



Universidad de Jaén

Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DEL ÍNDICE GLOBAL DE INNOVACIÓN: UN ESTUDIO BASADO EN EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA).

Alumna: Barbara Mariela López Aguilar

Tutor: Francisco Alcalá Olid
Departamento: Economía

Diciembre, 2020

RESUMEN

En un mundo donde se reconoce cada vez más la importancia de la innovación y, continuamente se generan nuevos productos y servicios para el mercado mundial, por lo que existe una elevada concentración de innovaciones, es todo un reto la gestión de la misma. Medir la eficiencia de las políticas de innovación y establecer indicadores para ello, puede constituir una etapa complicada en el proceso, debido al carácter tan variado del término y la dependencia que tiene del contexto social, político y económico concreto donde se lleve a cabo. En este trabajo se pretende contribuir a los métodos creados dentro de la economía de la innovación, con una propuesta que engloba la aplicación de herramientas matemáticas y estadísticas en este ámbito. Se propone una metodología que permita medir la eficiencia en cualquier proceso de servicio a través de la herramienta estadística no paramétrica DEA, para lo que se establecen una serie de pasos y un conjunto de indicaciones para la interpretación de los resultados. Como aplicación práctica se realiza la medición de la eficiencia del Índice Global de Innovación para los países de la Unión Europea en los últimos tres años disponibles. El análisis de los datos se realizó con el complemento de Excel DEA Solver en una primera parte y, posteriormente, se empleó el software de libre acceso DEAP, por limitaciones del primero en el cálculo de los índices de Malmquist.

Palabras claves: innovación, indicadores, eficiencia, medición, DEA.

ABSTRACT

In a world where the importance of innovation is increasingly recognized and new products and services are continually being generated for world market, so there is a high concentration of innovations, managing it is a challenge. Measuring efficiency of innovation policies and establishing indicators for this can be a complicated stage in the process, due to the different nature of concept and its dependence on the specific social, political and economic context where it is carried out. This work aims to contribute to methods created within the innovation economy, with a proposal that encompasses the application of mathematical and statistical tools in this area. A methodology is proposed that allows to measure the efficiency in any service process through the non-parametric statistical tool DEA, for which a series of steps and a set of indications for the interpretation of results were achieved. As a practical application, the efficiency measurement of the Global Innovation Index is carried out for the countries of European Union in the last three years available. The data analysis was carried out with the Excel DEA Solver add-in in the first part and, later, the free access software DEAP was used, due to limitations of the first in the calculation of Malmquist index.

Key words: innovation, indicators, efficiency, measuring, DEA.



ÍNDICE

Introducción.....	4
Capítulo 1: Contexto global y justificación de la investigación.....	6
1.1. Medición de la innovación (un estudio de lo global a lo local).....	10
1.2. La eficiencia en las actividades innovadoras.	17
Capítulo 2: El análisis envolvente de datos (DEA) como herramienta para medir la eficiencia.	20
2.1. Formulación matemática del problema.....	21
2.2. Modelos DEA “orientado a inputs”.	21
2.3. Modelos DEA “orientados a outputs”.....	24
2.4. Modelo aditivo (ADD).	26
2.5. Modelo DEA y los cambios en el tiempo.....	28
2.6. Correspondencia de la metodología DEA con el objetivo propuesto.....	32
Capítulo 3: Utilización del DEA en la medición de la eficiencia del Índice Global de Innovación.	33
3.1. Variables consideradas para el estudio.	34
3.2. Eficiencia técnica y de escala.	39
3.3. Cambios en la eficiencia en el tiempo, cálculo de los índices de Malmquist.	43
Conclusiones.....	46
Bibliografía	48

INTRODUCCIÓN

En un mundo donde se reconoce cada vez más la importancia de la innovación y, continuamente se generan nuevos productos y servicios para el mercado mundial, por lo que existe una elevada concentración de innovaciones, es todo un reto la gestión de la misma. En tal sentido, en la sociedad existe la convicción de la necesidad del apoyo público a la ciencia y la tecnología, jugando un papel fundamental, los gobiernos y las políticas públicas implementadas por estos.

Medir la eficiencia de las políticas de innovación y establecer indicadores para ello, puede constituir una etapa complicada en el proceso, debido al carácter tan variado del término innovación y la dependencia que tiene del contexto social, político y económico concreto donde se lleve a cabo. Sin embargo, la medición de la innovación es algo que se realiza y se presenta en manuales, como el de Oslo o Frascati, o cuestionarios a nivel internacional a través de metodologías e indicadores. Sin embargo, sería interesante plantearse cómo se ha definido la innovación que es precisa medir en cada momento, o cuáles son las metodologías que se han implementado y la validez universal de estas.

La medición de la eficiencia ha sido utilizada tanto para los procesos relacionados con bienes tangibles como con los servicios y, uno de estos ejemplos son los estudios realizados en el ámbito de los procesos de innovación que se describen posteriormente. En este trabajo se pretende contribuir a los métodos creados dentro de la economía de la innovación, con una propuesta que engloba la aplicación de herramientas matemáticas y estadísticas en este ámbito.

El **objetivo general** que persigue este trabajo es diseñar una metodología para el uso de la herramienta estadística no paramétrica denominada Análisis Envolvente de Datos (DEA), en la medición de la eficiencia en procesos de servicios. Concretamente y, como **objetivo específico** de la misma, medir la eficiencia del Índice Global de Innovación para los países de la Unión Europea en los últimos tres años disponibles.

El trabajo se compone de tres capítulos, cada uno de los cuales están formados por epígrafes y subepígrafes según lo requiera. En el primer capítulo se presenta la revisión de la literatura realizada, que ha permitido establecer el contexto global sobre el que se sustenta la investigación y la justificación de esta. En el segundo se describe la herramienta estadística empleada, explicando toda la formulación matemática de los problemas que la integran y la pertinencia de su uso para medir la eficiencia. Por último, en el capítulo tres se presenta la metodología propuesta y los resultados obtenidos de la aplicación de la misma a un caso concreto relacionado con la medición de la eficiencia del Índice Global de Innovación.

Para la obtención de los datos se empleó la base de datos del Índice Global de Innovación que publica la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, la Universidad de Cornell y la escuela de negocios francesa INSEAD. Dentro de los países que evalúan este índice, se seleccionaron para integrar la muestra los 27 países que forman parte de la Unión Europea. El estudio se basa en la utilización de 20 indicadores (divididos en 5 *inputs* y 2 *outputs* del proceso) y, se tomaron los últimos tres años para los que hay datos más actuales disponibles, o sea, 2017,

2018 y 2019. El análisis de los datos se realizó con el complemento de Excel DEA Solver en una primera parte y, posteriormente, se empleó el software de libre acceso DEAP, por limitaciones del primero en el cálculo de los índices de Malmquist.

La selección de los países pertenecientes a la Unión Europea se basa en la disponibilidad de los datos necesarios para la aplicación del instrumento de medición de la eficiencia propuesto y las características político-económicas comunes que comparten y que pueden influir en su desempeño en materia de innovación.

Como aportación principal del trabajo se persigue proponer una metodología que permita medir la eficiencia en cualquier proceso de servicio a través del DEA, para lo que se establecen una serie de pasos que se describen posteriormente, así como indicaciones para la interpretación de los resultados.

CAPÍTULO I: CONTEXTO GLOBAL Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

La innovación es un elemento esencial para el crecimiento económico y el bienestar social de un país o de una región, pues de ella se derivan los impulsos que propician la aparición y difusión de las nuevas actividades de producción, así como los nuevos procesos que posibilitan las combinaciones de factores productivos de manera más eficiente Schumpeter (1935), Mansfield (1986), Fagerberg *et al.* (2005) y Aghion *et al.* (2009).

Según la definición plasmada en la cuarta edición del Manual de Oslo¹ de OCDE (2018), *“una innovación es un nuevo o mejorado producto o proceso (o una combinación de ambos) que difiere significativamente de los productos o procesos previos de la unidad institucional² y que ha sido puesto a disposición de potenciales personas usuarias (producto) o implementado en la unidad institucional (proceso)”*. En la nueva edición del manual han sido eliminadas las distinciones formuladas anteriormente entre innovación tecnológica y no tecnológica; ahora hace referencia a que las innovaciones son en producto y/o en proceso, con independencia del carácter tecnológico o no de la innovación.

Se entiende por innovaciones de producto las destinadas a crear un bien o servicio nuevo, o mejorado, que difiere significativamente de los bienes o servicios previos de la empresa y que ha sido introducido en el mercado. Por otro lado, OCDE (2018) define la innovación de proceso como un proceso de negocio nuevo o mejorado para una o más funciones de negocio que difiere significativamente de procesos de negocio anteriores de la empresa y que ha sido implementado en la misma. A su vez, se considera que una innovación puede ser la combinación de varios tipos de innovaciones, conjuntamente de proceso y producto.

Por ello se está en presencia de una empresa innovadora cuando la misma ha realizado alguna actividad para la innovación y como consecuencia ha introducido alguna innovación, se destaca que las actividades de innovación, las cuales se resumen en la figura 1, pueden estar en marcha, en espera, abandonadas o completadas. De todo esto se concluye que el elemento clave en este proceso es el valor y, en tal sentido, la innovación sería como el camino de comprender y poder adoptar el cambio con el propósito de crear valor.

¹ El Manual de Oslo, publicado por la OCDE y Eurostat, es un estándar de referencia para entender la innovación. La 4ª edición proporciona una guía para la recogida e interpretación de datos relativos a la innovación. Sin embargo, no solo proporciona guías para medir el nivel de innovación en las organizaciones, sino que aclara muchos conceptos y definiciones que son la base y se utilizan internacionalmente en torno al concepto de innovación.

² Se refiere a cualquier unidad institucional de cualquier sector, incluido hogares y sus miembros individuales.

Figura 1: Actividades para poder innovar.



Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE (2018).

Una de las actividades más importantes para el proceso de innovación, como se evidencia en la figura 1, son las relacionadas con la investigación y desarrollo experimental (I+D), pero en ocasiones se suelen confundir los objetivos y características de estas.

En OCDE (2015) se define que “la I+D comprende el trabajo creativo y sistemático realizado con el objetivo de aumentar el volumen de conocimiento (incluyendo el conocimiento de la humanidad, la cultura y la sociedad) e idear las nuevas aplicaciones de conocimiento disponible”. A su vez existen un conjunto de características que deben cumplir las actividades de I+D, ya sean destinadas a cumplir objetivos generales o específicos, o sean llevadas a cabo por diferentes ejecutores; las mismas deben ser novedosas, creativas, inciertas, sistemáticas y transferibles y/o reproducibles.

Teniendo en cuenta la definición anterior, se puede plantear que, la característica que define la I+D (OCDE, 2015) es que se lleva a cabo con el objetivo de generar nuevos conocimientos como resultado (*output*), independientemente de su propósito, el cual podría ser la generación de beneficios económicos, abordar retos sociales o, simplemente, la adquisición de conocimientos.

Dicha intencionalidad se emplea para distinguir entre la investigación básica³, la aplicada⁴ y el desarrollo experimental⁵.

Por otra parte y, a efectos de delimitar el alcance y los recursos asignados para las actividades de investigación y desarrollo, OCDE (2015) establece que es importante distinguir entre:

- ✚ I+D interna: Son aquellos trabajos creativos llevados a cabo dentro de la empresa que se emprenden de modo sistemático con el fin de aumentar el volumen de conocimientos tanto para concebir nuevas aplicaciones, como nuevos y mejorados productos (bienes y servicios) y procesos, incluido el desarrollo *software*.
- ✚ I+D externa: Se refiere a la adquisición de I+D, y constituye las actividades descritas anteriormente como I+D interna, pero realizadas por otras organizaciones (incluidas otras empresas de un mismo grupo).

Es importante destacar que no se incluyen entre las actividades de I+D la formación, la recogida de datos de carácter general, los trabajos ordinarios de normalización, los ensayos de rutina, las tareas administrativas y jurídicas sobre patentes y licencias, las actividades rutinarias de desarrollo *software*, etc.

Del mismo modo, resulta interesante identificar y, en caso de que sea posible, medir los diferentes tipos de resultados (*outputs*) procedentes de la I+D. Sin embargo, esta tarea puede resultar difícil, ya que se debe a una serie de factores que afectan tanto al modo en el que el conocimiento se distribuye y se emplea en la economía como a las aportaciones (*inputs*) complementarias necesarias para que se obtengan los resultados.

Cualquier resultado y efecto puede requerir de su tiempo para realizarse y, del mismo modo, puede llevarse a cabo en diferentes lugares y para actores diferentes de los que se encuentran implementando la I+D. Hoy en día, únicamente algunos resultados muy parciales se pueden identificar de forma directa y medir como parte del proceso de recopilación de información sobre las actividades y la financiación de I+D. Este es un tema que se retomará más adelante en la investigación.

³ Como se recoge en OCDE (2015), consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden sobre todo para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de fenómenos y hechos observables, sin intención de otorgarles ninguna aplicación o utilización determinada.

⁴ Consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo o propósito específico práctico.

⁵ Se trata de trabajos sistemáticos basados en los conocimientos adquiridos de la investigación y de la experiencia práctica, y en la producción de nuevos conocimientos, que se orientan a la fabricación de nuevos productos o procesos, o a mejorar productos o procesos que ya existen.

Después de haber analizado los conceptos y alcance relacionados con la innovación y la I+D, ya se podrían identificar y analizar las diferencias entre los mismos, en la figura 2 se presentan a modo de resumen los principales elementos de comparación.

Figura 2: Diferencias entre Innovación e I+D.

	Innovación	I+D
Actores implicados	Empresarial	Diferentes actores (empresa, Universidad, organismos públicos de investigación, entidades privadas sin fin de lucro)
Orientación / finalidad	Con finalidad clara para hacer mejorar a la empresa	No siempre tiene finalidad orientación definida o relacionada con el mercado
Tipo de actividades incluidas	Multitud de actividades	I+D básica, aplicada o desarrollo tecnológico
Fiscalidad	Fiscalidad reducida y específica de España	Fiscalidad muy generosa y generalizada internacionalmente
Establecimiento definiciones y estadísticas	Manual de Oslo (OCDE)	Manual Frascati (OCDE)
Estadísticas disponibles en España	Encuesta sobre innovación en las empresas (INE)	Estadística sobre actividades de I+D (INE)

Fuente: Elaboración propia a partir de Juste (2020).

I.I. MEDICIÓN DE LA INNOVACIÓN (UN ESTUDIO DE LO GLOBAL A LO LOCAL).

Reconocida la importancia de la innovación, en la sociedad existe la convicción de la necesidad del apoyo público a la ciencia y la tecnología y, en este sentido, los gobiernos y las políticas públicas implementadas por estos juegan un papel fundamental.

Según plantea Tamayo (1997), los gobiernos no son más que un grupo de organizaciones que combinan determinados recursos (humanos, financieros, normativos y tecnológicos), y los transforman en productos, ya sean llamados políticas públicas, programas o servicios. Todo ello persigue un único objetivo que es el de atender los problemas de los ciudadanos y satisfacerlos, logrando un impacto social, político y económico. Así mismo, define a las políticas públicas como *“el conjunto de objetivos, decisiones y acciones que lleva a cabo un gobierno para solucionar los problemas que en un momento dado el gobierno y los ciudadanos consideran prioritarios”*, destacando la relevancia que adquiere la participación de la ciudadanía en la consecución de los objetivos.

En general, el estudio y análisis de las políticas públicas ofrece enfoques y definiciones en permanente transformación y que se pueden adecuar a diferentes contextos, pero en particular se centrará la atención en este punto en aquellas relacionadas o enfocadas a los procesos de innovación.

Las políticas de estímulo a la innovación surgieron como elemento estructurante de las políticas de reconversión industrial en el contexto problemático de la crisis de la energía de mediados de los setenta y de la reconversión industrial asociada a ella. Gibbons *et al.* (1998) exponen que las mismas se establecieron, debido a la crisis antes mencionada y al tardío redescubrimiento de la teoría de Schumpeter (1935), en un terreno no definido entre las políticas industriales y las de ciencia y tecnología, teniendo muy en cuenta las políticas de educación superior, aludiendo que era un campo en el que la innovación plantea grandes desafíos a las universidades.

En los gobiernos de la gran mayoría de los países europeos existe la preocupación sobre la necesidad de crear y sostener un conjunto de instrumentos de política económica con el propósito de favorecer las actividades de innovación. Estos instrumentos, deben ser, desde el punto de vista que se plantea en la definición de política pública, entendidos como un proceso. Por ello, cualquier política de estímulo a la innovación comenzaría por la identificación del problema, pasando a la formulación de las alternativas, posteriormente la adopción de una de ellas (la mejor, según los mecanismos de evaluación), la implementación de esta y, por último, la evaluación de los resultados obtenidos. En todo momento debe de estar presente la retroalimentación que permita la mejora continua del proceso.

Sin embargo, antes de lanzarse a establecer cualquiera de estas políticas de innovación, o tan siquiera, antes de formular o adoptar alguna alternativa, sería prudente preguntarse realmente qué es lo que se quiere impulsar y con qué tipo de mecanismos. Es un elemento esencial diseñar instrumentos que permitan medir su eficacia, establecer cuáles son los indicadores necesarios para posteriormente, según los resultados que se alcancen, poder determinar cuáles de las

modificaciones obtenidas han sido consecuencia de las políticas puestas en práctica. Medir la eficacia de las políticas de innovación y establecer indicadores para ello, puede constituir una etapa complicada en el proceso, debido al carácter tan variado del término innovación y la dependencia que tiene del contexto social, político y económico concreto donde se lleve a cabo.

Sin embargo, la medición de la innovación es algo que se realiza y se presenta en manuales, como el de Oslo o Frascati, o cuestionarios a nivel internacional a través de metodologías e indicadores. Sin embargo, sería interesante plantearse cómo se ha definido la innovación que es precisa medir en cada momento, o cuáles son las metodologías que se han implementado y la validez universal de estas.

1.1.1 NIVEL DE PAÍS

CUADRO EUROPEO DE INDICADORES DE LA INNOVACIÓN

El Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación (CEII, por sus siglas en español), es un estudio anual publicado por la Comisión Europea donde se presenta una comparativa de los sistemas de investigación e innovación, tanto de los estados miembros de la Unión Europea como de otros países europeos y los vecinos regionales.

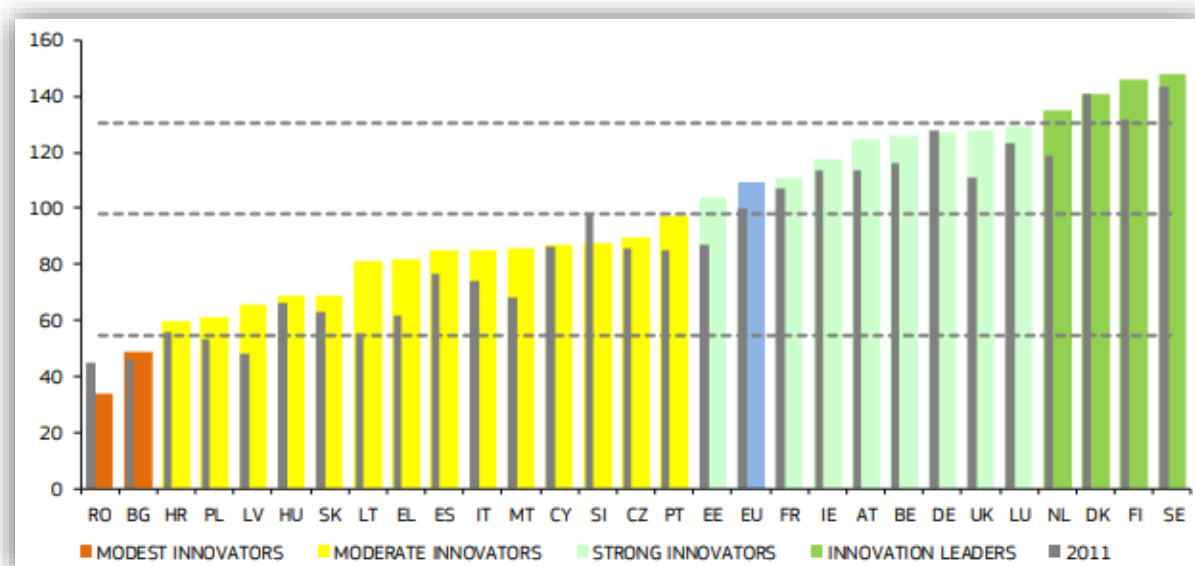
El estudio emplea para la realización de la comparativa una serie de “indicadores” de los diferentes elementos que componen los sistemas de investigación e innovación. Según la metodología que se utiliza para la realización de este estudio comparativo, el desempeño global de la innovación se mide utilizando un indicador compuesto denominado Índice Sintético de Innovación, que aglutina el desempeño de una gama de indicadores diferentes.

De esta forma, como se describe en Ares (2019), el marco de medición del CEII distingue cuatro tipos principales de indicadores (*condiciones marco*, *inversiones*, *actividades de innovación e impactos*) y diez dimensiones de innovación, de lo que resulta un total de veintisiete indicadores diferentes.

Las *condiciones marco* miden los principales motores de los resultados en innovación externos a las empresas y abarcan tres dimensiones de la innovación: recursos humanos, sistemas de investigación atractivos y entorno favorable a la innovación. El indicador *inversiones* mide la inversión pública y privada en investigación e innovación, y abarca dos dimensiones: financiación y apoyo, e inversiones de las empresas. Las *actividades de innovación* muestran los esfuerzos de innovación al nivel de las empresas, agrupados en tres dimensiones: innovadores, vínculos y activos intelectuales. Por último, el indicador *impactos* abarca los efectos de las actividades innovadoras de las empresas en dos dimensiones de innovación: impactos en el empleo e impactos en las ventas.

Para comprender mejor cómo se interpreta y la información que muestra, se emplea como ejemplo la figura 3 que representa los resultados obtenidos en el informe presentado en el 2019 sobre el cuadro europeo de indicadores de la innovación para el año 2018, puesto que se presentan los datos correspondientes al año anterior de elaboración del informe.

Figura 3: Resultados de los Sistemas de Innovación de los estados miembros de la UE en 2018.



Fuente: Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación 2019 presentado por la Comisión Europea.

Las columnas de colores muestran los resultados de los Estados miembros en 2018 y reflejan cuatro niveles o grupos de innovación, evidenciados también por las líneas discontinuas que indican los valores umbrales entre los grupos formados. La gama de colores va, desde el verde que representa los líderes en innovación, hasta el rojo que distingue los modestos en innovación; pasando también por los que son fuertes en innovación (color verde-azul claro) y los moderados en innovación con el color amarillo. A su vez, la barra azul indica la media de la Unión Europea.

La comparación se realiza con respecto al año 2011, donde los valores correspondientes al mismo se indican con las columnas grises, siendo importante destacar que se empleó el mismo método de medición para todos los años.

ÍNDICE GLOBAL DE INNOVACIÓN

El Índice Global de Innovación (IGI por sus siglas en español) constituye otra forma de medir la innovación. Como se presenta en la Revista de la OMPI en su publicación de agosto 2011, surge como resultado de un proyecto lanzado en 2007 por el profesor Soumitra Dutta, perteneciente a la escuela de negocios francesa INSEAD, que tenía como objetivo encontrar enfoques y medidas para representar de una manera más amplia lo que realmente aglutina la innovación, y que no se limitase a los indicadores tradicionales para medirla como suelen ser el gasto en I+D o el número de artículos de investigación publicados, etc.

El informe donde se presenta el mismo se elabora anualmente como resultado de un estudio conjunto entre la escuela de negocios francesa INSEAD, la Organización Internacional de la

Propiedad Intelectual (OMPI por sus siglas en español)⁶ y la Universidad de Cornell⁷; y ofrece una clasificación anual de las capacidades y el desempeño de las economías de todo el mundo en el ámbito de la innovación.

Tabla 1: Pilares del Índice Global de Innovación.

	Pilares	Descripción
<i>Subíndice de aportes de la innovación</i>	Instituciones	Condiciones nacionales de gobernabilidad, estabilidad política, protección a la propiedad intelectual y la existencia de estímulos.
	Capital humano e investigación	Nivel educativo general de la población junto con la prioridad que reciben las actividades de investigación en el país estudiado.
	Infraestructura	Condiciones de la infraestructura de telecomunicaciones, transportes y energía prevaletes en el país, las cuales son fundamentales para la generación y difusión del conocimiento.
	Sofisticación del mercado	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.
	Sofisticación de negocio	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.
<i>Subíndice de resultados de la innovación</i>	Productos de conocimiento y tecnología	<u>Creación de conocimiento:</u> Evalúa los resultados obtenidos por los países en los indicadores relacionados con la generación de solicitudes de patente, las solicitudes de modelos de utilidad, las publicaciones de artículos científicos en revistas con revisión por pares y las citas de dichos artículos.
		<u>Impacto del conocimiento:</u> Busca evaluar los efectos macroeconómicos y microeconómicos de las mejoras en el conocimiento ⁸ .
	Resultados creativos	<u>Difusión del conocimiento:</u> 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 ⁹ . Está relacionado con los productos creativos que resultan del proceso de innovación. Se valoran tres aspectos para su obtención: generación de activos intangibles (marcas, modelos de negocio, modelos industriales), generación y comercialización de bienes y servicios creativos (cultura, cine, publicidad, etc), y la creatividad en línea.

Fuente: Elaboración propia a partir de información publicada en Dutta *et al.* (2016).

⁶ Colabora desde el año 2011.

⁷ Colabora desde el año 2013

⁸ Los elementos para tener en cuenta son el incremento en la productividad de los trabajadores, la entrada de nuevas empresas a la economía, el gasto en programas de automatización, el número de certificados ISO 9000 y la producción industrial de media y alta tecnología como proporción de la producción industrial total.

⁹ 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.

El IGI clasifica los resultados de la innovación de unos 131 países y economías de distintas regiones del mundo, sobre la base de más de 80 indicadores. Propone siete pilares; cinco de ellos se pudiera decir que son los “inputs” del sistema de innovación, mientras que los otros dos representarían los “outputs” del mismo. Todos se resumen en la tabla 1, y suelen aglutinarse en dos subíndices, el de aportes a la innovación y el de resultados de la innovación.

El procedimiento que se lleva a cabo para obtener el IGI se resume en la figura 4, y consiste en obtener la media ponderada de los indicadores individuales y así definir las puntuaciones de los subpilares; con la media simple de estos se calcula la puntuación de los pilares y una vez conseguido se procede a determinar cuatro medidas.

Figura 4: Marco de trabajo del Índice Global de Innovación.



Fuente: Elaboración propia a partir de información publicada en Dutta *et al.* (2016).

- ✚ El subíndice de aportes a la innovación es la media simple de las puntuaciones de los cinco primeros pilares explicados anteriormente.
- ✚ El subíndice de resultados de la innovación constituye la media simple de las puntuaciones de los dos últimos pilares.
- ✚ El Índice General de la Innovación es la media simple de los subíndices anteriores.
- ✚ El Índice de Eficiencia de la Innovación es el cociente entre el subíndice de recursos y el de resultados.

INDICADOR DE RESULTADOS DE LA INNOVACIÓN

En el año 2013 la Comisión Europea presentó un nuevo indicador, pero no para medir la innovación de manera general, sino para obtener una medida de cómo se plasman en el mercado, con la creación de mejores empleos y mayor competitividad europea, las ideas de los sectores más innovadores.

Este indicador, como se plasma en MEMO/782 (2013) recibe el nombre de Indicador de Resultados de la Innovación y con el mismo se proporciona una visión general de la actuación de los estados miembros de la Unión Europea (UE por sus siglas en español), otros países europeos asociados al programa marco de investigación de la UE y algunos de los principales socios comerciales de la UE.

El nuevo indicador se basa en cuatro componentes elegidos por su relevancia política, calidad de los datos (tanto por su disponibilidad internacional como por la posibilidad de poder realizar comparaciones entre países) y robustez de los resultados, los que se describen en MEMO/782 (2013) como:

- ✚ Grado de innovación tecnológica: Se mide según el número de registro de patentes solicitadas por mil millones de PIB. Como resultado, muestra la capacidad de una economía para transformar el conocimiento generado mediante la inversión en I+D en innovaciones que se puedan comercializar.
- ✚ Nivel de empleo en actividades intensivas en conocimiento (se expresa como porcentaje del empleo total). Se centra en qué medida la mano de obra altamente cualificada se inserta en la estructura económica de un país.
- ✚ Competitividad de bienes y servicios intensivos en conocimiento: Se basa en la contribución que realiza a la balanza comercial total, la balanza comercial de productos de alta y mediana tecnología, así como también, el aporte de los servicios intensivos en conocimientos como porcentaje de las exportaciones totales de servicios. En resumen, refleja la capacidad de un país para llegar a los mercados globales con sus innovaciones.
- ✚ Nivel de empleo en las empresas de rápido crecimiento de los sectores innovadores. Proporciona una medida del dinamismo de las empresas de rápido crecimiento en los sectores innovadores en comparación con todas las actividades comerciales de rápido crecimiento. Muestra la capacidad de un país para transformar rápidamente su economía para responder a nuevas necesidades y aprovechar la demanda emergente.

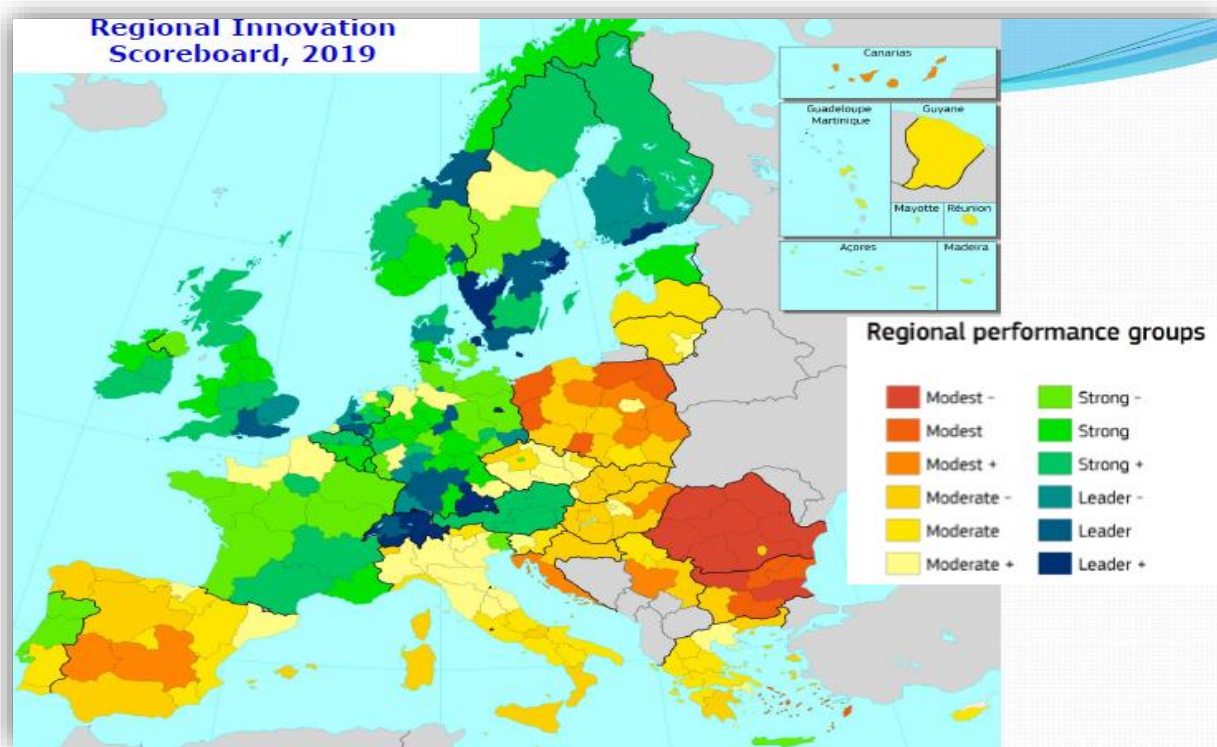
Hasta el momento se ha visto y analizado en este trabajo como indicadores, el Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación y el Índice Global de Innovación; la novedad de este nuevo indicador con respecto a los anteriores radica en que se enfoca en los resultados de la innovación y su aplicación en el mercado.

1.1.2. NIVEL REGIONAL

Como se mostró con anterioridad al presentarse el Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación; además de la comparativa por estados, la Comisión Europea también elabora un Cuadro de Indicadores de la Innovación Regional, cuyos resultados se muestran en la figura 5. El mismo presenta una evaluación comparativa de los resultados de la innovación en 238 regiones de 23 Estados miembros de la UE, mientras que Chipre, Estonia, Letonia. Luxemburgo

y Malta están incluidos a nivel de país. Además, el Cuadro de Indicadores de la Innovación Regional también cubre regiones de Noruega, Serbia y Suiza.

Figura 5: Cuadro de Indicadores de la Innovación Regional 2019.



Fuente: Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación Regional 2019 presentado por la Comisión Europea.

Los datos del Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación y el Cuadro de Indicadores de la Innovación Regional ayudan a los estados miembros, las regiones y al conjunto de la UE a determinar los ámbitos en los que presentan un buen rendimiento y aquellos en los que se necesitan reformas políticas a fin de fomentar mejor la innovación.

Ahora bien, pudiera surgir la pregunta sobre cuál de estos indicadores es mejor; pues desde el punto de vista de esta investigación se considera que no se deba hablar de que uno es mejor o peor que el otro, simplemente cada uno de ellos emplea un marco metodológico diferente y diferentes variables en lo relativo a tipo y cantidad.

Lo importante sería discutir si simplemente analizando el valor final del mismo sería suficiente para definir el nivel de innovación de los países o regiones. Según el tratamiento que se les da a estos índices se pudiera pensar que si, por ejemplo, se invirtiera un esfuerzo importante en formar a más personas, o se incrementara de manera considerable la inversión en I+D, se mejoraría la posición dentro del ranking. Pero ¿esto garantizaría mejores resultados? En este trabajo se considera que no, un incremento de recursos no garantiza obligatoriamente una mejora en la productividad del sistema; para ello es esencial enfocarse y mejorar el nivel de eficiencia. Hay que estudiar realmente el proceso de convertir los recursos en resultados y medir por tanto el nivel de eficiencia de este.

En función de ello, se propone en esta investigación, un método para intentar medir la eficiencia en el Índice Global de Innovación, para los países europeos en el último período comprendido entre 2017- 2019, y poder comparar los resultados obtenidos con el ranking que se presenta anualmente. Aunque previamente sería conveniente revisar en cuestiones de literatura sobre el tema, los estudios que se han realizado con el fin de medir la eficiencia en las actividades innovadoras.

I.2. LA EFICIENCIA EN LAS ACTIVIDADES INNOVADORAS.

En todo ciclo productivo es preciso mejorar los procesos que lo integran, persiguiendo fundamentalmente conseguir la máxima producción a partir del empleo de la menor cantidad de recursos posible. A ello se le denomina eficiencia, y valores más altos de este indicador 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 uno de estos ejemplos son los estudios realizados en el ámbito de los procesos de innovación.

Como parte de la economía de la innovación, ha jugado un papel fundamental el estudio de la eficiencia. Schumpeter se refirió a ella destacando el papel que juega la innovación en el logro de la expansión de la economía a largo plazo, al multiplicar su producto partiendo de un limitado volumen de recursos. A su vez, Nelson (1959) estudia el empleo de recursos en la investigación científica básica; concluyendo que la eficiencia está sujeta a economías externas y, por tanto, para lograr la misma es necesario que su realización sea en las universidades y plantea al respecto: *“un dólar gastado en investigación básica en un laboratorio universitario vale más para la sociedad que un dólar gastado en un laboratorio industrial”*.

Los trabajos realizados por Johnes y Johnes (1995) también se centran, como medida de la innovación, en la investigación. Utilizan el DEA para evaluar el desempeño investigativo en Reino Unido, en esta investigación los *inputs* se encontraban representados por el número de profesores investigadores y los *outputs* por el número de publicaciones científicas.

Otro estudio similar, es el realizado por Pakka *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. En China, Guang y Wang (2004) emplearon como *inputs* los grupos de investigación en las universidades y el presupuesto asignado a los mismos, para estudiar como *outputs* las citas de los trabajos elaborados y el número total de estos. En Latinoamérica, concretamente en Colombia, también asocian a la medición de la eficiencia en innovación los resultados obtenidos en investigación; Restrepo y Villegas (2007) utilizan como *inputs* los años de experiencia de los académicos y la cantidad que se clasifican como tales y como *outputs* las publicaciones científicas de los mismos.

También existen trabajos que amplían el alcance de los procesos innovadores, y no se limitan solo a estudiar los resultados obtenidos en innovación o creación del conocimiento. En tal sentido, Zabala *et al.* (2007) miden la eficiencia de las regiones europeas a través del Cuadro Europeo de Indicadores Regional. Considerando como *inputs*, el porcentaje de la población con educación superior, porcentaje de la población en actividades de aprendizaje a lo largo de la vida, empleo en manufacturas de alta tecnología, empleo en servicios de alta tecnología, gasto público en I+D, gasto privado en I+D, patentes solicitadas de alta tecnología (por millón de habitantes); y como medida output el PIB per cápita regional. Emplean para el análisis de los resultados la metodología DEA y concluyen que las puntuaciones de eficiencia resultantes difieren de los obtenidos por el ranking europeo de innovación y aquellas regiones que más gastan e invierten no son necesariamente las más eficientes.

También Hollanders y Celikel (2007) realizan un estudio comparativo sobre la eficiencia en la generación de conocimientos e innovaciones en el mundo. Utilizan como *inputs* las variables demográficas que describen el estado de los recursos humanos en cuanto a su educación y contacto con las tecnologías de la información, a las que llaman “conductores de la innovación”; la “creación de la innovación” la miden a través de la inversión realizada (tanto pública, como privada) en I+D. Por último, emplean las actividades de I+D, pero realizadas por pequeñas y medianas empresas, para conformar la variable “innovación y emprendimiento”. Como *outputs* del modelo estudian el empleo en este tipo de actividades, las exportaciones de nuevos productos y el uso de instrumentos de protección a la propiedad intelectual.

Más recientemente, Foddi y Usai (2013), estudian la eficiencia y su evolución en diferentes regiones europeas; empleando como *outputs* las patentes solicitadas y como *inputs* el gasto en I+D, la población en educación terciaria y las patentes solicitadas por las regiones cercanas. Posteriormente, Gao y Chou (2015) evalúan la eficiencia en la generación de innovaciones en empresas nacionales y multinacionales, utilizando como *inputs* el gasto en I+D y el capital invertido en I+D, y como *outputs* el número de patentes y las citas de las publicaciones científicas. Como aportaciones, plantean que el grado de desarrollo económico de los países donde se desempeñan estas empresas, y la fortaleza que tenga la protección a la propiedad intelectual en los mismos, son dinamizadores esenciales en la eficiencia de estos procesos innovadores.

Como puede apreciarse, no existe un consenso sólido sobre aquellas variables que deben ser consideradas *inputs* del proceso de gestión del conocimiento y la innovación ni sobre los *outputs* de este. Así, las variables input más usadas son los gastos y el personal en I+D, mientras que la variable output más utilizadas están relacionadas con los resultados obtenidos en innovación, el número de patentes o la protección a la propiedad intelectual. A pesar de que los trabajos anteriores han marcado ciertas pautas, la simplicidad en la configuración del proceso innovador y los *outputs* de este, puede dejar fuera del análisis de la eficiencia importantes aspectos de los sistemas de innovación, lo que pudiera afectar la correcta interpretación de los resultados obtenidos y, por tanto, traer como consecuencia la definición de políticas públicas erróneas o poco profundas en relación con la situación realmente existente.

Es por ello por lo que, la asignación de los recursos de manera eficiente en estos procesos es un tema fundamental de la economía de la innovación; y que cobra mayor importancia en la

actualidad de crisis que se está viviendo. Se propone, por tanto, una herramienta estadística que permite medir la eficiencia en los procesos, para su posterior aplicación en el Índice Global de Innovación.

CAPÍTULO 2: EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA) COMO HERRAMIENTA PARA MEDIR LA EFICIENCIA.

El Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés) es una importante y altamente fructífera técnica no paramétrica, basada en el uso de la programación lineal, que permite la medición y análisis de la eficiencia relativa con que se producen bienes y se proporcionan servicios. En este contexto, al agente objetivo de la medición de la eficiencia se le suele denominar unidades de decisión (DMU, por las siglas en inglés de *Decision Making Unit*), con el propósito de enfatizar su grado de independencia a la hora de modificar sus niveles de insumo y producción. Tiene sus inicios en el trabajo realizado por Farrell (1957), pero se introduce formalmente en los años 70 a través de Charnes *et al.* (1978).

Farrell (1957), considera la medición de la eficiencia desde una perspectiva real, no ideal; donde cada DMU sea evaluada en relación con otras que se han tomado de un grupo representativo y comparable. De esta forma se consigue que las medidas de eficiencia sean relativas y no absolutas, por lo que cada valor de eficiencia representa una expresión de la desviación observada respecto a aquellas unidades considerados como eficientes dada la información disponible. Por ello, esta metodología que propone Farrell se considera que es una técnica basada en el concepto de *benchmarking*, relacionado con la referenciación o evaluación comparativa.

La eficiencia obtenida por Farrell equivale a la eficiencia técnica, que refleja hasta que valor se pueden disminuir los *inputs* y seguir obteniendo los máximos niveles de producción; a esta también se suma la eficiencia asignativa o de asignación (se produce cuando la DMU emplea los *inputs* en proporciones óptimas, minimizando sus costes de producción, es decir, cuando la productividad marginal de cada insumo es igual a su precio), y la eficiencia de escala que se manifiesta según la naturaleza de los rendimientos a escala con los que operan las DMU.

No obstante, para ser capaces de calcular una medida de eficiencia es necesario conocer previamente la forma explícita de la función de producción. Dado que, en la práctica, la frontera de producción nunca es conocida, Farrell sugirió que esta función podría ser estimada a partir de una muestra de datos usando, alternativamente, una tecnología no paramétrica lineal a trozos, o bien, una función de producción paramétrica. Estas ideas condujeron, décadas más tarde, a dos metodologías claramente diferenciadas: el DEA y las fronteras estocásticas, respectivamente. Mientras que el DEA utiliza herramientas de la programación matemática, la aproximación a la medición de la eficiencia a través de fronteras estocásticas recurre a técnicas de carácter puramente estadístico econométrico.

En DEA, por el contrario, no se requiere de ninguna hipótesis sobre la forma funcional, ni tampoco sobre la distribución de los errores. Simplemente se calcula una medida de eficiencia relativa a una frontera “extrema”, lineal a trozos, construida a partir de las observaciones muestrales, con la única condición de que todas las DMU queden envueltas por dicha frontera.

2.1. FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL PROBLEMA.

Se desea evaluar la eficiencia de un conjunto de n DMU que consumen m *inputs* para producir s *outputs*. Cada DMU $j = 1, 2, \dots, n$ que puede describirse por un par $(X_j; Y_j)$, utiliza los *inputs* $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$ para producir los *outputs* $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})$. Se asume además que tanto los *inputs* como los *outputs* son estrictamente positivos.

Para entender cómo funcionan los modelos DEA se necesitará introducir algunos conceptos básicos de la teoría económica de la producción. En este sentido, la medida de productividad comúnmente utilizada (en el caso de $s = 1$ y $m = 1$), asume la forma de ratio del output producido por input consumido $(\frac{y}{x})$.

2.2. MODELOS DEA “ORIENTADO A INPUTS”.

2.2.1. MODELO CCR-I.

El modelo propuesto por Charnes *et al.* (1978), denominado CCR¹⁰ (que asume rendimientos constantes a escala de la función de producción), define que la eficiencia de cualquier DMU se obtiene como el máximo de una relación de *outputs* ponderados a *inputs* ponderados sujeto a la condición de que las relaciones similares para cada DMU sean menores o iguales a la unidad. En forma matemática consiste en resolver el siguiente problema de optimización:

$$\max h_0 = \frac{u_1 y_{10} + u_2 y_{20} + \dots + u_s y_{s0}}{v_1 x_{10} + v_2 x_{20} + \dots + v_m x_{m0}} \quad 2.1$$

$$\max h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad 2.2$$

$$s. a. \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad 2.3$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m \quad 2.4$$

Donde:

$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1$: Es la restricción que establece que la relación entre el “output virtual” y el “input virtual”, no debe exceder el valor de 1 en cada DMU. Por ello el valor óptimo de la función objetivo h_0 será como máximo 1.

¹⁰ El nombre proviene del uso de las iniciales de sus autores, Charnes, Cooper y Rhodes.

y_{rj}, x_{ij} : Son los *outputs* y los *inputs* conocidos del elemento j de la DMU.

$u_r, v_i \geq 0$: Condición de no negatividad que establece que a las ponderaciones de las variables establecidas para la solución del problema se les asigna un valor positivo.

El modelo anterior es un modelo de programación fraccional lineal que puede ser transformado en un modelo de programación lineal, a través del cambio de variables propuesto por Charnes *et al.* (1962).

$$\max h_0 = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad 2.5$$

$$s. a \quad \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \quad 2.6$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \leq \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad 2.7$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \quad i = 1, 2, \dots, m \quad 2.8$$

El modelo anterior también se le llama modelo DEA CCR, pero la versión de los multiplicadores. A partir de este se puede obtener el valor de eficiencia (h_0^*) de cada unidad de decisión DMU_0 . Si se tiene (h_0^*, v_0^*, u_0^*) , una de las soluciones óptimas del modelo, en Cooper *et al.* (2007) se define que:

Definición 2.1(Eficiencia CCR):

1. La DMU_0 es eficiente si $h_0^* = 1$ y existe, al menos, una solución óptima (v_0^*, u_0^*) , con $v_0^* > 0$ y $u_0^* > 0$.
2. En cualquier otro caso, la DMU_0 es ineficiente.

A su vez, se tiene el modelo DEA CCR en su versión evolvente, que no es más que el problema dual asociado al problema de programación lineal anterior. La formulación matemática del mismo es:

$$s. a \quad \min \theta_0 \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta_0 x_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad 2.9$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_r \quad r = 1, 2, \dots, s \quad 2.10$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad 2.11$$

Donde:

$x_i^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* x_{ij}$ para los *inputs*.

$y_r^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* y_{rj}$ para los *outputs*.

De este problema se tiene que $h_0^* = \theta_0^*$, y se considera eficiente a la máxima reducción equiproporcional de todos los *inputs* de la DMU_0 que es factible conseguir según los datos

observados. A su vez, los valores (x_i^*, y_r^*) determinan unos niveles objetivos que están situados sobre la frontera y que la DMU_0 debería de cumplir para convertirse en eficiente.

Como ventaja del método DEA hasta este punto, se puede plantear que es capaz de proporcionar al que gestiona la DMU_0 un nivel de eficiencia relativo al conjunto muestral homogéneo de las unidades de decisión observadas (h_0^*) , y unas pautas de cómo conseguir la eficiencia a través de esos niveles objetivos en *inputs* y *outputs*.

2.2.2. MODELO DEA BCC-I.

Ahora es necesario considerar las situaciones cuando los rendimientos a escala sean variables, tanto crecientes (a bajos niveles de producción), como decrecientes, que se pueden dar en escalas de producción altas. En tal sentido, Banker *et al.* (1984) proponen un indicador de eficiencia de escala resultante de comparar los niveles de eficiencia técnica bajo estos supuestos. A esta versión del modelo inicial se le conoce como DEA BCC, y también es considerado de “orientación *input*” centrado en la reducción radial o equiproporcional de los *inputs*.

En Cooper *et al.* (2007), se expone que el modelo BCC de orientación input evalúa la eficiencia de la DMU_0 ($o = 1, 2, \dots, n$) resolviendo el problema de programación lineal (versión envolvente) siguiente:

$$\min \theta_B \quad 2.12$$

$$s. a \quad \theta_B x_o - X\lambda \geq 0 \quad 2.13$$

$$Y\lambda \geq y_o \quad 2.14$$

$$e\lambda = 1 \quad 2.15$$

$$\lambda \geq 0 \quad 2.16$$

donde: θ_B es un escalar.

A su vez, se tiene el problema dual (en su versión de los multiplicadores), asociado al problema de programación lineal BCC, cuya formulación matemática es:

$$\max z = uy_o - u_o \quad 2.17$$

$$s. a. \quad vx_o = 1 \quad 2.18$$

$$-vX + uY - u_o e \leq 0 \quad 2.19$$

$$v \geq 0, u \geq 0 \quad 2.20$$

donde:

v y u son vectores.

z y u_o son escalares, y este último, al ser “libre de signo”, puede ser positivo, negativo o cero.

El problema fraccional BCC equivalente, se obtiene del problema dual como:

$$\max \frac{uy_o - u_o}{vx_o} \quad 2.21$$

$$s. a. \quad \frac{uy_j - u_o}{vx_j} \leq 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad 2.22$$

$$v \geq 0, \quad u \geq 0 \quad 2.23$$

El problema primal BCC se resuelve mediante un procedimiento de dos fases similar al caso CCR. En la primera fase, se minimiza θ_B y, en la segunda, se maximiza la suma de los excesos de entrada y los déficits de producción, manteniendo $\theta_B = \theta_B^*$, el valor objetivo óptimo obtenido en la fase uno.

Por otro lado, es claro que una diferencia entre los modelos CCR y BCC está presente en la variable libre de signo u_o , que es la variable dual asociada con la restricción $e\lambda = 1$ en el modelo envolvente, y que no aparece en el modelo CCR.

Las soluciones obtenidas en ambos modelos también se relacionan entre sí de la siguiente manera. Una solución óptima para BCC representada por $(\theta_B^*, \lambda^*, s^{-*}, s^{+*})$, donde s^{-*} y s^{+*} representan el exceso máximo de los inputs y los déficits en los *outputs* respectivamente. Hay que destacar que θ_B^* no es menor que el valor óptimo de la función objetivo θ^* del modelo CCR, ya que el modelo DEA BCC impone una restricción adicional, mencionada anteriormente $e\lambda = 1$, por lo que su región factible es un subconjunto de la región factible para el modelo CCR. A partir de esto se define que:

Definición 2.2(Eficiencia BCC):

1. La DMU_0 es BCC eficiente si $(\theta_B^*, \lambda^*, s^{-*}, s^{+*})$ es una solución óptima obtenida en el proceso de dos fases que satisface $\theta_B^* = 1$ y no tiene holguras ($s^{-*} = 0, s^{+*} = 0$).
2. En cualquier otro caso, la DMU_0 es BCC ineficiente.

2.3. MODELOS DEA “ORIENTADOS A OUTPUTS”.

En los epígrafes anteriores se ha expuesto y explicado los modelos DEA (CCR y BCC) orientado a los *inputs*, donde el problema a resolver en cuestiones de eficiencia es, cuánto se pueden reducir las cantidades de *inputs* empleados equiproporcionalmente, sin alterar los *outputs* (tanto de procesos productivos como de servicios). Sin embargo, también es posible medir los niveles de eficiencia técnica como incrementos proporcionales de la producción, una vez fijada la utilización de *inputs*.

2.3.1. MODELO CCR-O.

En este caso, la representación del problema de programación lineal CCR orientado a *outputs* presentado por Cooper *et al.* (2007), sería:

$$\max \eta \quad 2.24$$

$$s. a. \quad x_0 - X\mu \geq 0 \quad 2.25$$

$$\eta y_o - Y\mu \leq 0 \quad 2.26$$

$$\mu \geq 0 \quad 2.27$$

Una solución óptima del Problema de Programación Lineal anterior puede derivarse directamente de una solución óptima del modelo CCR orientado a *inputs* y que se define:

$$\lambda = \mu / \eta \quad \theta = 1 / \eta \quad 2.28$$

Entonces si sustituimos en el problema de programación lineal orientado a *outputs* se convierte en:

$$\min \theta \quad 2.29$$

$$s. a. \quad \theta x_0 - X\lambda \geq 0 \quad 2.30$$

$$y_0 - Y\lambda \leq 0 \quad 2.31$$

$$\lambda \geq 0 \quad 2.32$$

Este no es más que el modelo CCR orientado a *inputs*. Ello demuestra que una solución óptima del modelo orientado a los *outputs* se relaciona con el modelo enfocado en los *inputs* mediante:

$$\eta^* = 1 / \theta^* \quad \mu^* = \lambda^* / \theta^* \quad 2.33$$

Las holguras (t^-, t^+) del modelo orientado a los *outputs* se define también en Cooper *et al.* (2007) como:

$$X\mu + t^- = x_0 \quad 2.34$$

$$Y\mu - t^+ = \eta y_0 \quad 2.35$$

Estos valores también están relacionados con el modelo orientado a *inputs* a través de:

$$t^{-*} = s^{-*} / \theta^* \quad t^{+*} = s^{+*} / \theta^* \quad 2.36$$

Ahora, $\theta^* \leq 1$ y si se tiene en cuenta nuevamente la ecuación 2.28, $\eta^* \geq 1$; por ello, cuanto mayor sea el valor de η^* , menos eficiente será la DMU. El valor de θ^* expresa la tasa de reducción de los *inputs*, mientras que η^* describe la tasa de ampliación de *outputs*. De estas relaciones se puede concluir que, un modelo DEA CCR orientado a los *inputs* será eficiente para cualquier DMU si y solo si es también eficiente cuando el modelo CCR orientado a los *outputs* se usa para evaluar su desempeño.

2.3.2. MODELO BCC-O.

El modelo BCC orientado a *outputs*, en su versión envolvente se plantea, según exponen Cooper *et al.* (2007) como:

$$\max \eta_B \quad 2.37$$

$$s. a. \quad X\lambda \leq x_0 \quad 2.38$$

$$\eta_B y_0 - Y\lambda \leq 0 \quad 2.39$$

$$e\lambda = 1 \quad 2.40$$

$$\lambda \geq 0 \quad 2.41$$

El problema dual (versión de los multiplicadores) asociado al problema de programación lineal anterior se expresa como:

$$\min z = vx_o - v_o \quad 2.42$$

$$s.a. \quad uy_o = 1 \quad 2.43$$

$$vX - uY - v_o e \geq 0 \quad 2.44$$

$$v \geq 0, u \geq 0 \quad (v_o \text{ positivo, negativo o nulo}) \quad 2.45$$

donde:

v_o es el escalar asociado a $e\lambda = 1$ en el modelo en su forma envolvente.

Por último, al igual que en el modelo BCC orientado a *inputs*, se puede obtener el problema fraccional BCC orientado a *outputs* equivalente como:

$$\min \frac{vx_o - v_o}{uy_o} \quad 2.46$$

$$s.a. \quad \frac{vx_j - v_o}{uy_j} \geq 1 \quad (j = 1, \dots, n) \quad 2.47$$

$$v \geq 0, u \geq 0 \quad (v_o \text{ positivo, negativo o nulo}) \quad 2.48$$

Se puede concluir hasta el momento que los modelos DEA expuestos obligan de alguna manera a distinguir entre los modelos orientados a *inputs* y los que están orientados a resultados; proporcionando medidas de eficiencia en un sentido radial, y que sesgan el estudio hacia un sentido u otro. Sin embargo, sería interesante estudiar la posibilidad de combinar ambas orientaciones en un solo modelo.

2.4. MODELO DEA ADITIVO (ADD).

El modelo aditivo (ADD), introducido por Charnes *et al.* (1985) incorpora en la medida de eficiencia, ineficiencias del tipo radiales y no radiales, tanto de origen input como output. Sus resultados responden al concepto económico de optimalidad de Pareto tal y como ya había sido interpretado anteriormente por Koopmans. El planteamiento matemático del problema es el siguiente:

$$\max z = es^- + es^+ \quad 2.49$$

$$s.a. \quad X\lambda + s^- = x_o \quad 2.50$$

$$Y\lambda + s^+ = y_o \quad 2.51$$

$$e\lambda = 1 \quad 2.52$$

$$\lambda \geq 0 \quad s^- \geq 0 \quad s^+ \geq 0 \quad 2.53$$

El problema dual asociado al planteamiento anterior se expresa como:

$$\min w = vx_o - uy_o + u_o$$

2.54

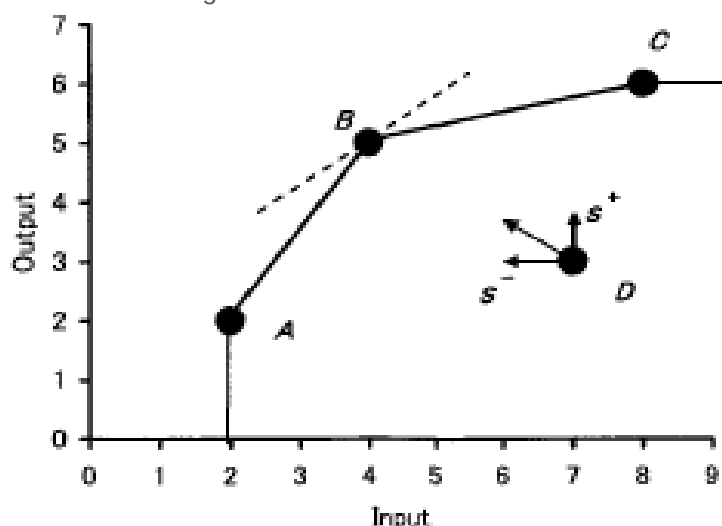
$$s.a. \quad vX - uY + u_o e \geq 0 \quad 2.55$$

$$v \geq e \quad 2.56$$

$$u \geq e \quad u_o \text{ libre de signo} \quad 2.57$$

En la figura 6 se expone la representación gráfica de este modelo, donde A, B, C y D son cuatro unidades de toma de decisión (DMU), cada una tiene un *input* y un *output*. Si se tienen en cuenta las ecuaciones 2.50 y 2.53, el modelo aditivo tiene el mismo conjunto de posibilidades de producción que el modelo BCC, y la frontera eficiente está formada por los segmentos $\overline{AB}$ y $\overline{BC}$, por lo que es continua. Es entonces cuando hay que considerar cómo se podría evaluar la DMU D.

Figura 6: El modelo aditivo básico.



Fuente: Cooper et al. (2007).

Un reemplazo factible de D con s^- y s^+ se indica en la figura mediante las flechas con las mismas notaciones; y como se muestra por la línea discontinua, el máximo valor de s^- y s^+ se alcanza en el punto B. Por ello, al resolver el problema 2.49 se está maximizando la distancia desde la DMU_0 (en este caso D), hasta la frontera eficiente en dirección noroeste. En otras palabras, para una DMU_0 (D) se selecciona el punto sobre la frontera eficiente que maximiza la distancia (B) todos los puntos que dominan, en el sentido de Pareto, a la DMU evaluada.

Teniendo en cuenta la base matemática y funcionamiento del modelo antes explicado, y $(\lambda^*, s^{*-}, s^{*+})$ una solución óptima del mismo, se puede establecer una definición de eficiencia. Se presenta la expuesta en Cooper et al. (2007) que plantea:

Definición 2.3(Eficiencia ADD):

1. La DMU_0 es ADD eficiente si y solo si $s^{*-} = 0$ y $s^{*+} = 0$.

Para entenderlo mejor, se puede retomar la figura; en la misma se observa que para que la DMU_0 (en este caso D) sea considerada eficiente, debe de encontrarse sobre la frontera representada, y, para que esto se cumpla, el valor óptimo de la función objetivo debe de ser cero. Como dicha

función objetivo depende de s^- y s^+ , si alguna de estas componentes en la solución óptima no es nula, indicará que la DMU_0 no se encuentra localizada sobre la frontera eficiente y, como consecuencia, no será eficiente. Por otro lado, si esto ocurre s^{*-} y s^{*+} serán un indicativo de la magnitud y fuentes de la ineficiencia existente en los *inputs* y en los *outputs*.

2.5. MODELO DEA Y LOS CAMBIOS EN EL TIEMPO.

Hasta este punto, la mayor parte del capítulo se ha ocupado a explicar los modelos DEA, pero en condiciones estáticas. Sin embargo, analizar cómo funcionan los mismos cuando se analiza un período temporal es muy importante. En función de lo visto hasta el momento, los entornos dinámicos pueden ser engañosos, pues quizás den lugar a un uso aparentemente excesivo de recursos que están destinados a producir resultados beneficiosos en períodos futuros. En estos casos, cuando la tecnología imperante no es estática, pueden cambiar los niveles de eficiencia técnica y a su vez, la frontera tecnológica puede ser desplazada, o sea, se pueden producir cambios de esta índole.

En este epígrafe se presentarán los modelos DEA no paramétricos en situaciones dinámicas, o sea, dependientes del tiempo; considerando una situación en la que se estudian los cambios entre dos períodos de tiempo t y $t + 1$.

2.5.1. ÍNDICE DE MALMQUIST.

Para ello, se presente el Índice de productividad de Malmquist. El concepto de este índice fue introducido por primera vez por Malmquist (1953), y ha sido estudiado y desarrollado en el marco no paramétrico por diferentes autores como Caves *et al.* (1982), Fare y Grosskopf (1992) y Thrall (2000), por presentar algunos ejemplos.

El índice de Malmquist evalúa el cambio de la Productividad Total de los Factores (PTF) de una DMU entre dos períodos de tiempo y es un ejemplo en el análisis de "estática comparativa" en el marco de múltiples *inputs* y múltiples *outputs*. Se define como el producto de los términos *Catch-up* (o recuperación) y *Frontier-shift* (o innovación). El primero se relaciona con el grado en que una DMU mejora o empeora su eficiencia, mientras que el segundo refleja el cambio en las fronteras eficientes entre los dos períodos de tiempo.

Según se plantea en Cooper *et al.* (2007) se parte de definir un conjunto de n DMUs representadas por (x_j, y_j) ($j = 1, \dots, n$), cada una de ellas con m *inputs* (denotados por el vector $x_j \in R^m$) y q *outputs* (denotados por el vector $y_j \in R^q$) durante los períodos 1 y 2; asumiendo además que $x_j > 0$ e $y_j > 0$. El conjunto de posibilidades de la función de producción $(X, Y)^t$ ($t = 1; 2$) abarcado por $(x_j, y_j)^t$ ($j = 1, \dots, n$) se define como:

$$(X, Y)^t = \{(x, y) | x \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j^t, 0 \leq y \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j^t, L \leq e\lambda \leq U, \lambda \geq 0\} \quad 2.58$$

donde:

$(x_o, y_o)^1$ y $(x_o, y_o)^2$ se emplean para designar DMU_0 ($0 = 1, \dots, n$) en los períodos 1 y 2 respectivamente.

e es el vector fila con todos los elementos igual a 1.

$\lambda \in R^n$ es el vector de intensidad.

L y U son los límites inferior y superior de la suma de las intensidades.

$(L, U) = \{(0, \infty), (1, 1), (1, \infty), (0, 1)\}$ corresponden al modelo CCR (con rendimientos constantes a escala CRS), modelo BCC (con rendimientos variables a escala VRS), IRS (rendimientos crecientes a escala) y DRS (rendimientos decrecientes a escala) respectivamente.

El efecto *Catch-up* en los períodos 1 y 2 se mide como:

$$Catch\ up = \frac{Eficiencia\ de\ (x_o, y_o)^2\ con\ respecto\ al\ período\ 2\ de\ frontera}{Eficiencia\ de\ (x_o, y_o)^1\ con\ respecto\ al\ período\ 1\ de\ frontera} \quad 2.59$$

Lo que significa que si $(Catch\ up) > 1$ hay un incremento en la eficiencia relativa del período 1 al 2; mientras que si $(Catch\ up) = 1$ indica que no hay cambios con relación a la eficiencia, y si $(Catch\ up) < 1$ entonces habrá un retroceso.

Además del término de *Catch-up*, se debe tener en cuenta el efecto *Frontier-shift* (cambio de frontera o innovación) para poder evaluar completamente el cambio de productividad.

$$Frontier\ shift = \phi < \sqrt{\phi_1 \phi_2} \quad 2.60$$

donde:

$$\phi_1 = \frac{Eficiencia\ de\ (x_o, y_o)^1\ con\ respecto\ al\ período\ 1\ de\ frontera}{Eficiencia\ de\ (x_o, y_o)^1\ con\ respecto\ al\ período\ 2\ de\ frontera} \quad 2.61$$

$$\phi_2 = \frac{Eficiencia\ de\ (x_o, y_o)^2\ con\ respecto\ al\ período\ 1\ de\ frontera}{Eficiencia\ de\ (x_o, y_o)^2\ con\ respecto\ al\ período\ 2\ de\ frontera} \quad 2.62$$

El resultado se interpreta, al igual que se explicó anteriormente como: $(Frontier\ shift) > 1$ indica un progreso en la eficiencia tecnológica del período 1 al 2; si $(Frontier\ shift) = 1$ significa que no hay cambios con relación a la tecnología de frontera, y si $(Frontier\ shift) < 1$ entonces habrá un retroceso en esta.

Teniendo en cuenta estos conceptos, se desarrollan las medidas numéricas para las que se emplea $(x_o, y_o)^{t_1}$ que indica la puntuación de eficiencia medida por la tecnología de frontera t_2 .

$$\delta^{t_2}((x_o, y_o)^{t_1}) \quad (t_1 = 1, 2 \text{ y } t_2 = 1, 2) \quad 2.63$$

Empleando esta notación, el efecto *Catch-up* y *Frontier-shift* se puede expresar como:

$$C = \frac{\delta^2((x_o, y_o)^2)}{\delta^1((x_o, y_o)^1)} \quad 2.64$$

$$F = \left[\frac{\delta^1((x_o, y_o)^1)}{\delta^2((x_o, y_o)^1)} \times \frac{\delta^1((x_o, y_o)^2)}{\delta^2((x_o, y_o)^2)} \right]^{1/2} \quad 2.65$$

Por tanto, como el índice de Malmquist se expresa como el producto de ambos efectos:

$$MI = (Catch\ up) \times (Frontier\ shift) \quad 2.66$$

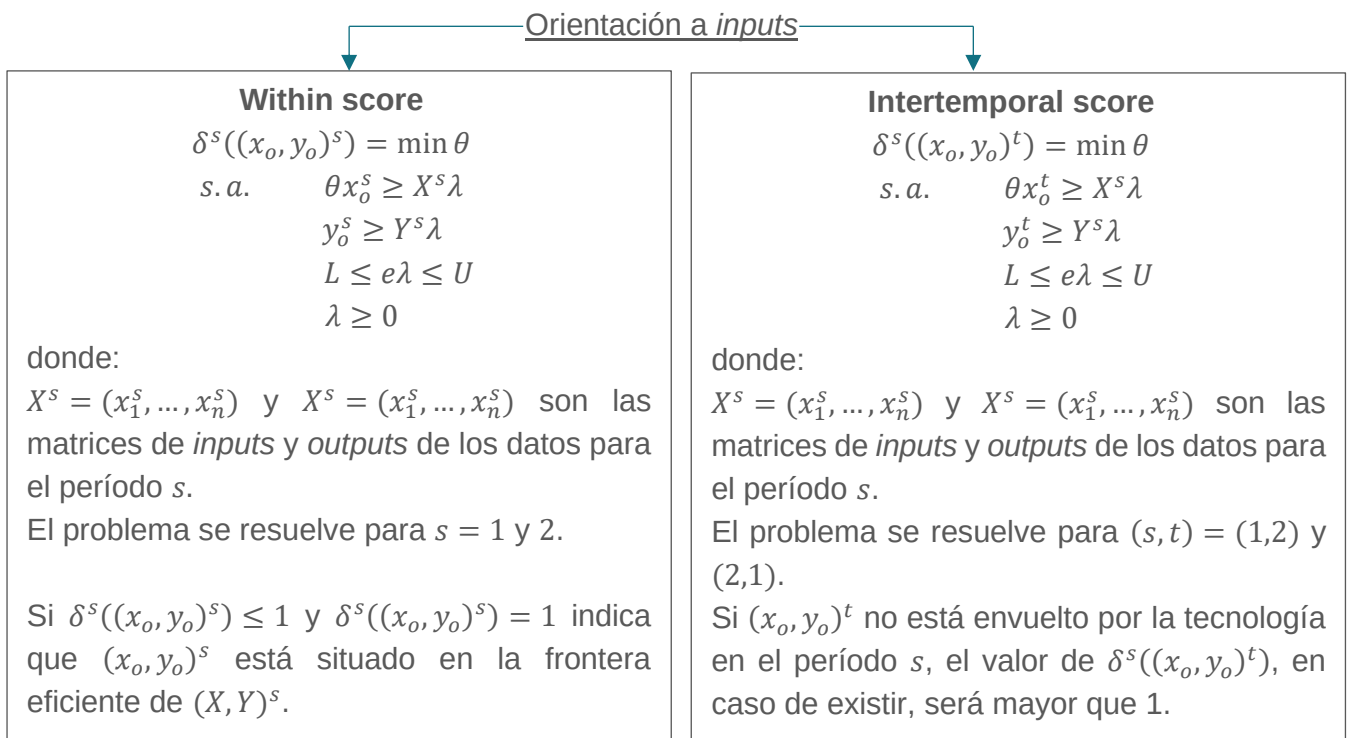
$$MI = \left[\frac{\delta^1((x_o, y_o)^2)}{\delta^1((x_o, y_o)^1)} \times \frac{\delta^2((x_o, y_o)^2)}{\delta^2((x_o, y_o)^1)} \right]^{1/2} \quad 2.67$$

Esta expresión interpreta al índice de Malmquist como la media geométrica de los dos índices de eficiencia: uno es el cambio en la eficiencia medido por la tecnología del período 1 y el otro el cambio de eficiencia medido por la tecnología del período 2. En tal sentido, el índice consta de cuatro términos: $\delta^1((x_o, y_o)^1)$, $\delta^2((x_o, y_o)^2)$, $\delta^1((x_o, y_o)^2)$ y $\delta^2((x_o, y_o)^1)$. Las dos primeras expresiones están relacionadas con las mediciones dentro del mismo período de tiempo, mientras que las dos últimas se emplean para comparar dos momentos del tiempo diferentes.

Para la interpretación del resultado se tiene en cuenta que, si $MI > 1$ es un indicativo de que se produjo un incremento en la productividad total de los factores de la DMU_o desde el período 1 al 2, mientras que un $MI < 1$ refleja un decrecimiento y $MI = 1$ pues que no ha cambios al respecto.

2.5.2. ÍNDICE DE MALMQUIST RADIAL.

Ahora, si se quiere estudiar el índice de Malmquist en un marco no paramétrico hay que acudir a las herramientas DEA. Por ello se explicará los modelos DEA radiales orientados, tanto a *inputs*, como a *outputs*.



Orientación a *outputs*

Within score

$$\begin{aligned} \delta^s((x_o, y_o)^s) &= \min \theta \\ \text{s. a.} \quad x_o^s &\geq X^s \lambda \\ \left(\frac{1}{\theta}\right) y_o^s &\geq Y^s \lambda \\ L &\leq e \lambda \leq U \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

Intertemporal score

$$\begin{aligned} \delta^s((x_o, y_o)^t) &= \min \theta \\ \text{s. a.} \quad x_o^t &\geq X^s \lambda \\ \left(\frac{1}{\theta}\right) y_o^t &\geq Y^s \lambda \\ L &\leq e \lambda \leq U \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

Como se presenta en Cooper *et al.* (2007), al evaluar la puntuación interna (within score) representada por $\delta^s((x_o, y_o)^s)$ existen dos variantes, una “inclusiva” y otra “exclusiva”. La primera, para el modelo orientado a *inputs*, significa que cuando se evalúa la *DMU* $(x_o, y_o)^s$ en relación con la tecnología $(X, Y)^s$, la misma siempre se incluye en el evaluador $(X, Y)^s$, por lo que se obtiene una puntuación inferior a 1. El esquema “exclusivo”¹¹, como su nombre lo indica, utiliza un método en el que la *DMU* $(x_o, y_o)^s$ se excluye del grupo evaluador $(X, Y)^s$; y también es empleado cuando se realizan las comparaciones intertemporales (intertemporal score).

Ahora bien, a partir de aquí se pueden dar diferentes situaciones que son importantes describir.

En el **modelo BCC** (donde $(L, U) = (1, 1)$, o sea, rendimientos variables a escala VRS), puede ocurrir que el análisis intertemporal no tenga solución en ninguna de sus orientaciones de *inputs* y *outputs*. Concretamente, en el caso del modelo orientado a *inputs*, no se tendrá una solución factible si existe i tal que $y_{i0}^t > \max_j \{y_{ij}^s\}$, mientras que en el caso orientado a *outputs* no se obtendrá dicha solución factible si existe i tal que $x_{i0}^t > \min_j \{x_{ij}^s\}$.

En el **modelo IRS** (donde $(L, U) = (1, \infty)$, o sea, rendimientos crecientes a escala) puede ocurrir que el análisis intertemporal en el modelo orientado a *outputs* no tenga solución, mientras que, en el orientado a los *inputs*, las soluciones obtenidas siempre serán factibles.

En el **modelo DRS** (donde $(L, U) = (0, 1)$, o sea, rendimientos decrecientes a escala) ocurre lo contrario a lo descrito anteriormente. El análisis intertemporal en el modelo orientado a *outputs* siempre será factible, mientras que, en el orientado a los *inputs*, no existirán soluciones de este tipo.

Por último, hay que destacar que el **modelo CCR** (donde $(L, U) = (0, \infty)$, o sea, rendimientos constantes a escala CRS), no se ve afectado por los problemas descritos en su medición intertemporal.

¹¹ Este método de evaluación es equivalente al de evaluación de supereficiencia propuesto por Andersen y Petersen (1993), y la puntuación, en caso de existir, será superior a 1.

2.6. CORRESPONDENCIA DE LA METODOLOGÍA DEA CON EL OBJETIVO PROPUESTO.

Después de haber estudiado el método DEA y cada uno de los modelos que lo integran, se puede concluir que constituye una herramienta empírica muy útil para estudiar las eficiencias técnicas y de escala de unidades productivas comparables entre sí. En el caso concreto que se ocupa en esta investigación, el uso de dicha técnica no paramétrica es muy conveniente y apropiada ya que:

- ✚ Permite evaluar conjuntamente una serie de *inputs* con uno o más *outputs*, reflejando la dificultad de estudiar un índice que mide la innovación en los países, en el que inciden e interactúan un gran número de complejas variables.
- ✚ Al ser una técnica muy flexible en su planteamiento matemático, permite que se aplique al sistema de interacción tan complejo que estudia los procesos de innovación, sin necesidad de modelizar o parametrizar las relaciones que se producen entre las variables objeto de estudio. Solo se establece definir claramente la relación *input/output*.

Por ello, evaluar la eficiencia del Índice Global de Innovación mediante la utilización de un análisis envolvente de datos, constituye un enfoque apropiado por el procedimiento empleado, y las conclusiones a las que se pudieran llegar serían de gran relevancia.

CAPÍTULO 3: UTILIZACIÓN DEL DEA EN LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DEL ÍNDICE GLOBAL DE INNOVACIÓN

El objetivo de este capítulo es desarrollar una metodología que permita emplear el Análisis Envolvente de Datos como una herramienta no paramétrica muy importante y útil para medir eficiencia en los procesos de servicios. Concretamente se ejemplificará la utilidad de la misma en un caso concreto, enfocado a medir la eficiencia del Índice Global de Innovación. Para ello se emplearon los datos proporcionados por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) para los 27 países que forman parte de la Unión Europea (UE). El estudio se basa en la utilización de 20 indicadores (divididos en 5 *inputs* y 2 *outputs* del proceso) y, se tomaron los últimos tres años para los que hay datos más actuales disponibles, o sea, 2017, 2018 y 2019. El análisis de los datos se realizó con el complemento de Excel DEA Solver en una primera parte, y posteriormente se empleó el software de libre acceso DEAP, por limitaciones del primero en el cálculo de los índices de Malmquist.

La metodología empleada se describe a continuación:

1. Descripción de las variables empleadas en el estudio; identificándose cuáles de ellas se consideran *inputs* y cuáles *outputs* del proceso. Además se realizará un Análisis Exploratorio de los Datos (AED), empleando técnicas de estadística descriptiva y correlación entre variables.
2. Se calcularán los niveles de eficiencia técnica a partir de los modelos CCR (rendimientos constantes a escala¹²) y BCC (rendimientos variables a escala¹³), y a su vez la eficiencia de escala de cada año considerado en el estudio.
3. Se realiza nuevamente la etapa anterior, pero considerando el cálculo de los índices de Malmquist, con el propósito de estudiar los cambios en la eficiencia técnica, cambio tecnológico y la productividad total de los factores.

¹² Cada DMU es comparada con todas las unidades analizadas en el problema.

¹³ Cada unidad analizada es comparada con las que sean de su tamaño y no con todas las unidades presentes en el problema.

3.1. VARIABLES CONSIDERADAS PARA EL ESTUDIO.

Los 27 indicadores seleccionados para el estudio se agruparon en 5 variables que corresponden a los *inputs* y 2 variables que son los *outputs*, de la forma que se refleja en la tabla 2.

Tabla 2: Variables empleadas en el estudio.

<i>Indicador</i>	<i>Siglas</i>	<i>Variable</i>	<i>Clasificación</i>
Entorno político	EP	Instituciones I_1	<i>input (I)</i>
Ambiente regulatorio	AR		
Ambiente de negocios	AN		
Educación básica	EB	Capital humano e investigación I_2	<i>input (I)</i>
Educación terciaria	ET		
Investigación y desarrollo	I + D		
Tecnologías de la información y las comunicaciones	TICs	Infraestructura I_3	<i>input (I)</i>
Infraestructura general	IG		
Sustentabilidad ecológica	SE		
Crédito	C	Sofisticación del mercado I_4	<i>input (I)</i>
Inversión	I		
Comercio, competencia y escala de mercado	CCEM		
Trabajadores especializados	TE	Sofisticación empresarial I_5	<i>input (I)</i>
Vínculos de innovación	VI		
Absorción del conocimiento	AC		
Creación del conocimiento	CC	Productos científicos y tecnológicos O_1	<i>output (O)</i>
Impacto del conocimiento	IC		
Difusión del conocimiento	DC		
Activos intangibles	AI	Productos creativos O_2	<i>output (O)</i>
Bienes y servicios creativos	BSC		
Creatividad online	CO		

Fuente: Elaboración propia.

Uno de los requerimientos del AED a tener en cuenta antes de proceder al análisis de los datos, es que el número de estos sea suficientemente grande. El procedimiento más común a seguir es el que se presenta en Dyson *et al.* (2001), que recomiendan considerar un número de *DMUs* superior al doble de lo que resulta de multiplicar la cantidad de *inputs* y *outputs* empleados.

Por otra parte, las unidades a evaluar también deben de ser comparables, en el sentido de que todas ellas consumen los mismos *inputs*, en diferentes cantidades, para producir el mismo conjunto de producto, en distintas cantidades. Para conseguir esta condición se garantizó que, para todas las *DMUs* estudiadas, se dispusiera de todos los valores de cada una de las variables. Por ello se estudiaron aquellas observaciones que contenían *missing values* (valores perdidos), o sea, que no se disponía información en algunos de sus indicadores y, se eliminó del estudio a la República Eslovaca. Finalmente se obtuvo un panel completo de datos, que se muestra en las tablas 3,4 y 5, para cada una de las *DMUs* y variables utilizadas en el estudio, en los años 2017, 2018 y 2019 respectivamente.

Tabla 3: Variables del IGI 2017.

	<i>EP</i>	<i>AR</i>	<i>AN</i>	<i>EB</i>	<i>ET</i>	<i>I + D</i>	<i>TICs</i>	<i>IG</i>	<i>SE</i>	<i>C</i>	<i>I</i>	<i>CCME</i>	<i>TE</i>	<i>VI</i>	<i>AC</i>	<i>CC</i>	<i>IC</i>	<i>DC</i>	<i>AI</i>	<i>BSC</i>	<i>CO</i>
<i>Austria</i>	86.3	93.0	82.0	59.7	66.0	57.5	82.4	51.5	55.1	47.2	40.2	72.0	63.3	43.7	43.9	42.7	37.8	34.1	50,3	27,4	56,2
<i>Bélgica</i>	78.8	77.4	85.4	72.8	45.6	60.6	72.5	51.9	47.3	34.5	46.7	74.1	71.1	41.8	32.4	43.3	37.4	19.1	51,3	39,8	46,1
<i>Bulgaria</i>	56.0	72.4	73.0	47.1	40.7	13.2	63.3	35.4	57.1	30.5	38.7	62.5	46.1	44.6	33.6	23.1	49.5	23.5	59,4	26,5	31,2
<i>Croacia</i>	66.5	67.1	74.3	62.3	38.7	11.0	72.4	32.9	62.4	26.9	38.0	61.4	52.0	21.6	31.7	19.3	31.5	25.4	43,6	36,0	28,3
<i>Chipre</i>	72.9	84.6	85.7	60.2	53.7	5.6	57.7	23.4	63.2	80.0	37.5	56.3	42.7	41.7	43.7	22.8	42.7	58.5	44,0	20,4	44,4
<i>República Checa</i>	78.1	73.4	81.3	54.5	49.6	38.7	61.0	51.2	59.8	44.7	34.1	71.9	53.6	36.8	47.2	46.8	52.0	38.7	51,4	39,9	44,0
<i>Dinamarca</i>	87.6	96.4	90.3	74.1	50.0	74.2	83.3	43.1	63.2	70.0	71.4	69.1	70.3	46.1	41.1	50.3	39.8	41.7	53,8	39,8	66,5
<i>Estonia</i>	74.5	85.8	82.9	58.8	43.1	22.7	82.3	45.5	63.9	48.8	56.4	59.9	55.1	36.9	38.3	31.3	43.4	33.6	59,9	48,8	45,9
<i>Finlandia</i>	89.0	95.1	92.4	73.0	56.5	69.7	86.1	53.1	53.9	51.4	67.8	65.6	72.6	56.8	50.9	61.2	40.3	44.9	57,7	27,1	46,7
<i>Francia</i>	74.8	84.2	82.9	58.6	50.6	65.1	86.8	50.3	53.1	44.0	66.7	82.3	65.9	36.2	49.7	34.6	39.3	41.6	64,0	34,5	43,0
<i>Alemania</i>	84.0	80.6	85.9	58.5	49.8	72.1	81.5	50.1	53.0	50.3	44.9	84.7	66.0	45.2	43.1	67.3	43.1	42.7	65,7	31,7	60,4
<i>Grecia</i>	53.4	66.9	75.2	79.2	58.7	31.2	63.0	25.5	56.0	47.5	35.0	68.0	40.6	21.5	24.2	15.8	25.8	19.6	44,1	22,0	32,0
<i>Hungría</i>	68.2	72.9	71.0	49.2	35.7	33.7	60.3	38.4	58.2	29.5	31.1	63.8	41.5	24.7	47.2	20.4	43.0	33.6	41,4	32,9	35,9
<i>Irlanda</i>	84.0	88.8	90.1	60.3	49.0	55.8	74.8	47.1	64.3	45.5	50.5	69.1	62.7	44.2	56.6	24.1	62.5	81.1	62,5	28,3	50,5
<i>Italia</i>	63.0	76.9	75.9	53.6	38.9	46.5	79.5	38.7	67.2	39.9	38.5	79.3	47.6	35.3	35.8	30.9	51.0	26.4	53,5	25,8	38,6
<i>Letonia</i>	72.6	78.1	82.6	57.2	37.7	10.6	62.5	37.5	59.2	51.9	44.2	60.1	43.0	40.6	30.9	13.0	39.2	27.3	47,0	53,4	50,2
<i>Lituania</i>	76.9	69.4	75.9	53.7	39.4	19.5	75.1	35.4	61.2	43.0	52.7	63.5	53.1	35.9	24.2	14.6	28.1	21.1	48,8	25,4	35,4
<i>Luxemburgo</i>	92.2	81.2	74.3	48.5	43.9	36.2	79.3	44.2	56.9	26.4	43.4	60.5	59.9	64.4	49.0	45.9	34.2	54.9	74,8	39,9	74,0
<i>Malta</i>	76.5	86.3	70.0	69.8	36.2	19.6	78.9	41.4	61.5	34.4	47.0	54.8	48.7	49.0	49.4	33.3	59.0	17.4	62,8	45,1	53,5
<i>Países Bajos</i>	87.9	88.1	88.7	61.1	39.4	63.6	88.9	48.6	52.4	47.2	52.8	77.0	62.3	50.7	78.0	64.8	44.6	79.3	57,7	42,8	77,8
<i>Polonia</i>	73.9	71.9	81.1	57.1	33.5	19.0	70.7	38.7	50.3	32.6	36.6	75.6	47.8	27.5	36.9	24.2	35.7	23.8	45,9	34,1	32,7
<i>Portugal</i>	79.4	75.8	87.3	60.9	45.1	36.9	69.2	33.1	59.5	46.4	38.2	68.8	47.8	26.8	31.6	22.9	41.1	25.9	61,2	24,6	39,6
<i>Rumanía</i>	54.9	75.3	76.8	40.9	41.9	8.6	57.0	38.1	70.1	32.1	31.7	69.0	37.4	25.5	36.1	9.5	57.9	25.6	39,8	25,2	26,9
<i>Eslovenia</i>	76.7	78.7	87.3	61.8	45.7	40.1	73.5	36.8	55.9	27.2	41.4	60.8	62.9	28.7	38.5	20.7	41.6	21.8	59,3	32,0	34,8
<i>España</i>	71.6	72.7	83.3	56.2	44.6	45.8	83.3	44.5	65.1	53.7	43.9	79.3	51.1	27.2	36.9	31.6	41.0	36.2	56,5	23,9	40,8
<i>Suecia</i>	88.0	90.5	86.5	67.7	46.3	77.1	83.6	64.7	59.0	53.3	68.4	72.9	80.7	52.4	54.6	74.9	50.5	62.1	58,7	35,8	60,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: Variables del IGI 2018.

	<i>EP</i>	<i>AR</i>	<i>AN</i>	<i>EB</i>	<i>ET</i>	<i>I + D</i>	<i>TICs</i>	<i>IG</i>	<i>SE</i>	<i>C</i>	<i>I</i>	<i>CCME</i>	<i>TE</i>	<i>VI</i>	<i>AC</i>	<i>CC</i>	<i>IC</i>	<i>DC</i>	<i>AI</i>	<i>BSC</i>	<i>CO</i>
<i>Austria</i>	86.3	93.0	82.0	59.7	67.0	57.5	82.4	51.5	55.1	47.2	40.2	72.0	63.3	43.7	43.9	42.7	37.8	34.1	52.1	38.3	40.5
<i>Bélgica</i>	78.8	77.4	85.4	72.8	40.2	60.6	72.5	51.9	47.3	34.5	46.7	74.1	71.1	41.8	32.4	43.3	37.4	19.1	50.9	42.9	26.1
<i>Bulgaria</i>	56.0	72.4	73.0	47.1	34.4	13.2	63.3	35.4	57.1	30.5	38.7	62.5	46.1	44.6	33.6	23.1	49.5	23.5	54.7	29.7	17.8
<i>Croacia</i>	66.5	67.1	74.3	62.3	36.4	11.0	72.4	32.9	62.4	26.9	38.0	61.4	52.0	21.6	31.7	19.3	31.5	25.4	43.7	47.9	15.0
<i>Chipre</i>	72.9	84.6	85.7	60.2	43.1	5.6	57.7	23.4	63.2	80.0	37.5	56.3	42.7	41.7	43.7	22.8	42.7	58.5	46.0	24.0	53.4
<i>República Checa</i>	78.1	73.4	81.3	54.5	45.5	38.7	61.0	51.2	59.8	44.7	34.1	71.9	53.6	36.8	47.2	46.8	52.0	38.7	49.6	42.7	34.5
<i>Dinamarca</i>	87.6	96.4	90.3	74.1	45.5	74.2	83.3	43.1	63.2	70.0	71.4	69.1	70.3	46.1	41.1	50.3	39.8	41.7	54.9	41.0	56.2
<i>Estonia</i>	74.5	85.8	82.9	58.8	45.0	22.7	82.3	45.5	63.9	48.8	56.4	59.9	55.1	36.9	38.3	31.3	43.4	33.6	58.3	55.8	47.0
<i>Finlandia</i>	89.0	95.1	92.4	73.0	55.8	69.7	86.1	53.1	53.9	51.4	67.8	65.6	72.6	56.8	50.9	61.2	40.3	44.9	58.1	32.4	48.5
<i>Francia</i>	74.8	84.2	82.9	58.6	47.9	65.1	86.8	50.3	53.1	44.0	66.7	82.3	65.9	36.2	49.7	34.6	39.3	41.6	62.2	36.7	35.9
<i>Alemania</i>	84.0	80.6	85.9	58.5	46.4	72.1	81.5	50.1	53.0	50.3	44.9	84.7	66.0	45.2	43.1	67.3	43.1	42.7	65.5	33.7	48.8
<i>Grecia</i>	53.4	66.9	75.2	79.2	58.1	31.2	63.0	25.5	56.0	47.5	35.0	68.0	40.6	21.5	24.2	15.8	25.8	19.6	42.8	28.7	14.6
<i>Hungría</i>	68.2	72.9	71.0	49.2	39.5	33.7	60.3	38.4	58.2	29.5	31.1	63.8	41.5	24.7	47.2	20.4	43.0	33.6	43.1	35.1	25.0
<i>Irlanda</i>	84.0	88.8	90.1	60.3	48.9	55.8	74.8	47.1	64.3	45.5	50.5	69.1	62.7	44.2	56.6	24.1	62.5	81.1	59.3	27.4	37.7
<i>Italia</i>	63.0	76.9	75.9	53.6	38.4	46.5	79.5	38.7	67.2	39.9	38.5	79.3	47.6	35.3	35.8	30.9	51.0	26.4	52.3	29.3	21.7
<i>Letonia</i>	72.6	78.1	82.6	57.2	37.0	10.6	62.5	37.5	59.2	51.9	44.2	60.1	43.0	40.6	30.9	13.0	39.2	27.3	42.6	61.3	32.0
<i>Lituania</i>	76.9	69.4	75.9	53.7	38.7	19.5	75.1	35.4	61.2	43.0	52.7	63.5	53.1	35.9	24.2	14.6	28.1	21.1	47.0	30.5	34.9
<i>Luxemburgo</i>	92.2	81.2	74.3	48.5	34.7	36.2	79.3	44.2	56.9	26.4	43.4	60.5	59.9	64.4	49.0	45.9	34.2	54.9	66.7	41.7	56.6
<i>Malta</i>	76.5	86.3	70.0	69.8	32.3	19.6	78.9	41.4	61.5	34.4	47.0	54.8	48.7	49.0	49.4	33.3	59.0	17.4	61.7	45.2	38.2
<i>Países Bajos</i>	87.9	88.1	88.7	61.1	36.2	63.6	88.9	48.6	52.4	47.2	52.8	77.0	62.3	50.7	78.0	64.8	44.6	79.3	57.5	44.6	67.1
<i>Polonia</i>	73.9	71.9	81.1	57.1	36.5	19.0	70.7	38.7	50.3	32.6	36.6	75.6	47.8	27.5	36.9	24.2	35.7	23.8	46.2	36.7	21.6
<i>Portugal</i>	79.4	75.8	87.3	60.9	45.0	36.9	69.2	33.1	59.5	46.4	38.2	68.8	47.8	26.8	31.6	22.9	41.1	25.9	61.0	31.4	20.3
<i>Rumanía</i>	54.9	75.3	76.8	40.9	42.9	8.6	57.0	38.1	70.1	32.1	31.7	69.0	37.4	25.5	36.1	9.5	57.9	25.6	38.8	25.4	14.3
<i>Eslovenia</i>	76.7	78.7	87.3	61.8	42.5	40.1	73.5	36.8	55.9	27.2	41.4	60.8	62.9	28.7	38.5	20.7	41.6	21.8	56.4	38.2	36.0
<i>España</i>	71.6	72.7	83.3	56.2	42.2	45.8	83.3	44.5	65.1	53.7	43.9	79.3	51.1	27.2	36.9	31.6	41.0	36.2	55.1	28.2	27.7
<i>Suecia</i>	88.0	90.5	86.5	67.7	43.7	77.1	83.6	64.7	59.0	53.3	68.4	72.9	80.7	52.4	54.6	74.9	50.5	62.1	57.0	39.8	61.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Variables del IGI 2019.

	<i>EP</i>	<i>AR</i>	<i>AN</i>	<i>EB</i>	<i>ET</i>	<i>I + D</i>	<i>TICs</i>	<i>IG</i>	<i>SE</i>	<i>C</i>	<i>I</i>	<i>CCME</i>	<i>TE</i>	<i>VI</i>	<i>AC</i>	<i>CC</i>	<i>IC</i>	<i>DC</i>
<i>Austria</i>	83.9	93.7	80.3	60.7	61.7	58.1	82.3	51.3	50.5	47.3	38.8	72.4	65.0	50.8	45.6	41.3	43.6	25.1
<i>Bélgica</i>	77.0	80.4	88.5	68.6	37.2	59.2	77.1	50.5	44.1	47.8	45.0	73.2	73.1	46.0	43.2	49.1	43.1	30.2
<i>Bulgaria</i>	58.1	75.5	71.5	47.0	33.1	11.7	74.9	33.9	52.2	31.8	47.1	63.7	48.9	36.3	35.7	17.8	54.9	21.7
<i>Croacia</i>	66.7	71.7	69.4	59.1	36.4	11.5	71.1	30.7	52.9	40.6	38.3	59.2	52.3	18.5	32.2	17.9	40.4	18.5
<i>Chipre</i>	72.8	84.8	83.3	63.4	37.5	6.5	79.9	29.9	57.8	78.8	38.0	57.7	49.9	36.4	56.3	24.6	48.2	50.6
<i>República Checa</i>	75.6	78.4	81.8	59.7	43.2	27.3	67.3	48.6	53.4	46.6	39.2	71.5	55.2	34.5	49.1	35.1	54.5	41.7
<i>Dinamarca</i>	91.1	95.3	88.8	73.5	42.6	73.3	93.1	44.1	60.1	75.3	57.1	68.2	71.6	56.4	49.3	52.0	48.9	38.4
<i>Estonia</i>	78.3	87.8	78.9	56.9	46.0	23.4	85.7	45.8	53.1	50.3	47.3	60.2	57.4	30.3	40.0	26.0	53.7	28.3
<i>Finlandia</i>	92.2	96.1	92.6	69.9	53.0	67.3	87.5	51.7	47.0	54.9	51.7	65.2	74.0	62.6	54.9	58.5	44.9	61.9
<i>Francia</i>	80.4	85.5	83.7	57.8	44.8	64.6	89.6	47.5	49.9	49.2	57.5	81.9	66.2	41.6	52.1	42.7	44.7	47.7
<i>Alemania</i>	88.1	84.4	86.8	57.8	58.6	73.4	88.2	47.8	50.1	53.2	39.7	82.9	67.1	53.9	47.5	66.6	48.7	42.7
<i>Grecia</i>	59.5	68.2	73.9	61.9	54.8	31.7	78.2	25.5	51.5	48.9	34.2	67.7	46.1	21.5	29.5	19.9	42.3	13.2
<i>Hungría</i>	67.4	75.8	71.5	51.8	36.8	34.4	71.5	37.8	48.9	44.5	27.1	65.5	42.1	27.3	53.0	20.3	49.6	58.4
<i>Irlanda</i>	81.7	87.3	87.5	49.7	45.4	50.0	83.8	45.7	69.6	44.8	50.1	69.0	62.1	46.2	59.1	28.7	58.6	83.4
<i>Italia</i>	63.7	79.0	83.4	53.6	37.0	45.5	82.6	37.2	58.3	41.7	34.0	78.7	50.7	37.6	38.2	38.0	55.7	23.1
<i>Letonia</i>	72.5	82.2	76.9	59.0	40.4	11.4	71.3	31.1	49.1	56.3	46.6	60.4	44.8	32.0	35.5	13.0	41.9	27.8
<i>Lituania</i>	75.5	82.6	70.0	51.7	38.4	18.9	75.4	25.8	53.7	44.0	45.3	63.4	56.2	29.2	28.6	16.7	36.9	19.6
<i>Luxemburgo</i>	90.4	84.5	67.1	48.3	41.1	35.6	90.7	32.2	53.3	32.8	47.2	60.7	66.1	56.8	59.1	43.5	34.9	48.0
<i>Malta</i>	75.9	88.2	61.5	60.0	29.9	19.8	84.6	25.8	72.8	36.2	44.0	55.5	53.8	55.8	55.1	21.0	43.2	31.5
<i>Países Bajos</i>	91.4	91.9	89.3	60.1	32.8	64.4	91.1	45.7	48.5	49.3	48.8	76.5	64.6	59.0	67.6	65.0	45.4	75.0
<i>Polonia</i>	68.2	72.9	79.7	57.0	35.5	31.0	81.5	38.2	41.5	33.5	35.3	75.0	52.3	21.7	41.2	24.3	43.2	25.1
<i>Portugal</i>	81.2	78.8	85.5	59.4	44.9	38.8	82.5	35.9	52.0	47.4	33.5	68.5	50.0	27.7	34.3	25.3	47.0	17.1
<i>Rumanía</i>	51.6	77.9	71.9	40.5	41.4	53.0	67.6	35.4	60.6	30.2	30.4	68.9	40.4	19.2	41.1	10.5	55.2	25.1
<i>Eslovenia</i>	78.0	80.7	88.3	60.0	40.7	39.3	76.9	37.2	47.5	32.4	36.7	61.6	63.3	27.4	41.7	31.8	41.1	19.3
<i>España</i>	73.5	77.9	83.0	54.3	41.2	45.5	87.4	43.2	58.8	55.3	44.6	78.6	52.1	26.5	37.5	34.2	48.5	28.9
<i>Suecia</i>	91.1	92.0	87.1	67.8	43.1	75.3	89.5	59.8	58.1	59.4	54.6	72.3	81.8	66.1	58.4	73.5	48.0	63.9

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se presenta un resumen de estadística descriptiva con los principales parámetros formados por la media, la desviación estándar y los valores máximos y mínimos de los datos. Cada una de ellas se presentan divididas en las 7 variables empleadas en el estudio y los tres años en los que se enmarca.

Tabla 6: Resumen estadística descriptiva.

		I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	O_1	O_2
2017	Máximo	92,166	66,400	69,100	70,166	63,666	62,900	62,900
	Mínimo	65,166	30,466	48,100	41,466	28,766	20,400	30,633
	Media	79,153	48,323	58,515	53,275	45,157	37,720	44,534
	Desviación estándar	7,320	10,544	5,4265	7,9461	9,190	11,292	8,019
2018	Máximo	87,237	65,167	67,130	70,167	59,667	64,784	56,400
	Mínimo	61,457	30,800	45,095	41,467	31,767	18,334	26,167
	Media	77,145	47,631	58,446	52,808	45,347	37,964	42,113
	Desviación estándar	9,310	10,553	5,357	7,574	9,249	10,236	7,869
2019	Máximo	93,633	63,400	69,133	66,867	68,767	61,800	55,200
	Mínimo	67,133	30,600	50,500	43,167	32,367	24,400	21,500
	Media	79,763	47,153	58,268	52,859	47,618	39,495	38,736
	Desviación estándar	7,443	9,529	5,040	6,181	10,414	10,887	8,764

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis realizado en DEA Solver.

Se observa como los datos en los tres años se encuentran enmarcados entre valores mínimos y máximos muy parecidos, dando una idea de que los datos han sido bien extraídos. Por otra parte, si se compara la media de cada una de las variables en los tres años tampoco varía mucho, y si se analiza acompañada de la desviación estándar se puede concluir que no hay mucha variabilidad dentro de la muestra.

También, como parte del análisis exploratorio de los datos, se ha realizado la matriz de correlación de las variables en cada uno de los años, con el objetivo de indentificar si existe relación lineal entre estas. Los resultados del análisis se muestran en la tabla 7.

Se debe de estudiar fundamentalmente el comportamiento que producen los *inputs* en los *outputs*, o sea, si existe algún tipo de relación lineal directa o inversa. Para ello se estudia el signo del coeficiente de correlación de Pearson (r), si este es positivo significará que en la medida que aumenten o disminuyan los valores de los *inputs*, lo harán también los *outputs* (relación lineal directa); si por el contrario, el signo de este coeficiente es negativo, la relación será inversa y, por tanto, si se aumentan los *inputs* se producirá una disminución en los *outputs* y viceversa.

Para estudiar la fortaleza de esta relación (en caso de que existiera), se estudia el valor modular del coeficiente de correlación de Pearson; el criterio comúnmente empleado establece que: si $r \geq 0,7$ se considera fuerte, si se encuentra entre ese valor y 0,4 aproximadamente, se dice que es moderada y, para valores inferiores a este límite, la relación lineal será débil. Importante destacar que este no es un criterio absoluto, se deberá de interpretar en función del significado de los datos y del conocimiento que se tenga sobre ellos.

Tabla 7: Matriz de correlación 2017, 2018 y 2019.

		I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	O_1	O_2
2017	I_1	1	0,701	0,661	0,707	0,822	0,708	0,675
	I_2	0,701	1	0,594	0,744	0,613	0,533	0,392
	I_3	0,661	0,594	1	0,625	0,697	0,628	0,595
	I_4	0,707	0,744	0,625	1	0,500	0,500	0,337
	I_5	0,822	0,613	0,697	0,500	1	0,880	0,788
	O_1	0,708	0,533	0,628	0,500	0,880	1	0,640
	O_2	0,675	0,392	0,595	0,337	0,788	0,640	1
2018								
	I_1	1	0,685	0,655	0,674	0,840	0,736	0,782
	I_2	0,685	1	0,595	0,698	0,598	0,532	0,406
	I_3	0,655	0,595	1	0,591	0,719	0,664	0,634
	I_4	0,674	0,698	0,591	1	0,521	0,559	0,475
	I_5	0,840	0,598	0,719	0,521	1	0,880	0,821
	O_1	0,736	0,532	0,664	0,559	0,880	1	0,673
O_2	0,782	0,406	0,634	0,475	0,821	0,673	1	
2019								
	I_1	1	0,744	0,752	0,709	0,834	0,762	0,718
	I_2	0,744	1	0,675	0,641	0,635	0,636	0,304
	I_3	0,752	0,675	1	0,667	0,776	0,774	0,590
	I_4	0,709	0,641	0,667	1	0,557	0,627	0,431
	I_5	0,834	0,635	0,776	0,557	1	0,849	0,790
	O_1	0,762	0,636	0,774	0,627	0,849	1	0,571
O_2	0,718	0,304	0,590	0,431	0,790	0,571	1	

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis realizado en DEA Solver.

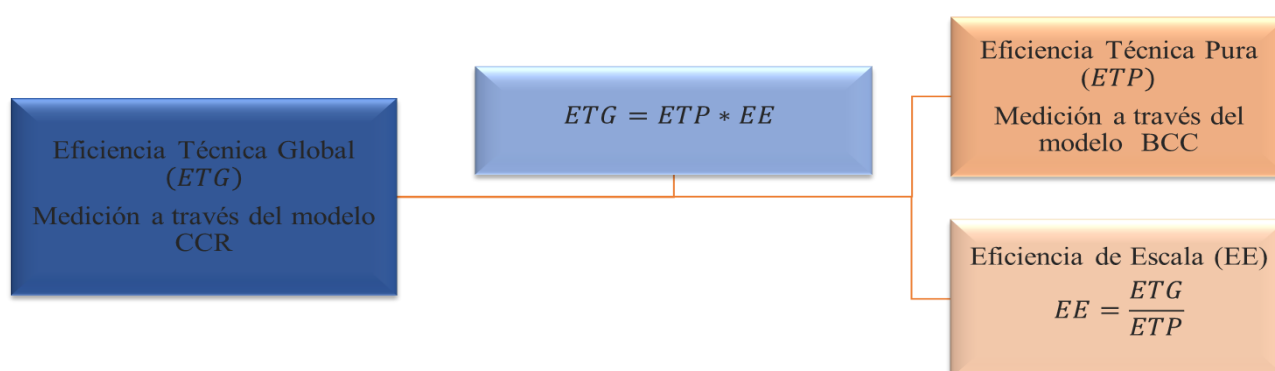
Según los resultados mostrados en la tabla 7 y la explicación anterior, entre todas las variables existe una relación lineal directa, pues el signo del coeficiente de correlación en todos los casos es positivo. Para estudiar las variables independientes que estén más correlacionadas con las dependientes se tendrá en cuenta el valor modular del coeficiente y lo más cercano a 1 que esté. En tal sentido, los *inputs* correspondientes a instituciones y sofisticación empresarial, coinciden en los tres años, en estar fuertemente relacionadas de manera lineal con los productos científicos y tecnológicos y los productos creativos, pues en todos los casos $r \geq 0,7$. Por el contrario, el capital humano e investigación y la sofisticación del mercado, están más debilmente correlacionadas con los productos creativos.

3.2. EFICIENCIA TÉCNICA Y DE ESCALA.

En este apartado el procedimiento a seguir es el que se resume en la figura 7. Primeramente identificar la eficiencia técnica global, calculada bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, por lo que se utilizará el modelo CCR. Como consecuencia, las unidades que resulten ineficientes, pueden ser debido a problemas estrictamente técnicos (lo que se denomina

eficiencia técnica pura), o a problemas de dimensión (lo que constituye la eficiencia de escala). La eficiencia técnica pura se calcula utilizando el modelo BCC, que como ya se ha visto tiene como supuesto los rendimientos variables a escala, pues no se incluyen en esta medición ningún efecto de escala. Por otro lado, la eficiencia de escala, que mide el impacto del tamaño de la escala en la productividad de una *DMU*, es el cociente de la eficiencia técnica global y la eficiencia técnica pura.

Figura 7: Etapas para medir la eficiencia técnica y de escala.



Fuente: Elaboración propia.

La orientación de ambos modelos es a la salida (*outputs*), ya que la finalidad, según indican las variables objeto de estudio, es maximizar la generación de innovación. Ello 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.

Se debe recordar que, una *DMU* será eficiente si no es posible incrementar las cantidades en los *outputs* manteniendo fijas las cantidades de *inputs* utilizados, ni es posible disminuir las cantidades de *inputs* empleados sin alterar las cantidades de *outputs* obtenidos. Adicionalmente, se podrá comparar aquellos países (*DMU_s*) relativamente ineficientes con aquellos que son eficientes, con el fin de establecer la cuantía, en términos absolutos o relativos, de la reducción de *inputs* y/o aumento de los *outputs*, que los países ineficientes debería tratar de promover para convertirse en eficientes.

En la tabla 8 se muestran, para cada uno de los países estudiados (*DMU_s*), los índices de eficiencia técnica obtenidos con los dos modelos considerados, bajo rendimientos constantes (CCR) y variables a escala (BCC); con los que se calcula posteriormente las eficiencias de escala. Para analizar los resultados hay que tener en cuenta que, la *DMU* será eficiente si el índice de eficiencia es igual a 1, por lo que si es inferior a este valor, se considerará ineficiente.

Tabla 8: Índices de eficiencia técnica (global y pura) y eficiencia de escala.

	2017			2018			2019		
	<i>ETG</i> (<i>CCR</i>)	<i>ETP</i> (<i>BCC</i>)	<i>EE</i>	<i>ETG</i> (<i>CCR</i>)	<i>ETP</i> (<i>BCC</i>)	<i>EE</i>	<i>ETG</i> (<i>CCR</i>)	<i>ETP</i> (<i>BCC</i>)	<i>EE</i>
<i>Austria</i>	0,838	0,846	0,990	0,837	0,843	0,993	0,764	0,770	0,992
<i>Bélgica</i>	0,836	0,840	0,995	0,798	0,815	0,979	0,774	0,803	0,964
<i>Bulgaria</i>	0,899	1,000	0,899	0,884	1,000	0,884	0,883	1,000	0,883
<i>Croacia</i>	0,875	1,000	0,875	0,857	1,000	0,857	0,804	1,000	0,804
<i>Chipre</i>	0,962	1,000	0,962	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>República Checa</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,981	0,991	0,990
<i>Dinamarca</i>	0,932	0,948	0,983	0,926	0,927	1,000	0,861	0,892	0,965
<i>Estonia</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>Finlandia</i>	0,807	0,810	0,996	0,831	0,834	0,996	0,906	0,912	0,993
<i>Francia</i>	0,864	0,873	0,990	0,852	0,880	0,968	0,876	0,882	0,993
<i>Alemania</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,958	0,960	0,998
<i>Grecia</i>	0,914	1,000	0,914	0,832	1,000	0,832	0,821	1,000	0,821
<i>Hungría</i>	0,920	1,000	0,920	0,904	1,000	0,904	1,000	1,000	1,000
<i>Irlanda</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>Italia</i>	0,945	1,000	0,945	0,918	0,992	0,926	0,902	0,905	0,997
<i>Letonia</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,990	1,000	0,990
<i>Lituania</i>	0,764	0,797	0,957	0,803	0,892	0,901	0,888	1,000	0,888
<i>Luxemburgo</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>Malta</i>	0,965	0,998	0,967	0,941	1,000	0,941	1,000	1,000	1,000
<i>Países Bajos</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<i>Polonia</i>	0,870	0,909	0,957	0,832	0,911	0,913	0,825	0,873	0,945
<i>Portugal</i>	1,000	1,000	1,000	0,944	1,000	0,944	0,869	0,942	0,923
<i>Rumanía</i>	0,959	1,000	0,959	0,936	1,000	0,936	0,860	1,000	0,860
<i>Eslovenia</i>	0,837	0,920	0,910	0,924	1,000	0,924	0,860	1,000	0,860
<i>España</i>	0,989	1,000	0,989	0,971	1,000	0,971	0,977	1,000	0,977
<i>Suecia</i>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Media	0,930	0,959		0,923	0,965		0,915	0,959	

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados arrojados por DEA Solver para Excel.

Teniendo en cuenta el supuesto anterior, se observa que, bajo un modelo CCR-O (orientado a *outputs*), los países con mejor desempeño (en los tres años estudiados) son Estonia, Irlanda, Luxemburgo, Países Bajos y Suecia. A estos se le suman República Checa, Alemania, Letonia, que son unidades eficientes en los años 2017 y 2018; Portugal, que es eficiente solo en 2017 y Hungría que es eficiente solo en 2019. Es importante señalar que, cuando se plantea que una *DMU* tiene buen desempeño, se hace referencia a los países que producen la mayor cantidad de *outputs* (productos científicos y tecnológicos y productos creativos) con los *inputs* disponibles, pero en comparación con todos los países que conforman la muestra objeto de estudio.

Cuando la frontera eficiente se construye bajo rendimientos variables de escala (modelo BCC-O) excluyéndose los efectos de la escala, se tiene que la mayoría de los países mejoran sus niveles de eficiencia y que algunos de estos se convierten en eficientes. En ambos casos significa que un porcentaje de las ineficiencias iniciales de estos países, eran consecuencia de

la escala de producción a la que se encontraban. En esta situación se encuentran Bulgaria, Croacia, Grecia, Rumanía y España (en todo el período estudiado); Chipre e Italia solamente en el 2017 y, Hungría en los años 2017 y 2018.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se puede concluir que, el modelo BCC-O es el más adecuado para calcular la eficiencia relativa del Índice Global de Innovación, ya que 18 países (que representan el 69,23%) en 2017 y 2018, y 17 países en 2019 (que representan el 65,38%), arrojan índices de eficiencia técnica pura por encima de la media que se indica también en la tabla 6. De estos países, en el año 2018 todos son BCC-O eficientes, en el 2017 lo son 17 y, en el 2019 se consideran que presentan un buen desempeño 16 de ellos.

Por el contrario, cuando se emplea el modelo CCR-O, en el 2017 y 2018 hay 15 unidades con un índice de eficiencia técnica superior a la media, representando el 57,69% del total de países; mientras que en 2019, once DMU_s cumplen con esta condición. De las 26 observaciones que integran la muestra solo 9 países, como máximo (pues en el caso de 2019 son 8), se consideran que presentan buen desempeño bajo este modelo, o sea, son CCR-O eficientes.

Por otra parte, analizando los índices de eficiencias de escala se tiene que, un valor menor a la unidad indica que el país no ha sido capaz de alcanzar su mayor nivel de eficiencia, en términos de evaluación comparativa con el resto de DMU_s , ya que no se encuentra operando en la escala más productiva que pudiera. En tal sentido, la escala en la que opera lleva a reducir su nivel de eficiencia técnica pura (en términos porcentuales), en un $(1 - EE) * 100\%$.

En relación a este índice se observa en la tabla 6 que, de los países clasificados como ineficientes, el que sufre un mayor impacto en su escala de operación es Croacia en el año 2017 y 2019 y Grecia en el 2018, pues son los que arrojan menores índices de escala. Por el contrario, si se analizan las unidades con un menor impacto de esta, para lo que se distinguen los países con valores más altos de eficiencia de escala, se tiene en 2017 y 2018 a Finlandia y, a Alemania en el año 2019.

Como conclusión, y resumiendo los diferentes casos que se pueden dar en este tipo de estudio, se plantea las tres situaciones siguientes. Primeramente, los países que han sido ineficientes bajo el modelo CCR-O y eficientes cuando se emplea el BCC-O, evidencian que se encuentran bien regulados, pero que presentan problemas de la escala en la que operan. Segundo, las unidades eficientes en ambos modelos, son a su vez eficientes a escala (igual a 1), por lo que su escala de operación no tiene ningún impacto sobre su productividad. Por último, y tercer caso, se encuentran aquellos países ineficientes en ambos sentidos y, en consecuencia, presentan ineficiencia técnica y sufren algún impacto en su escala de operación.

3.3. CAMBIOS EN LA EFICIENCIA EN EL TIEMPO, CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE MALMQUIST.

Cuando se cuenta con datos pertenecientes a varios años, como es el caso, se puede emplear esta información histórica para estudiar los cambios en los niveles de eficiencia en el tiempo. Para ello se emplean los índices de Malmquist y la descomposición del mismo en cambios de eficiencia técnica y desplazamiento de la frontera, llamados también cambios tecnológicos. En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos donde C_{ET} son cambios en la eficiencia técnica, C_T corresponden a los cambios en la tecnología y C_{PTF} hace referencia a los cambios que se han producido en la productividad total de los factores.

Tabla 9: Cambios en los índices de eficiencia técnica, tecnología y productividad total entre los períodos.

	2017-2018			2018-2019		
	C_{ET}	C_T	C_{PTF}	C_{ET}	C_T	C_{PTF}
<i>Austria</i>	1,005	0,996	1.002	0,998	0,954	0,869
<i>Bélgica</i>	0,988	0,939	0,895	0,967	0,965	0,941
<i>Bulgaria</i>	0,973	1.003	0,976	0,974	0,972	0,947
<i>Croacia</i>	0,99	1.010	1.000	0,969	0,95	0,921
<i>Chipre</i>	1,050	1.001	1.051	1.000	0,966	0,966
<i>República Checa</i>	1,000	0,986	0,986	0,997	0,971	0,968
<i>Dinamarca</i>	1,013	0,961	0,971	0,962	0,949	0,884
<i>Estonia</i>	1,000	1.023	1.023	1.000	0,931	0,931
<i>Finlandia</i>	0,999	0,987	1.010	0,995	0,98	1.060
<i>Francia</i>	0,985	0,974	0,967	1.024	0,947	0,981
<i>Alemania</i>	1.000	0,978	0,978	0,998	0,96	0,93
<i>Grecia</i>	0,905	1.002	0,907	1.029	0,943	0,971
<i>Hungría</i>	0,98	0,98	0,96	1.122	0,997	1.119
<i>Irlanda</i>	1.000	0,992	0,992	1.000	1.010	1.010
<i>Italia</i>	0,989	0,985	0,964	1.088	0,99	0,996
<i>Letonia</i>	0,993	0,926	0,92	1.007	0,932	0,938
<i>Lituania</i>	0,941	0,983	1.001	1.023	0,923	1.077
<i>Luxemburgo</i>	1.000	0,953	0,953	1.000	0,95	0,95
<i>Malta</i>	0,982	0,942	0,913	1.051	0,986	1.049
<i>Países Bajos</i>	1.000	0,986	0,986	1.000	0,97	0,97
<i>Polonia</i>	0,953	1.005	0,963	1.045	0,967	0,968
<i>Portugal</i>	0,952	1.001	0,953	0,976	0,96	0,894
<i>Rumanía</i>	0,969	0,995	0,963	0,896	1.013	0,908
<i>Eslovenia</i>	1,027	1,014	1.041	0,935	0,942	0,881
<i>España</i>	0,991	0,978	0,969	0,999	0,969	0,968
<i>Suecia</i>	1.000	1.001	1.001	1.000	0,956	0,956
Media	0,987	0,981	0,974	1,001	0,963	0,962

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados arrojados por software DEAP.

La interpretación de los resultados presentados en la tabla 9 parte de la premisa de que, si el valor resultante es superior a 1 significa que el país está creciendo y, en consecuencia, se está

acercando a la frontera construida con todas las unidades implicadas en el estudio; si es inferior a la unidad está indicando que su productividad total decrece y, si es igual a este valor, pues significa que el país se encuentra estancado en relación a este indicador.

En el período 2017-2018 la media de los cambios en la productividad total de los factores es de 0,974, lo que significa que la misma ha disminuido un 2,6% en 2018 con relación a 2017. Si se analizan todos los países se tiene que, Chipre y Eslovenia arrojan los valores más elevados del cambio producido en la productividad total de los factores. En el caso de Eslovenia, por ejemplo, ese valor de 1,041 se interpreta como un aumento del 4,1% en la *PTF*, como resultado de un incremento también en la eficiencia técnica del 2,7% y de la tecnología en un 1,4%. Es importante señalar que cuando se hace referencia a la tecnología se está teniendo en cuenta que la misma se establece partiendo de un conjunto de *DMU_s* que se comparan unas con otras y a partir de las cuales se estima una frontera eficiente que se va desplazando a lo largo del tiempo.

En los años 2018-2019 se produce una disminución media de la productividad total de los factores del 3,8%, aún mayor que la ocurrida en el período anterior. En el caso de Hungría, el cambio en la productividad total de los factores fue mayor que en el resto de países; el crecimiento de un 11,9% se debe a un incremento en la eficiencia técnica de un 12,2%.

Analizando los cambios en la eficiencia técnica y la tecnología de cada uno de las unidades de toma de decisión se observa que, en el primer período de estudio (2017-2018), los países de Austria, Chipre, Dinamarca y Eslovenia registran incrementos positivos en la eficiencia técnica al ser este valor mayor que la unidad, indicando que se están acercando a la frontera eficiente. En los años 2018-2019, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Letonia, Lituania, Malta y Polonia son los que arrojan un valor del indicador de cambio en la eficiencia técnica mayor que 1.

Por otro lado, la mayor cantidad de cambios tecnológicos se registran en el período comprendido por los años 2017 y 2018, pues 9 países (Bulgaria, Croacia, Chipre, Estonia, Grecia, Polonia, Portugal, Eslovenia y Suecia) registran índices de cambios en la tecnología que son superiores a la unidad.

Otra información que brinda el software DEAP empleado, es el resumen de los valores correspondientes a los tres indicadores para cada país durante los dos intervalos de tiempo considerados, así como el valor de las medias de los mismos.

Según la información reflejada en la tabla 10, la media del cambio en la productividad total de los factores durante todo el período de estudio es de 0,968. Ello significa que se ha producido un decrecimiento del 3,2% debido a una disminución en la eficiencia técnica media y en la tecnología de 0,6% y 2,8% respectivamente.

Tabla 10: Resumen de los cambios en los índices de eficiencia técnica, tecnología y productividad total en todo el período (2017-2019).

	<i>C_ET</i>	<i>C_T</i>	<i>C_PTF</i>
<i>Austria</i>	1.001	0,975	0,933
<i>Bélgica</i>	0,977	0,952	0,917
<i>Bulgaria</i>	0,973	0,987	0,961
<i>Croacia</i>	0,98	0,98	0,96
<i>Chipre</i>	1.025	0,983	1.008
<i>República Checa</i>	0,998	0,979	0,977
<i>Dinamarca</i>	0,987	0,955	0,926
<i>Estonia</i>	1.000	0,976	0,976
<i>Finlandia</i>	0,997	0,984	1.035
<i>Francia</i>	1.004	0,96	0,974
<i>Alemania</i>	0,999	0,969	0,954
<i>Grecia</i>	0,965	0,972	0,938
<i>Hungría</i>	1.048	0,988	1.036
<i>Irlanda</i>	1.000	1.001	1.001
<i>Italia</i>	1.037	0,988	0,979
<i>Letonia</i>	1.000	0,929	0,929
<i>Lituania</i>	0,981	1,090	1.039
<i>Luxemburgo</i>	1.000	0,951	0,951
<i>Malta</i>	1.016	0,963	0,979
<i>Países Bajos</i>	1.000	0,978	0,978
<i>Polonia</i>	0,998	0,986	0,966
<i>Portugal</i>	0,964	0,981	0,923
<i>Rumanía</i>	0,932	1.004	0,935
<i>Eslovenia</i>	0,98	0,939	0,957
<i>España</i>	0,995	0,973	0,969
<i>Suecia</i>	1.000	0,978	0,978
Media	0,994	0,972	0,968

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados arrojados por software DEAP.

Por otra parte, si el valor del cambio en la productividad total es superior a la unidad, significa que el país ha realizado progresos en función de aumentar los productos científicos y tecnológicos y la creatividad en línea. En esta situación se encuentran Chipre, Hungría, Irlanda y Lituania; y a su vez se puede identificar, como se ha interpretado anteriormente, si dichos cambios de han producido debido a incrementos en la eficiencia técnica o son resultado del cambio tecnológico.

CONCLUSIONES

La generación de innovaciones se ha convertido en un elemento fundamental para las economías que persiguen crecer y desarrollarse en un mercado cada vez más competitivo. Sin embargo, no es suficiente con generar y difundir el conocimiento, es necesario que este proceso innovador tenga un verdadero impacto en la sociedad. A pesar de la importancia del tema y el consenso que existe sobre el papel determinante de la innovación en el desarrollo de las naciones, la cuantificación del uso eficiente de los recursos empleados en el proceso de creación, difusión e impacto, ha recibido poca atención desde el punto de vista de un análisis global.

La medición de la innovación se realiza fundamentalmente considerando solo algunos elementos que integran el proceso, o basados en índices que se establecen a partir del promedio de los valores arrojados por un conjunto de indicadores establecidos. Sin embargo, se ha demostrado que no es suficiente, ya que un aumento de los recursos de entrada del proceso, no necesariamente significa un incremento en los *outputs* de este; para ello, es necesario medir la eficiencia de los mismos.

El objetivo perseguido con esta investigación se cumplió, se propuso una metodología basada en el uso de la herramienta estadística no paramétrica DEA, muy útil para realizar cálculos de eficiencia y, se aplicó al Índice Global de Innovación por ser el índice que se emplea actualmente que mejor engloba todos los elementos que integran el proceso de innovación.

Se identificó la eficiencia respecto a la creación de productos científicos y tecnológicos y productos creativos de los 27 países que forman parte de la Unión Europea, con excepción de Eslovaquia por contener valores perdidos dentro de la muestra. Dentro de los hallazgos más importantes se puede concluir que, si aún hace falta mejorar el proceso y modificar algunas variables que influyen en el mismo, la mayoría de los países de la UE están cerca de lograr ser eficientes en el uso de sus *inputs* como reflejan los resultados obtenidos en el índice de eficiencia de escala en cada uno de los años de estudio.

También se comprobó como, cuando la frontera eficiente se construye bajo rendimientos variables de escala (modelo BCC-O) excluyéndose los efectos de la escala, se obtuvo que la mayoría de los países mejoraron sus niveles de eficiencia y que algunos de estos se convirtieron en eficientes. En ambos casos significa que un porcentaje de las ineficiencias iniciales de estos países, eran consecuencia de la escala de producción a la que se encontraban. Por otra parte, resultó ser que los países con lo que se construyó la frontera eficiente coincidiendo en los tres años y, para los dos modelos estudiados, fueron Irlanda, Luxemburgo, Países Bajos y Suecia coincidiendo con ser países que se encuentran en las primeras posiciones en el ranking que se elabora del Índice Global de Innovación.

Por último, se aprovechó la información con la que se contaba perteneciente a datos de varios períodos de tiempo y, se empleó para estudiar los cambios en los niveles de eficiencia en el tiempo a través del cálculo de los índices de Malmquist y la descomposición del mismo en

cambios de eficiencia técnica y desplazamiento de la frontera, llamados también cambios tecnológicos.

Como recomendación se propone realizar este estudio incrementando el número de países, analizando los que conforman la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) o los países de América Latina y realizar comparaciones de los resultados obtenidos. Se pudiera además aumentar el número de períodos de tiempo con el propósito de tener un panel más grande de datos y explotar la información histórica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aghion P., Blundell R., Griffith R., Howitt P. y Prantl S. (2009). *The effects of entry on incumbent innovation and productivity*. The Review of Economics and Statistics N°91 (1), páginas 20-32.
2. Andersen P. y Petersen N.C. (1993). *A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis*. Management Science N°39, páginas 1261-1264.
3. Ares. (2019). *Cuadro Europeo de Indicadores de la Innovación*. 4034096 - 25/06/2019
4. Banker, R.D., Charnes A. and Cooper W.W. (1984). *Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis*. Manage. Science N°30, páginas 1078-1092.
5. Caves D.W., Christensen L.R. y Diewert W.E. (1982). *The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity*. Econometría 50, páginas 1393-1414.
6. Charnes A. and Cooper W.W. (1962). *Programming with Linear Fractional Functionals*. Naval Res. Logist. Quart., 9, 181-186.
7. Charnes, A., Cooper, W. y Rhodes, E. (1978). *Measuring the efficiency of decision-making units*. European Journal of Operational Research.
8. Charnes A., Cooper W.W., Golany B., Seiford L. and Stutz J. (1985). *Foundations of Data Envelopment Analysis for Pareto-Koopmans Efficient Empirical Production Functions*. J. Econometrics N°30, páginas 91-107.
9. Cooper, W., Seiford, L. y Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Springer Science and Business Media, Edición N°2. Número de control: 2006932712.
10. Colectivo de autores. (2011). *El índice mundial de innovación: perspectivas y tendencias*. Revista de la OMPI, 4/2011.
https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2011/04/article_0005.html
11. Dutta S., Lanvin B. y Wunschn-Vincent S. (2016). *The Global Innovation Index 2016. Winning with Global Innovation*. OMPI-Universidad de Cornell- INSEAD. Ginebra, Suiza.
12. Dyson, R. G., Allen, R., Camanho, A. S., Podinovski, V. V., Sarrico, C. S. y Shale, E. A. (2001). *Pitfalls and protocols in DEA*. European Journal of Operation Research, página 132.

13. Fagerberg J., Mowery D. y Nelson R.R. (2005). *The Oxford Handbook of Innovation*. Edición N°1. Nueva York: Oxford University Press.
14. Fare R. y Grosskopf S. (1992). *Malmquist Indexes and Fisher Ideal Indexes*. The Economic Journal N°102, páginas 158-160.
15. Farrel M., 1957. *The Measurement of Productivity Efficiency*. Journal of the Royal Statistical Society N°120 (3), páginas 254-290.
16. Ferranti D., Perry G., Gill I. et al. (2003). *Cerrar la brecha en educación y tecnología*. Banco Mundial-Alfaomega. Bogotá, Colombia.
17. Foodi M. y Usai S. (2013). *Regional knowledge performance in Europe*. Growth and change N°44 (2), páginas 258-286.
18. Gao W. y Chou J. (2015). *Innovation efficiency, global diversification and firm value*. Journal of Corporate Finance N°30 (2), páginas 278-298. Ámsterdam, Holanda.
19. Gibbons M. et al. (1997). *La nueva producción de conocimiento: La dinámica de la ciencia y la innovación en las ciencias contemporáneas*. Ediciones Pomares-Corredor S.A. Barcelona, España.
20. Godin B. (2008). *Innovation: The History of a Category*. Project on the Intellectual History of Innovation Working Paper N°1. Montreal, Quebec.
21. Guang J. y Wang J. (2004). *Evaluation and interpretation of knowledge production efficiency*. Scientometrics N°59 (1), páginas 131-155, Springer. Berlín, Alemania.
22. Hollanders H. y Celikel F. (2007). *Measuring innovation efficiency*. Innometrics y University of Maastricht. Limburgo, Países Bajos.
23. Johnes J. y Johnes G. (1995). *Research funding and performance in U.K. University Departments of Economics: a frontier análisis*. Economics of Education Review N°14 (3), Elsevier, páginas 301-314. Ámsterdam, Holanda.
24. Juste J.J. (2020). *Innovación y Territorio en España: el caso de Castilla y León*. Presentación Máster Economía y Desarrollo Territorial. Jaén, España.
25. Pakka K., Tainio R. y Wallenius J. (2001). *Value efficiency analysis of academic research*. European Journal of Operational Research, Vol.130, páginas 121-132. Elsevier. Ámsterdam, Holanda.
26. Malmquist S. (1953). *Index Numbers and Indifference Surfaces*. Trabajos de Estadística No. 4, páginas 209–242.

27. Mansfield E. (1986). *Patents and Innovation: an Empirical Study*. Management Science N°32 (2), páginas 173-181.
28. MEMO/782. (2013). *New indicator of innovation output*. Comisión Europea. Bruselas, Bélgica.
29. Nelson R.R. (1959). *The simple economics of basic scientific research*. Journal of Political Economy N°67, páginas 297-306.
30. OCDE (2015). *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. Publicado por acuerdo con la OCDE, París, Francia. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012-en>
31. OCDE. (2018). *Oslo Manual: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation*. Edición N°4.
32. Restrepo M. y Villegas J. (2007). *Clasificación de grupos de investigación colombianos aplicando Análisis Envolvente de Datos*. Revista Facultad de Ingeniería N°42, páginas 105-119. Universidad de Antioquia. Antioquia, Colombia.
33. Schumpeter J.A. (1935). *The theory of economic development*. Edición en inglés. London: Transaction Publishers.
34. Tamayo M. (1997). *El análisis de las políticas públicas*. Capítulo 11 en Bañón R. y Castillo E. *La nueva Administración Pública*. Alianza Editorial. Madrid.
35. Thrall R.M. (2000). *Measures in DEA with an Application to the Malmquist Index*. Journal of Productivity Analysis N°13, páginas 125-137.
36. Zabala J.M., Voigt P. y Gutierrez A. (2007). *Regional Innovation Systems: How to Assess Performance*. Regional Studies N°41 (5), páginas 661- 672.