentró a Venezuela, Bolivia, Ecuador, Nicaragua, Paraguay, Surinam y Argentina.

Posteriormente, Aguado & Martínez (2014) utilizaron el DEA para medir la eficiencia en I+D de las regiones de la Unión Europea utilizando como insumos el gasto privado en I+D, el gasto público en I+D y el gasto en I+D realizado por instituciones de educación superior y, como productos del sistema, las patentes y el empleo especializado. Los autores generan a partir de sus resultados siete grandes conglomerados los cuales obedecen al desempeño regional en cada producto. Derivado de su estudio, los autores concluyen que las regiones de menor eficiencia se ubicaron al sur y este de Europa principalmente en naciones periféricas; la eficiencia cercana a la media se localizó en principalmente en Francia, Reino Unido y España y la mayor eficiencia se ubicó en regiones de Alemania, Austria y Dinamarca.

Otro ejemplo de este tipo puede encontrarse en el trabajo de Dzemydaite *et al.* (2016) quienes realizan un estudio similar para las regiones de Europa Central y Europa del Este en el cual evalúan, como insumos del sistema al gasto en I+D, los recursos humanos empleados en actividades relacionadas con la ciencia y la tecnología y a los recursos humanos empleados en sectores altamente tecnológicos. Como productos del sistema utilizan el número de patentes. Con los resultados obtenidos, los autores generan cuatro conglomerados de acuerdo con las evaluaciones de eficiencia obtenidos por las regiones en cada una de las variables, encontrando las regiones más favorables en República Checa, Hungría y Eslovaquia.

Como puede apreciarse, la combinación de mediciones DEA con análisis de conglomerados es una herramienta consistente para llevar a cabo estudio sobre innovación en el ámbito regional. A continuación, se detallan las metodologías utilizadas en para este estudio en particular.

Materiales y Métodos

La metodología propuesta para este trabajo consta de dos modelados diferentes:

Primero se propone el Análisis de la Envolvente de Datos (DEA) Network Dinámico a fin de calcular la eficiencia total y por etapas de los países sujetos de estudio y posteriormente la realización de un Análisis de Conglomerados Jerárquicos con el objetivo de obtener los clústeres en los que se dividen los países acorde con las variables analizadas y las etapas de generación de innovación planteadas.

El Análisis de la Envolvente de Datos (DEA) Network Dinámico

El DEA es una herramienta o técnica que sirve para medir la eficiencia relativa de cada una de las Unidades de Decisión o DMUs, que en este caso son los países sujetos de análisis, dicha eficiencia parte de los insumos utilizados o *inputs* y los productos generados u *outputs*.

Entre las muchas ventajas del modelo DEA Network Dinámico aplicado para este análisis a realizar destaca la ventaja de conocer no solo el grado de eficiencia o ineficiencia comparada entre los países de la OCDE respecto a la innovación sino adicionalmente se puede obtener un análisis detallado por etapa (al ser una análisis Network) respecto a los niveles de eficiencia desagregada a fin de poder observar en qué etapa del proceso se es más eficiente o ineficiente y hacer cambio correctivo; así como realizar el estudio con un retraso en el tiempo (al ser un análisis dinámico) puesto que, los resultados de la innovación que hoy se crea no se perciben inmediatamente, por lo que el estudio podrá a partir de estos elementos ser más completo y con más apego a la realidad, lo cual permitirá a realizar mejores estrategias entonos a la generación de innovación en los países analizados.

El modelo DEA Network de dos etapas considera el proceso de transformación y los productos intermedios z_{pj} , donde los *outputs* de la primera etapa o nodo son también *inputs* 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 & Liu, 2012). De tal forma que, este tipo de análisis permite conocer la estructura interna del modelo. Basándose en esto se presenta la siguiente estructura:

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

$$u_r, n_p, v_i \geq \varepsilon > 0 \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; p = 1, \dots, q$$

Donde acorde con la connotación mostrada para cualquier DMU_j ($j = 1 \dots n$) del modelo, se usan m *inputs* x_{ij} ($i = 1 \dots m$) para generar productos intermedios z_{pj} ($p = 1 \dots q$) en la etapa 1, los cuales son consumidos en la etapa 2 para finalmente generar *outputs* y_{rj} ($r = 1 \dots s$). Utilizando el método propuesto por Sakawa & Yumine (1983) se busca encontrar multiplicadores comunes (u_r^* , n_p^* , v_i^*) a fin de calcular el resultado de eficiencia para cada DMU.

Debido a que los *outputs* del primer nodo z_{pj} , son también los *inputs* 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 & Liu, 2012). Luego entonces, las eficiencias por nodo del modelo se presentan a continuación:

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

$$\sum_{p=1}^q n_p z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pj} \leq 1, j = 1, \dots, n$$

$$u_r n_p v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; p = 1, \dots, q$$

$$\begin{aligned} \theta_k^2 &= \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pk} \\ \text{s. t. } &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} = \theta_k \\ &\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (4)$$

$$\sum_{p=1}^q n_p z_{pj} / \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 1, j = 1, \dots, n$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} / \sum_{p=1}^q n_p z_{pj} \leq 1, j = 1, \dots, n$$

$$u_r n_p v_i \geq 0 \quad r = 1, \dots, s; i = 1, \dots, m; p = 1, \dots, q$$

En el modelo a utilizar se utiliza en el concepto de *carry-overs* que es una variable que es un *output* en el periodo t y se convierte en un *input* 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 estos 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:

$$z_{okifix}^{(t,1+1)} = \sum_{j=1}^n z_{jkifix}^{(t,1+1)} \lambda_{jk}^t$$

$$(k_1 = 1, \dots, nfix_k; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T)$$

El modelo DEA *Network* dinámico 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 siguiente figura 1 (Tone & Tsutsui, 2014).

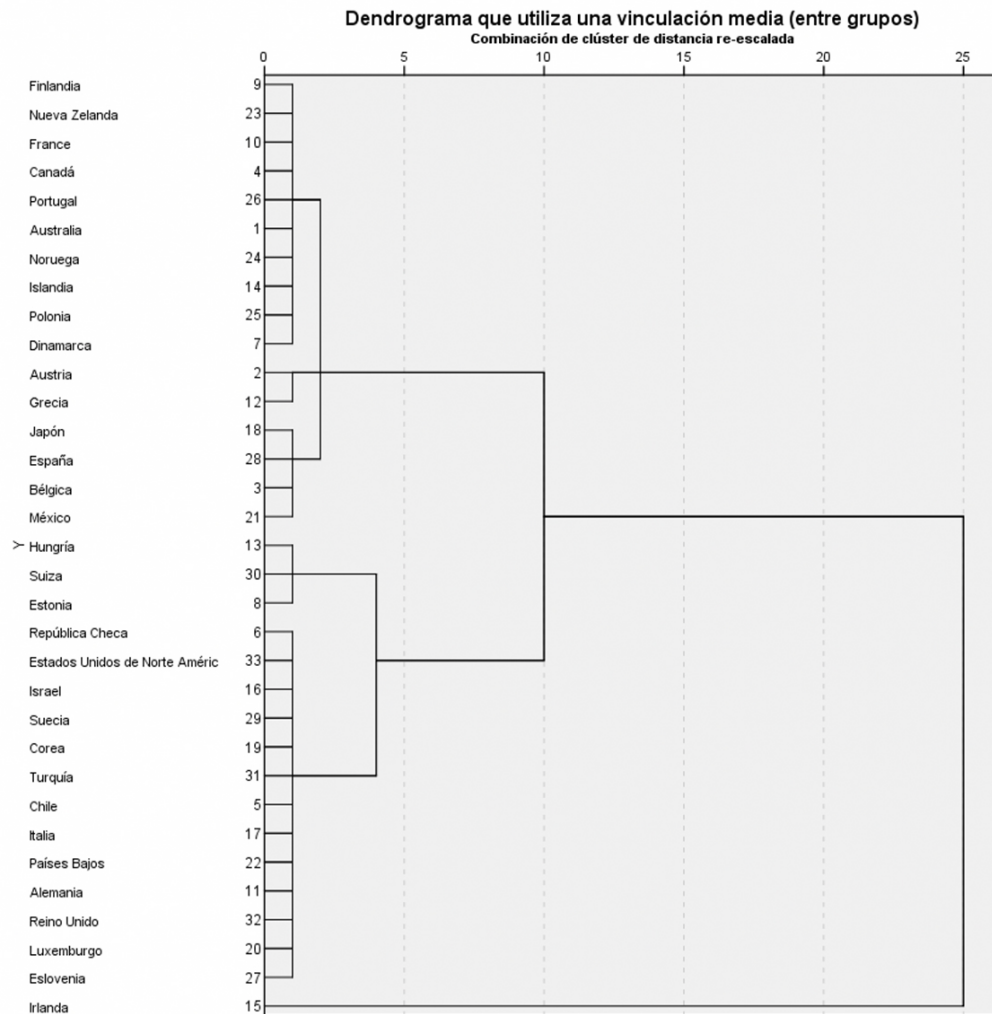


Figura 1. Dendrograma
Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir del análisis de clústeres.

El modelo a realizarse parte de 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 al *output*, 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 cuentan cada uno de los países para estos factores.

Análisis de Conglomerados Jerárquicos

Los procedimientos exploratorios son a menudo útiles para entender la naturaleza compleja de las relaciones multivariantes. Realizar la búsqueda de datos para encontrar una estructura de agrupamientos "naturales" es una importante técnica exploratoria que permite identificar con facilidad valores atípicos y generar hipótesis interesantes acerca de la relación que existe entre las variables (Johnson & Wichern, 2007).

Un clúster se define como un grupo de observaciones o casos relativamente homogéneos. La agrupación o agrupaciones se definen a través de un análisis de los datos. Posteriormente los grupos pueden ser utilizados para llevar a cabo análisis multivariantes. A diferencia de otros análisis como el discriminante, el análisis de clústeres crea nuevas agrupaciones sin ninguna noción preconcebida de los grupos que pueden surgir. Así, cada grupo se describe a sí mismo en base a los datos recopilados. Por lo tanto, en algunos casos los elementos de cada grupo son similares en algunos aspectos y muy diferentes a otros grupos (Burns & Burns, 2008).

Entre los diferentes métodos de análisis de clústeres se seleccionó el Análisis de Conglomerados Jerárquicos de tipo aglomerativo debido a que dicha herramienta parte del objetivo de agrupar clústeres para generar procesos de aglomeración, minimizando una distancia o maximizando una medida de similitud; que a diferencia de los métodos de reasignación solo se efectúa una inspección para agrupar, por lo que los resultados son modificables en pasos sucesivos, mientras que, el clúster jerárquico, funde un conglomerado que se afianza y permanece ahí hasta el final del proceso. Lo que permite una mayor veracidad respecto de los clústeres obtenidos.

Los métodos jerárquicos aglomerativos, también se conocen como ascendentes, comienzan el análisis con tantos grupos como individuos haya. A partir de estas unidades iniciales se van formando grupos, de forma ascendente, hasta que al final del proceso todos los casos tratados están englobados en un mismo conglomerado.

En el caso de la presente investigación se parte de n individuos de la muestra en este caso son 33 países, en el nivel $K=0$, se tienen n grupos. En el siguiente nivel se agruparán aquellos casos que tengan mayor similitud (o menor distancia) respecto a las variables dadas, resultando así $n-1$ grupos; en el nivel posterior, aquellos dos individuos (o clústeres ya formados) con menor distancia o mayor similitud; de esta forma, en el nivel L tendremos $n - L$ grupos formados. Si se continúa agrupando de esta forma, se llega al nivel $L = n - 1$ en el que sólo hay un grupo, formado por todos los individuos de la muestra.

Los métodos jerárquicos permiten la construcción de un árbol de clasificación, que recibe el nombre de Dendograma, en el cual se puede seguir de forma gráfica el procedimiento de unión seguido, mostrando que grupos se van uniendo, en qué nivel concreto lo hacen, así como el valor de la medida de asociación entre los grupos cuando estos se agrupan.

Como ya se mencionó existen diferentes métodos jerárquicos aglomerativos, cabe señalar que la selección del método a usar depende gran medida del problema planteado, por lo cual es conveniente realizar algunos procedimientos de contraste de los resultados para verificar los resultados obtenidos. En este caso se comprueba la selección del método de distancia mínima o similitud máxima mediante un análisis de medias cuadráticas por medio de la prueba de Análisis de la Varianza (Anova)² y confirmando el número de clústeres a través de la prueba F de Fisher y el nivel de significancia.

El método de distancia mínima o similitud máxima que como su nombre lo indica se basa en la similitud a través de la mínima distancia entre sus componentes. Así, si tras efectuar la etapa K -ésima, tenemos ya formados $n - K$ clústeres, la distancia entre los clústeres C_i (con n_i elementos) y C_j (con n_j elementos) representando las variables a analizar con una x ($l \dots m$), siendo el modelo como se muestra a continuación:

$$d(C_i, C_j) = \min_{\substack{x_l \in C_i \\ x_m \in C_j}} \{d(x_l, x_m)\} \quad l = 1, \dots, n_i; \quad m = 1, \dots, n_j \quad (5)$$

Mientras que la similitud, entre los dos clústeres sería:

$$s(C_i, C_j) = \max_{\substack{x_l \in C_i \\ x_m \in C_j}} \{s(x_l, x_m)\} \quad l = 1, \dots, n_i; \quad m = 1, \dots, n_j \quad (6)$$

Por lo que, en el siguiente nivel, el paso siguiente en el nivel $K + 1$ en el caso de emplear distancias:

$$d(C_i, C_j) = \min_{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-k \\ i_j \neq j_1}} \{d(C_{i_1}, C_{j_1})\} =$$

$$\min_{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-k \\ i_j \neq j_1}} \left\{ \min_{\substack{x_l \in C_i \\ x_m \in C_j}} \{d(x_l, x_m)\} \right\} \quad l = 1, \dots, n_{i_1}; \quad m = 1, \dots, n_{j_1}$$

Mientras que, en el caso de emplear similitudes, se unirán los clústeres C_i y C_j si:

$$s(C_i, C_j) = \min_{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-k \\ i_j \neq j_1}} \{s(C_{i_1}, C_{j_1})\} =$$

$$\max_{\substack{i_1, j_1 = 1, \dots, n-k \\ i_j \neq j_1}} \left\{ \max_{\substack{x_l \in C_i \\ x_m \in C_j}} \{s(x_l, x_m)\} \right\} \quad l = 1, \dots, n_{i_1}; \quad m = 1, \dots, n_{j_1}$$

Selección de Variables

La selección de variables parte del modelo de cinco pilares del Sistema Nacional de Innovación y los dos productos que se generan a partir de los mismos. Dicho modelo lo realiza el Índice Global de Innovación (IGI) y es publicado anualmente por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), la Universidad de Cornell y el Instituto Europeo para la Administración de Negocios (Insead)³.

² El análisis de varianza (Anova) permite comparar varios grupos en una variable cuantitativa, dicha prueba contrasta la igualdad de medias para dos muestras independientes.

³ INSEAD *The Business School for the World* es una escuela de negocios y un centro de investigación.

Pese a que existen otros índices que retoman el enfoque de insumos y productos, como se mencionó en la introducción, el IGI presenta ventajas para la modelación estadística tales como una periodicidad frecuente en su publicación, la disponibilidad de datos recientes y la valoración de una amplia gama de indicadores de la materia.

La orientación del IGI es mayormente microeconomicista ya que brinda una especial importancia a los factores del entorno como dinamizadores de la innovación y dentro de ellos brinda un importante poder explicativo a la formación de alianzas entre universidades, empresas y gobiernos, así como a la organización de la iniciativa privada en clústeres y a la sofisticación de los mercados la cual fomenta la competencia por la preferencia de los consumidores que demandan productos de mayor contenido tecnológico.

Se seleccionaron estos indicadores debido a que el índice parte de 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 óptimo para mediciones de eficiencia.

De tal forma que, como se observa en la tabla 1 la primera etapa se compone de las variables: entorno institucional, capital humano y de investigación e infraestructura como inputs. En la segunda etapa las variables utilizadas como outputs son conocimiento y tecnología; creación de conocimiento; impacto del conocimiento y difusión del conocimiento. Las variables intermedias o *carry-overs* (que fungirán como outputs en la primera etapa y como *inputs* en la segunda etapa) son sofisticación del consumidor doméstico y sofisticación del mercado empresarial. Cabe 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.

Tabla 1. Variables del modelo propuesto a partir del Índice Global de Innovación.

Inputs			Outputs		← Primer etapa	
Segunda Etapa			Inputs		Outputs	
Insumos del Proceso de Innovación			Carry-overs		Productos del Proceso de Innovación	
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 e Insead (2016)

A continuación, se detallan los sub-pilares contenidos en la tabla 1, los cuales detallan la variedad de aspectos que toma en cuenta cada pilar y la forma en la que abarca de manera amplia a los determinantes microeconomicistas de la innovación:

1. Entorno político: refleja la percepción sobre la estabilidad de un gobierno y su capacidad para ofrecer servicios públicos de calidad, formular políticas e implementarlas.
2. Ambiente regulatorio: se refiere a la percepción de la capacidad del gobierno para fomentar el desarrollo de la iniciativa privada.
3. Ambiente de negocios: se refiere a las facilidades locales para comenzar un nuevo negocio, para resolver situaciones de insolvencia y para cumplir con las obligaciones fiscales.
4. Educación básica: mide el gasto en educación básica, su cobertura y su calidad en el país.
5. Educación terciaria: se refiere a la cobertura, movilidad y prioridad que recibe la educación post-básica en el país.
6. Investigación y desarrollo: mide la calidad de las actividades de investigación y desarrollo y el gasto en ciencia y tecnología.
7. Tecnologías de la información y comunicación: mide el uso de tecnologías de la información por parte de la población y del gobierno.
8. Infraestructura general: mide la formación bruta de capital y la disponibilidad de energía eléctrica en el país.
9. Sustentabilidad ecológica: mide la prioridad que recibe la sustentabilidad en el país, a través de indicadores del uso de los energéticos y del número de certificaciones ISO 14000 obtenidas.

10. Crédito: mide la cobertura, alcance y facilidad para la obtención de créditos en el país.
11. Inversión: mide el nivel de protección a las inversiones y evalúa el nivel de las inversiones en función al tamaño del mercado.
12. Comercio, competencia y escala del mercado: mide estas características a través de la apertura comercial, los aranceles y el tamaño del mercado doméstico.
13. Trabajadores especializados: mide la cantidad de empleo que se concentra en los sectores intensivos en conocimiento.
14. Vínculos de innovación: representa el grado en el que existen en el país clústeres y alianzas entre empresas y universidades.
15. Absorción del conocimiento: se refiere a los pagos por regalías, la llegada de inversión extranjera directa y las importaciones de bienes tecnológicos, aspectos que dinamizan la llegada de nuevos conocimientos.
16. Creación de conocimiento: se refiere a los productos de las actividades inventivas e innovadoras, como las solicitudes de patentes, los modelos de utilidad y las publicaciones científicas.
17. Impacto del conocimiento: representa el impacto de la actividad innovadora en los niveles micro y macroeconómicos, como la productividad del factor trabajo y la producción en sectores intensivos en tecnología.
18. Difusión del conocimiento: mide las capacidades del país para transferir conocimiento a otros a través de las licencias, la inversión en el extranjero y las exportaciones.
19. Activos intangibles: mide la generación de nuevas marcas y diseños industriales y organizacionales.
20. Bienes y servicios creativos: mide las capacidades del país para influir en los medios de comunicación, la cultura y el entretenimiento en el ámbito internacional.
21. Creatividad en línea: se refiere al uso que en un determinado país se hace de internet como un medio de generación de oportunidades de negocios o la generación de influencia (OMPI, Universidad de Cornell e Insead, 2016).

Resultados

Considerando las variables del modelo propuesto, se obtuvieron tres resultados de eficiencia: los resultados de eficiencia para la primera etapa, los resultados para la segunda etapa y la eficiencia total de todo el sistema en su conjunto. Así mismo se obtuvieron a partir de los resultados de eficiencia total los clústeres de pertenencia para cada una de las economías analizadas.

Es interesante destacar que al dividir la eficiencia por etapas a través del modelo Network se puede identificar que los países que son eficientes en la primera etapa no necesariamente lo son en la segunda etapa del modelo. Tal es el caso de Irlanda, Bélgica, Israel, Chile y Estados Unidos que obtuvieron el valor

de 1 o bien eficientes en la primera etapa más no en la segunda etapa; y en sentido inverso Estonia, Hungría, Suiza, Corea, Suecia y Turquía fueron eficientes en la segunda etapa únicamente. Siendo pues Irlanda el único país que logra acorde con el modelo ser eficiente. Lo cual, con lleva a asumir algunas inferencias a partir de estos resultados, que se pueden observar más claramente en el gráfico de dispersión (figura 1).

En cuanto a los valores obtenidos de la eficiencia total del modelo se observa que ninguna economía resulta eficiente en la utilización de sus recursos para la generación de productos del proceso de innovación. No obstante, hay países que muestran valores cercanos a la eficiencia tal es el caso de Estonia, Hungría, Irlanda y Suiza.

A partir de los valores de la columna de eficiencia total se realiza el análisis de clústeres jerárquicos para determinar el número de conglomerados, agrupaciones o clústeres se forman, que para este caso fueron 4 el número de clústeres obtenidos. Dichos valores permitirán mostrar el grupo de pertenencia de cada país acorde a las variables analizadas en la tabla 2.

Tabla 2. Clústeres y eficiencias por etapas.

Clúster de pertenencia	DMU	Etapas 1	Etapas 2	Eficiencia total	Clúster de pertenencia	DMU	Etapas 1	Etapas 2	Eficiencia total
4	Estonia	0.93	1	0.8	3	Estados Unidos	1	0.82	0.74
4	Hungría	0.97	1	0.83	2	Japón	0.9	0.82	0.62
4	Irlanda	1	1	0.94	2	México	0.9	0.88	0.65
4	Suiza	0.99	1	0.85	2	España	0.8	0.86	0.62
3	Bélgica	1	0.72	0.64	1	Australia	0.9	0.74	0.54
3	Chile	1	0.77	0.71	1	Austria	0.8	0.76	0.52
3	República Checa	0.91	0.95	0.74	1	Canadá	1	0.71	0.59
3	Alemania	0.83	0.96	0.69	1	Dinamarca	0.8	0.81	0.57
3	Israel	1	0.77	0.75	1	Finlandia	0.8	0.86	0.59
3	Italia	0.94	0.89	0.72	1	Francia	0.9	0.78	0.59
3	Corea	0.82	1	0.76	1	Grecia	0.7	0.82	0.51
3	Luxemburgo	0.98	0.8	0.68	1	Islandia	0.8	0.76	0.55
3	Países Bajos	0.95	0.88	0.72	1	Nueva Zelanda	0.9	0.79	0.59
3	Eslovenia	0.84	0.93	0.67	1	Noruega	0.8	0.8	0.53
3	Suecia	0.85	1	0.76	1	Polonia	1	0.68	0.56
3	Turquía	0.9	1	0.77	1	Portugal	0.7	0.93	0.58
3	Reino Unido	0.96	0.85	0.7					

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA Network Dinámico y el análisis de clústeres.

Al contraponer los resultados de eficiencia del nodo o etapa 1 con los resultados de eficiencia del nodo o etapa 2, se pueden dividir los países en cuatro cuadrantes, donde acorde a los ejes X y Y se proyectan los resultados.

Para la etapa 1 los países más eficientes acorde a las variables analizadas tenderán a posicionarse a la derecha (cuadrante II y IV) es decir aquellos países que tuvieron un buen desempeño a partir de los insumos del proceso de innovación en el proceso de sofisticación de sus mercados, mientras que los menos eficientes tenderán a ubicarse a la izquierda (cuadrantes I y III). Mientras que, los países más eficientes de la etapa 2, en otras palabras, aquellos que a partir de la sofisticación de sus mercados como

inputs obtuvieron productos del proceso de innovación, tenderán a proyectarse en la parte superior de la figura (cuadrantes I y II) y los menos eficientes en la parte inferior de la misma (cuadrantes III y IV).

De tal forma que, un país con óptimos niveles de eficiencia en las dos etapas, o bien en toda la red se ubicarán en el cuadrante II como fue el caso de Irlanda, Hungría, Suiza, Estonia, Turquía, República Checa, Italia, Países Bajos, Reino Unido, Estados Unidos y Luxemburgo. Por otra parte, un país con bajos niveles de eficiencia se posicionara en el cuadrante III como Australia e Islandia.

Esta situación lleva a reflexionar sobre por qué, pese a su buen desempeño en los indicadores de insumos, estos países parecen estar obteniendo resultados por debajo de lo esperado en materia de innovación. Esto podría relacionarse con que, pese a que prácticamente todos estos países mostraron buenos resultados en cuestiones institucionales, muchos de ellos no consiguieron calificaciones favorables en cuestiones relacionadas con la sofisticación de sus mercados (por ejemplo, Portugal y Grecia) o en cuestiones relacionadas con la producción de innovaciones (como Chile, Bélgica y la República Checa, Eslovenia o Portugal) dada la cantidad de *inputs* que utilizan.

Como se observa en la figura México se encuentra ubicado casi en la línea divisoria entre el cuadrante I y II lo cual lo posiciona como más eficiente que Alemania o Noruega en instituciones, capital humano e infraestructura y más eficiente que Canadá y Francia en mercados sofisticados; esto se explica considerando el número de *inputs* utilizados, es decir, acorde al uso de los recursos empleados y los *output* obtenidos México es más eficiente en términos de aprovechamiento de sus variables. Lo cual no implica que México sea más eficiente que Alemania, Noruega, Canadá o Francia en términos absolutos.

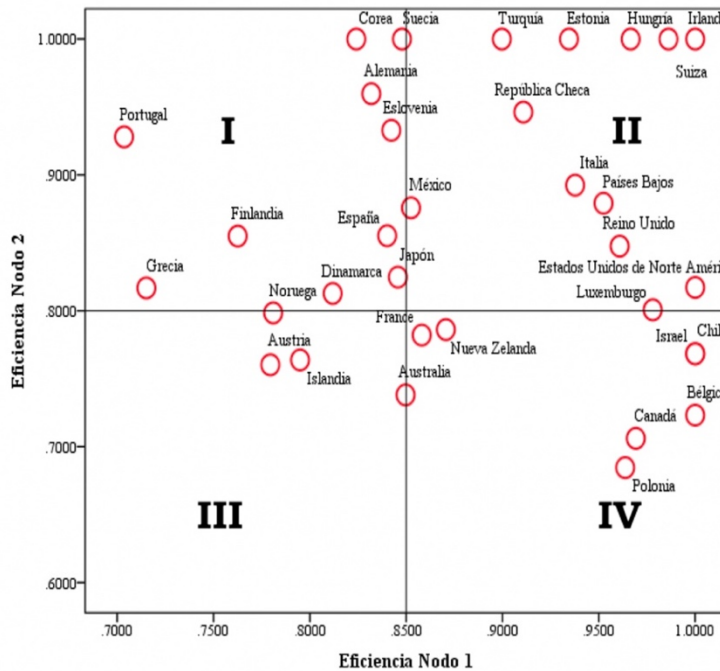


Figura 2. Dispersión de los países acorde a la eficiencia por etapas.

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA Network Dinámico y el análisis de clústeres.

La Comisión Europea a través del Marcador Europeo de Innovación o EIS (por sus siglas en inglés) realiza cada año un radar de innovación entre países de la Unión Europea, dividiendo a los países en clústeres, acorde con los resultados obtenidos en cuatro subcategorías: líderes innovadores, innovadores fuertes, innovadores moderados e innovadores modestos (*European Comission, 2017*). Este mismo

enfoque es retomado por Hollanders & Celikel (2007) para organizar los datos de eficiencia de un conjunto de países europeos, clasificación que se retoma en el presente trabajo por su relativa facilidad y utilidad para la esquematización y análisis de los resultados. Se presentan en la tabla 3 los países acordes con los resultados del modelo presentado en dichas categorías.

Líderes innovadores. Países donde la innovación es su competitividad estratégica, realizando investigación y desarrollo de forma continua, generando productos novedosos o procesos innovadores; con un uso eficiente de los recursos empleados dados los productos generados. En este grupo se encuentran Estonia, Hungría, Suiza e Irlanda. Resulta interesante observar que entre Irlanda y el resto de los países que pertenecen al mismo grupo de líderes innovadores existe una ventaja comparativa en términos de sus resultados de eficiencia. Se observa también que todos los líderes innovadores excepto Suiza están por encima del promedio en términos de la capacidad de transformar *inputs* en aplicaciones productivas.

Innovadores fuertes. La innovación no es la estrategia principal de su competitividad, sin embargo, se realiza innovación al interior del país para la mejora de las necesidades de la sociedad y de las firmas, también se caracterizan por su capacidad de adaptación de nuevas tecnologías. Este grupo es el más extenso de los cuatro, acorde al análisis presentado, además de ser también bastante diverso, en el sentido de que engloba países con una gran capacidad de producción de innovaciones como son Corea, Alemania, Suecia y Turquía con países con una capacidad media, en ese sentido, pero alta en la generación de sofisticación de mercados tales como, Chile, Estado Unidos e Israel.

Innovadores moderados. También se conoce este grupo como modificadores tecnológicos puesto que, estos países se caracterizan por su asertividad para modificar productos o servicios ya existentes mejorando los mismos, enfocados muchas de las veces en ingeniería de procesos. Este clúster es el más pequeño y se compone solamente de tres países Japón, México y España. Dichos países muestran valores medios en todo sentido, como también se observa en la figura 1. Siendo México el que mejores resultados obtuvo en su clúster tanto en sofisticación de mercado como en productos de innovación dados los insumos que emplea.

Innovadores modestos. Los países de este grupo se caracterizan por innovar al adoptar desarrollos innovadores ya existentes. Este clúster es un tanto heterogéneo, pero se caracteriza por mostrar valores de medios abajo respecto a un nodo u otro o incluso ambos.

Tabla 3. Clústeres acordes al grado de innovación.

Líderes innovadores	Innovadores fuertes	Innovadores moderados	Innovadores modestos
Estonia	Chile	Japón	Australia
Hungría	República Checa	México	Austria
Suiza	Alemania	España	Canadá
Irlanda	Israel		Dinamarca
	Italia		Finlandia
	Corea		Francia
	Luxemburgo		Grecia
	Países Bajos		Islandia
	Eslovenia		Nueva Zelanda
	Suecia		Noruega
	Turquía		Polonia
	Reino Unido		Portugal
	Bélgica		
	Estados Unidos de Norte América		

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA Network Dinámico y el análisis de clústeres.

En cuanto a los resultados que se obtienen o bien outputs generados por clústeres es interesante observar (figura 3) que los innovadores modestos y los innovadores moderados tiene en promedio resultados similares excepto para la variable creación del conocimiento y difusión del conocimiento. El valor más alto se obtiene en difusión del conocimiento con 23.3% de diferencia, seguido de impacto del conocimiento con un diferencial ente los dos clústeres de 9.8. Es importante hacer notar que en la variable creación de conocimiento los innovadores fuertes muestran un valor más alto que incluso los líderes innovadores con un diferencial de 8.4 lo que podría indicar que os innovadores fuerte están mostrando un empuje incluso mayor que los líderes innovadores en pro de la generación de conocimiento, aunque en la variable conocimiento y tecnología el clúster de líderes innovadores tiene un valor más alto con un diferencial de 8.2%.

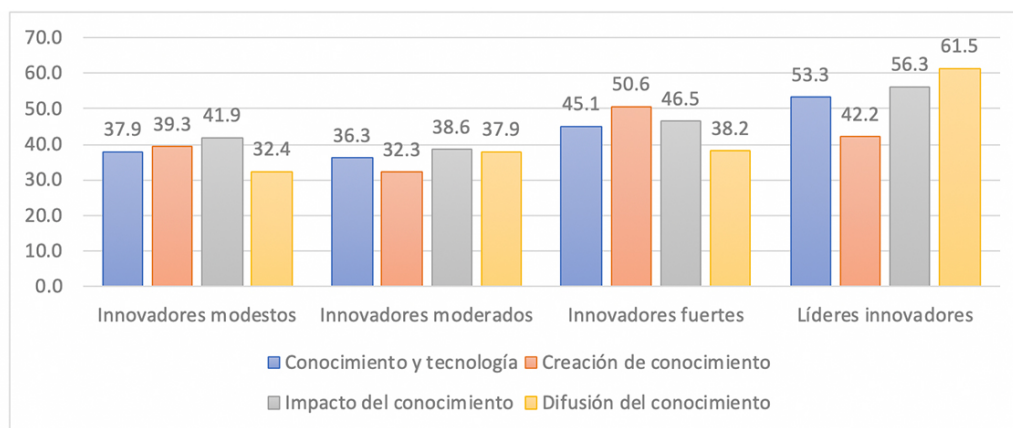


Figura 3. Proyecciones de eficiencia ponderadas por clúster.

Fuente: Elaboración propia con base en los cálculos realizados a partir de la metodología DEA Network Dinámico y el análisis de clústeres.

Conclusiones y Discusión

La metodología DEA Network busca no solo obtener los resultados de eficiencia sino adicionalmente conocer el proceso e infraestructura interna de lo que frecuentemente se conoce como "caja negra". Al descomponer el análisis en dos etapas se puede observar claramente como son las variables intermedias las que empujan los valores de eficiencia hacia arriba, ya que el promedio de los valores de la segunda etapa es superior a los otros resultados.

A partir de los resultados obtenidos para la primera etapa del modelo los países que resultaron eficientes acorde a las variables dadas fueron Irlanda, Bélgica, Israel, Chile y Estados Unidos; es decir, estos países mostraron una alta sofisticación del mercado doméstico y del mercado empresarial dados los insumos utilizados. Cabe recordar que hay mercados dentro del estudio con un mayor grado de sofisticación, pero a un costo de insumos más alto por lo cual no resultaron eficientes en el modelo.

En la segunda etapa los países con valores de eficiencia fueron Estonia, Hungría, Suiza, Corea, Suecia y Turquía. El único país que obtuvo una eficiencia fuerte simultáneamente en ambos nodos fue Irlanda; esto muestra que son estos países los que generan más productos del proceso de innovación, por lo que generan productos científicos y tecnológicos, así como productos creativos con un uso eficiente de sus insumos. Respecto a la relación de un nodo respecto de otro es importante hacer notar la importancia de ambos productos del proceso de innovación (sofisticación y productos).

Los resultados arrojan cuatro clústeres en total, dividiendo a los países acorde con el Marcador Europeo de Innovación en líderes innovadores, innovadores fuertes, innovadores moderados e innovadores modestos, cada uno de dichos grupos con diferentes características en torno a su grado y manera de innovar.

Los líderes innovadores (Irlanda, Suiza, Estonia y Hungría) fueron seguidos en eficiencia por un grupo de 14 países que ocuparon el clúster de los innovadores fuertes, siendo este el clúster más concurrido. Dentro de él se encontraron países desarrollados como Estados Unidos, Reino Unido y Alemania compartiendo con países con economías considerablemente más pequeñas tales como Turquía, Bélgica o Chile. Este clúster contiene a países con un desempeño relativamente favorable en ambos nodos, salvo por los casos de Israel, Chile y Bélgica que ingresaron a este clúster principalmente por su alta eficiencia en el nodo 1.

Destaca que México logró ubicarse dentro del clúster 3, el de los innovadores moderados, ubicándose como un país que toma o consume innovaciones del extranjero, modificándolas acorde a sus propias necesidades, lo cual se relaciona con la forma de trabajar de muchas industrias en el sector maquila. Estos resultados reflejan las carencias que el país experimenta en materia de infraestructura, fortaleza institucional y formación de capital humano, las cuales merman las capacidades nacionales para el desarrollo del mercado interno y la atracción y generación de actividades económicas más sofisticadas.

El nodo de los innovadores modestos estuvo compuesto por 12 países. Estas naciones mostraron una eficiencia relativamente baja en alguno de los dos nodos, salvo por los casos de Austria e Islandia, países que obtuvieron evaluaciones bajas en ambos nodos. Esto podría deberse a que, pese a sus condiciones favorables en los insumos y los carry overs, estas naciones no están reflejando dichas ventajas en sus productos de innovación.

Los productos generados en promedio por clúster denotan que el producto más sobresaliente del clúster de líderes innovadores es la difusión del conocimiento, seguido del impacto del conocimiento lo que se puede suponer a que su vez esto podría ser un factor contribuyente a la sofisticación de los mercados y el aumento del presupuesto para los insumos generando así un espiral de innovación.

Si bien el abordaje cuantitativo del tema muestra ciertas limitaciones (tales como la poca disponibilidad de bases de datos para periodos de tiempo más amplios y la relativa subjetividad con la que se calculan algunos de los indicadores utilizados), este tipo de trabajos resultan útiles para identificar aquellos grandes rubros en los que puede actuarse en materia de política pública en cada país.

Para el caso de México es importante intensificar la innovación disruptiva, es decir, aquella que no solo mejora lo ya existente, sino que propone y genera nuevos productos y servicios para el mercado mundial. Para ello resulta crucial el involucramiento de la iniciativa privada, el incremento de los incentivos fiscales a las empresas innovadoras, el apoyo a la generación de empresas tecnológicas, y la gestión de apoyos provenientes de organismos internacionales con el acompañamiento de las instituciones nacionales.

Futuras líneas de investigación podrían abordar esta temática desde una perspectiva más cercana a las condiciones nacionales, evaluando el desempeño del país en cada pilar y valorando los costos y beneficios de las distintas inversiones que se realizan en actividades innovadoras.

Referencias

- Aguado, R., & Martínez, L. J. (2014). R&D productivity in Europe: towards a regional taxonomy in the European Union. *Harvard Deusto Business Research*, 3(1), 2-22. doi: <https://doi.org/10.3926/hdbr.55>
- Archibugi, D., & Coco, A. (2004). A New Indicator of Technological Capabilities for Developed and Developing Countries (ArCo). *World Development*, 32(4), 629-654. doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2003.10.008>
- Blázquez, H. M. L., & García-Ochoa Mayor, M. (2009). Clústeres de innovación tecnológica en Latinoamérica. *GCG: Revista de Globalización. Competitividad y Gobernabilidad*, 3(3), 16-33. doi: <https://doi.org/10.3232/GCG.2009.V3.N3.01>
- Burns, R. A., & Burns, R. B. (2008). *Business Research Methods and Statistics using SPSS*. Great Britain: SAGE Publications.
- Bruton, G., Khavul, S., Siegel, D., & Wright, M. (2014). New financial alternatives in seeding entrepreneurship: microfinance, crowdfunding and peer-to-peer innovations. *Entrepreneurship, theory and practice*, 39(1), 9-26. doi: <https://doi.org/10.1111/etap.12143>
- Cherchye, L., Moesen, W., Rogge, N., Van Puyenbroeck, T., Saisana, M., Saltelli, A., Liska, R., & Tarantola, S. (2008). Creating composite indicators with DEA and robustness analysis: the case of the Technology Achievement Index. *Journal of the Operational Research Society*, 59(2), 239-251. doi: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602445>
- European Commission (2017). *European Innovation Scoreboard*. Commission of the European Communities, Luxembourg, 2006.
- Dzemydaitė, G., Dzemyda, I., & Galinienė, B. (2016). The efficiency of regional innovation systems in new member states of the European Union: a nonparametric DEA approach. *Economics and Business*, 28(1), 83-89. doi: <https://doi.org/10.1515/eb-2016-0012>
- Dosi, G. (1988). Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation. *Journal of Economic Literature*, 26(3), 1120-1171.
- Formichella, M. (2005). *La evolución del concepto de innovación y su relación con el desarrollo*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Heijs, J., & Buesa, M. (2016). *Manual de Economía de la Innovación, tomo I*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid-Instituto de análisis industrial y financiero.
- Hollanders, H., & Celikel, F. (2007) *Measuring innovation efficiency*. Maastricht: Innometrics.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.

- Lee, H. Y., & Park, Y. T. (2005) An international comparison of R&D efficiency: DEA approach. *Asian Journal of Technology Innovation*, 13(2), 207-222. doi: <https://doi.org/10.1080/19761597.2005.9668614>
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982) An evolutionary theory of economic change. Cambridge, USA. Harvard University Press.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), Universidad de Cornell e Instituto Europeo para la Administración de Negocios (Insead) (2016) Índice Global de Innovación. Ginebra: OMPI.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2005). *Manual de Oslo. Guía para recolectar e interpretar datos sobre innovación*. París, Londres: Oficina de Estadística de las Comunidades Europeas (EUROSTAT)- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2016). Science, technology and innovation outlook 2016. París: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). doi: https://doi.org/10.1787/sti_in_outlook-2016-en
- Porter, M. E., & Stern, S. (2001) *National innovative capacity. global competitiveness report 2001-2002*. Nueva York, USA: Oxford University Press.
- Restrepo, R. M. I., & Villegas, R. J. G. (2007). Clasificación de grupos de investigación colombianos aplicando análisis envolvente de datos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad Antioquía*, 42, 105-119.
- Romer, P. M. (1990) Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102. doi: <https://doi.org/10.3386/w3210>
- Schumpeter, J. A. (1939) *Business cycles: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*. Nueva York, USA: Mc Graw Hill.
- Stern, S., Porter, M. E., & Furman, J. L. (2000) *The determinants of national innovative capacity*. Cambridge, Massachusetts, USA: National Bureau of Economic Research (NBER).
- Sakawa, M., & Yumine, T. (1983). Interactive fuzzy decision-making for multiobjective linear fractional programming problems. *Large Scale Systems*, 5, 105-114. doi: [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80029-X](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80029-X)
- Tone, K., & Tsutsui, M. (2014). Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach. *Omega*, 4(1) 42, 124-131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.04.002>
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2001). *Human development report 2001, making new technologies work for human development*. Nueva York: PNUD-Oxford University Press.
- U.S. Chamber of Commerce's Global Innovation Policy Center (2018) *U.S. Chamber International IP Index*. Washington, D.C. USA: Global Innovation Policy Center (GIPC).
- Yang, C., & Liu, H. M. (2012). Managerial efficiency in Taiwan bank branches: A network DEA. *Economic Modelling*, 29(2), 450-461. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2011.12.004>