

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES



MÁSTER EN EMPRESA Y TECNOLOGÍAS DE LA
INFORMACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER

“TICS Y EFICIENCIA TÉCNICA PRODUCTIVA EN LOS
PAÍSES DEL OCDE”

“ICTS AND TECHNICAL EFFICIENCY IN THE OCDE
COUNTRIES”

Autor

Autor: D. Benito Díaz Medina

Director: Dr. Daniel Pérez González

Codirector: Dr. Pablo Coto-Millán

Santander, 16 de julio, 2015

Índice

Resumen.....	2
Summary.....	3
1. Introducción.....	4
2. Objetivos.....	6
3. Revisión de la Literatura	7
4. Métodos analíticos para medir la eficiencia	9
5. Especificación del modelo teórico	15
6. Fuentes de datos y definición de datos	18
6.1. Procedencia de los datos	18
6.2. Definición de las variables de los datos	19
6.3. Estimación de la frontera estocástica.....	20
6.5. Factores determinantes de la eficiencia técnica.....	25
7. Conclusiones	26
8. Bibliografía	29

Resumen

Este trabajo se desarrolla desde un punto de vista empírico, en el cual se analiza la eficiencia técnica de los países de la OCED teniendo en cuenta la inversión en TIC, un análisis en profundidad de la eficiencia utilizando un modelo paramétrico que contempla los cambios en el tiempo, así como la descomposición del error, en ineficiencia y ruido blanco. Se analizan si tienen relación una alta inversión en Tecnologías de la Información y Comunicación con la eficiencia de los países, y se determinan los factores de la ineficiencia.

Por otra parte, se han utilizado los datos de 34 países, y se han tomado en cuenta las variables macroeconómicas de la inversión en TIC. Se ha estimado la eficiencia técnica sobre la base de datos de panel comprendidos entre 2004-2013. Los datos utilizados en este estudio corresponden al Banco Mundial, y están deflactados en base al año 2004.

Se utiliza la función de la frontera estocástica empleada por Battese y Coelli (1995), en la cual se considera una función de producción translogarítmica, en esta se modifica el modelo que define la ineficiencia técnica y se contempla el efecto del tiempo. Para definir el modelo de la frontera estocástica de producción se ha utilizado el modelo de crecimiento económico endógeno de Mankiw, Romer y Weil (1992), donde se considera que existe un solo bien, que es el Producto Interior Bruto del país (Output), y las variables que explican este modelo son el capital físico, y el capital humano (que se aproxima mediante los investigadores en investigación y desarrollo). Además de la frontera de producción propuesta se han calculado los factores de la ineficiencia técnica en una única ecuación por el método de estimación de máxima verosimilitud.

Para el cálculo de la eficiencia técnica en este trabajo se va a usar el paquete Frontier del software estadístico R.

Palabras clave: Eficiencia técnica, OCDE, TICS, ineficiencia, estocástica.

Summary

This work is developed from an empirical point of view, in which the technical efficiency of OECD countries is analyzed considering investment in ICT, in-depth analysis of efficiency using a parametric model that considers the changes time and the error decomposition in inefficiency and white noise. They analyze if they have a high investment ratio in Information Technologies and Communication with the efficiency of countries and inefficiency factors are determined.

Moreover, we have used data from 34 countries and have taken into account the macroeconomic variables of ICT investment. It has been estimated technical efficiency based on panel data ranging from 2004 to 2013. The data used in this study for the World Bank, and are deflated based on the year 2004.

Stochastic function frontier employed by Battese and Coelli (1995), which is considered a function translogarithmic production in this model that defines the technical inefficiency of time and the effect contemplated is modified is used. To define the model of stochastic frontier production has used the model endogenous economic growth of Mankiw, Romer and Weil (1992), where it is considered that there is only one good, which is the GDP of the country (Output) Product, and the variables that explain this model are physical capital, and human capital (which is approximated by researchers in research and development). In addition to the production frontier proposed factors, have been calculated technical inefficiency in only one equation with the method of maximum likelihood estimation.

For the calculation of the technical efficiency in this work there is going to be used the package Frontier of the statistical software R.

Key words: Technical Efficiency, OECD, TICS, inefficiency, stochastic.

1. Introducción

Los crecientes cambios en las tecnologías de la información nos han hecho plantearnos si realmente son eficientes estas tecnologías en los países, y cuáles son los factores que más influyen, y sus determinantes.

La revolución de la tecnología empezó en 1969 cuando Marcian Edward Hoff -Ted Hoff- contribuyo a la idea de la arquitectura del primer microprocesador, que años más tarde hizo que Federico Faggin se embarca en el primer microprocesador comercial-MCS-4- que daría inicio a una revolución. En el año 1973 Robert Metcalfe desarrollo la red más popular de trabajo en el mundo la red Ethernet, que da lugar años más tarde a la invención de la red Wi-Fi Alliance. En 1975 aparece el primer ordenador personal que se fabrica en producción masiva, año de la fundación de Microsoft por William H. Gates y Paul Allen. En 1969 el departamento de defensa de los Estado Unidos crea la red ARPANET, que daría paso a que en 1982 se creara el protocolo TCP/IP para la comunicación del ejército, protocolo estándar de comunicación de internet que da lugar al protocolo actual de comunicación. En 1989 el correo electrónico empezó a coger auge en internet a manos de la empresa CompuServe -primer proveedor de telecomunicaciones-. En 1990 Timothy John Berners-Lee logra establecer la primera conexión entre cliente-servidor, año en que nació la World Wide Web (Carr et al. 2005).

La evolución del hardware ha tenido un crecimiento tan rápido que Gordon E. Moore (1965) crea la ley de Moore, esta dice que el número de transistores que pueden colocarse en un chip de silicio se doblara cada dos años, la ley afecta a cada componente de un computador, como los procesadores, la memoria, Moore afirmo que esta tendencia se mantendrá hasta el 2015 aproximadamente, esta ley afirma que las prestaciones de los nuevos ordenadores son cada vez mayores a la vez que los precios cada vez son más bajos.

La creación de la red de internet con ordenadores cada vez más veloces ha facilitado el trabajo de las empresas, siendo estas más eficientes y abaratando costes. Pero el crecimiento de la tecnología muchas veces va más allá de las necesidades de las empresas y la complejidad hace que la curva del aprendizaje sea muy alta o muchas veces esta no sea empleada de manera eficiente, infrautilizando su capacidad. Hay ciertos autores que estudian cual es el impacto de estas tecnologías en el mundo;

“El ritmo del progreso tecnológico en los productos a menudo excede el valor de las mejoras que los clientes exigen o puede asimilar. Esto quiere decir que los productos, cuyas características y funcionalidad satisfacen las necesidades actuales de los usuarios, a menudo siguen una trayectoria ascendente en la cual superan las futuras necesidades del Mercado. Y los productos que hoy están por debajo de las expectativas de los usuarios en los principales mercados, mañana pueden llegar a ser completamente competitivos”.

-Clayton Christensen (pag.13)

La evolución de la red y el hardware siguió una línea distinta que la del software, cuando las empresas tenían que desarrollar sus propios softwares a medida un proceso bastante costoso. Cuando la empresa crecía las líneas de código también por lo que tener a un trabajador desarrollando código era una inversión enorme, esto hizo que crecieran nuevas empresas que se dedicaran a crear software para las empresas, en el año 1957 había menos de 20000 programadores profesionales en el mundo, en

el año 2014 la empresa consultora IDC¹ estimo en 18,5 millones los desarrolladores de software en el mundo, de los que 11 millones son desarrolladores como actividad principal, el sector de la programación ha tenido un crecimiento exponencial y se espera que siga así (Brooks , Carr, 1987,2005).

The Boston Consultin Group estimo que para el año 2016 la mitad de la población mundial seria usuarios de internet, un negocio que factura en el G-20 aproximadamente \$4,3 millón de millones.

En los países del OCDE al menos tres cuartas partes de los negocios, que tienen 10 o más trabajadores, están conectados a una banda ancha de alta velocidad.

En el 2010 la prioridad de las políticas de las Tecnologías de la información y comunicaciones (en adelante TICS) más importantes eran, la seguridad de la información, la banda ancha de internet, los programas de investigación y desarrollo, el e-gobierno(es decir, la accesibilidad del gobierno) y las redes de innovación y clusters. En el año 2009, las empresas que más dinero invertían en investigación y desarrollo de TICS, eran Microsoft, Nokia, Samsung Electronics, IBM e Intel. Y las empresas que más gastan en investigación y desarrollo eran Google, Research in Motion, Marvell Technology Group, Ebay y Hon Hai Precision industry (OCDE, 2010).

En el mundo como en el los países del OCDE, se empieza a intensificar nuevas tecnologías de la información como puede ser el Cloud computing, el Big data, e-Goverment y el comercio electrónico entre otras. También se está trabajando en el protocolo de internet versión 6 dado al incremento y la necesidad de adaptarse ya que cuando se creó la versión de IPV4 no se esperaba que fuese a tener tan buena aceptación por el mercado, ahora existe una necesidad hacia emigrar aunque existen bastantes dificultades.

El cloud computing es un servicio en el que muchas empresas se están moviendo, algunas con la utilización de ERP en la nube lo que les permite una mayor flexibilidad y solo consumen lo que utilizan y no deben de hacer costosas instalaciones como los ERP tradicionales pero para esto es importante una conexión a banda ancha rápida. Aun así se ve una fuerte tendencia en la sociedad hacia la migración de datos a la nube por las oportunidades que este servicio aporta, como pueden ser servicios como Dropbox o Google drive.

El 14,9% del total de suscripciones a banda ancha involucran el uso de fibra óptica, pero la inversión en algunos países del OCDE es menor del 1% y en otros cercano al 70%, como es el caso de países como Japón. Las principales barreras que frenan que se utilice la fibra óptica, es su elevado coste. En los países del OCDE solo el 6% de la población esta categorizada con habilidades de alto nivel en el uso de herramientas TICS. Los principales puestos de trabajo donde se emplean las TICS por industrias son; la Sanidad, la asistencia social, los servicios de educación, manufactureras y la administración pública (OCDE, 2014).

Según CISCO, la velocidad de banda ancha será del doble en el 2019 en comparación con el 2014, el crecimiento en el tráfico de IP en el periodo 2014-2019 en internet será del 23% y un 57% en los datos para móvil, que en el caso de tráfico para negocios este se prevé que tendrá un incremento del 51%. La conexión inalámbrica de internet es uno de los segmentos donde más crecimiento se experimentara.

¹ Principal proveedor mundial de inteligencia de mercado, consultoría en servicios de la información, telecomunicaciones etc.

El mundo de las TICS es un mercado muy amplio, con innumerables aplicaciones que serán claves en la eficiencia de un país según un informe de OBS en un minuto se hacen 4,1 millones de búsquedas en google, se descargan 194,064 aplicaciones, se consulta 438,801 veces la Wikipedia, se comparten 3,3 millones de elementos en Facebook, se visualizan 10 millones de anuncios, se transfieren cerca alrededor de 1,572,877 GB de datos. En un segundo se envían 2.370.295 emails, se hacen 8,551 tweets, 1,661 llamadas en Skype y se ven más de 95,728 videos en YouTube.

Se prevé que el mercado se mueva hacia el Internet de las cosas, es decir, dispositivos inteligentes interconectados como podrían ser la domótica, el control electrónico de los hogares, todo ello conectado por smartphones, tablets, ordenadores. Existe una gran tendencia hacia la utilización de identificadores de radiofrecuencia en diversas aplicaciones como las tecnologías NFC en los móviles como sistemas de pago o los ibeacons². En los modos de pago han empezado a crecer nuevos sistemas de pago como pueden ser los bitcoins una moneda descentralizada que permite el pago de manera anónima.

Una de las razones por las cuales es importante analizar la eficiencia técnica de las empresas con las TICS, son los pocos estudios que hay de estas, por lo que no se ha llegado a analizar a fondo la influencia de los factores TIC que tienen una dependencia fuerte con la productividad, decía el economista Solow (1987) en la famosa paradoja de la productividad que “Uno puede ver la era de informática en todas partes, excepto en las estadísticas de productividad”. Una frase que origino debate y años más tarde hizo que se replanteara esa paradoja. Pero son pocos los estudios que analizan la eficiencia, y menos los que las relacionan con las TICS. Fernández, López, Rodríguez, Sandulli (2007) analizaron el efecto de las tecnologías de la Información con la base de datos SABI para las empresas de España, utilizando un modelo no paramétrico en este caso el DEA –Data Envelopment Analysis-. En este trabajo se quiere ampliar a el mundo, y centrarlo en los países pertenecientes a la organización de los países para el desarrollo económico, y utilizar un modelo paramétrico, estructurado para tener unos resultados con entereza.

Con esta motivación y en este ámbito se escribe este trabajo fin de master que forma parte de un proyecto más amplio, sobre estudios más a profundidad acerca del impacto de las TICS en el mundo, en las empresas y en la sociedad.

2. Objetivos

El objetivo general de la presente investigación es llevar a cabo un estudio que nos permita evaluar e identificar los factores determinantes de la eficiencia técnica productiva de los países de la OCDE con la inversión y utilización creciente de las tecnologías de la información y comunicación.

Del objetivo global anterior se desglosan los siguientes objetivos específicos;

De forma teórica;

- Definir el modelo de eficiencia técnica que se propone para analizar tal relación.
- Definir la hipótesis pertinente que será contrastada de manera empírica.
- Cuáles son los antecedentes de la literatura sobre la eficiencia técnica y una descripción de mi modelo basado en la literatura.

² Transmisores de bajo consumo y con un alcance medio de datos, a partir de bluetooth inteligente.

- Programar en el estadístico R, lo plasmado en el modelo teórico.

De forma empírica;

- Determinar si la eficiencia técnica en los países de la OCDE.
- Plasmar las conclusiones de dicho estudio y detallar las futuras líneas de investigación.
- Identificar el impacto de las Tecnologías de la información y comunicación en la economía productiva de los países de la OCDE.

3. Revisión de la Literatura

En este apartado se aportaran los principales autores que han trabajado en la productividad de las TICS en la organización empresarial como se puede observar en la tabla 1, y después se analizaran los autores con estudios de eficiencia técnica y productividad de las Tecnologías de la Información y Comunicación.

Tabla 1: Artículos y Libros

Autor	Artículo/Libro	Conclusiones
Drucker (1993)	<i>La sociedad pos-capitalista</i>	Era del conocimiento, donde los polos más importantes son la “productividad” y la “innovación tecnológica”.
Silverstone R. & Haddon L. (1996)	<i>Design and the Domestication of ICTs: Technical Change and Everyday Life</i>	Innovación va más allá de I+D, la ingeniería es un paso y el consumo y el uso de productos es la esencia de la innovación.
Paul Hendriks (1999)	<i>Why share Knowledge? The influence of ICT on the Motivation for Knowledge Sharing</i>	El intercambio de conocimiento mediante las TICS y la eficiencia de estas puede variar dependiendo de la cultura empresarial, las preferencias personales y la motivación.
Richard Heeks (2010)	<i>Do information and communication Technologies (icts) contribute to development?</i>	No todas las iniciativas en las TICS tienen éxito. Pero las investigaciones en la cadena de valor: Infraestructuras, accesibilidad y uso. Nos han Hecho ver que las TICS nos ayudan a hacer dinero y ahorrarlo, los estudios de costo-beneficio son escasos pero los que hay nos han hecho ver como hay un retorno positivo del dinero.
Ana gargallo-Castel & Carmen Galve (2012)	<i>The impact of ICT on productivity: The moderating role of worker quality and quality strategy</i>	La productividad aumenta cuando las organizaciones combinan las TICS con un control de calidad, también la productividad aumenta cuando los trabajadores tienen un alto nivel de formación.
Brynjolfsson E., McAfee A. & Spence M. (2014)	<i>New World Order</i>	La automatización de los procesos productivos, la sustitución de la mano de obra barata por maquinas. Afectará en un futuro más a las personas menos cualificadas. En un mundo que tiende a la digitalización, la revolución digital está transformando el mercado, al igual que la educación.

Bauer (1990) en presencia de la ineficiencia de costes, de rendimientos a escala no constantes y del progreso tecnológico e innovador, descompone los factores que afectan a la productividad total y al crecimiento económico. Färe (1994) desarrolla más a fondo el progreso tecnológico, y la productividad.

Oliner et al. (1994), desarrollaron una serie de artículos sobre la relación de las Tecnologías de la información y la productividad, con resultados poco alentadores, los estudios trataban de reflejar si el impacto positivo que tienen las TICS con la innovación tiene influencia en la macroeconomía. Pero debido a la poca proporción de TICS en la economía, los resultados concluían en que el impacto era mínimo.

A inicios de los años noventa el precio de las Tecnologías de la Información y Comunicación disminuyeron por lo que muchas empresas se modernizaron, lo que facilitó que autores como Brynjolfsson et al. (1996 y 2000) encontraran señales de que las TICS tenían un impacto microeconómico notable, la productividad trabajo era evidente, y además estos estudios también reflejaban un crecimiento macroeconómico. Pese a que la revolución industrial de las tecnologías comenzó en la década de los años sesenta, el elevado coste y el desconocimiento por parte de las empresas por no adquirir TICS, hicieron que no se pudieran analizar estudios del impacto de las Tecnologías de la Información y comunicación hasta finales del siglo XX.

Schreyer (2000) analiza el impacto de las TIC al crecimiento económico de la OCDE en el año 1996, y concluyen que existe un impacto tecnológico evidente.

Dedrick et al. (2003) obtiene que las empresas tienen una rentabilidad positiva en promedio en las inversiones TIC, y concluye que la paradoja de Solow (1987) ha quedado resuelta. Por otra parte, autores como Liman et al. (2004) utilizan las variables de la eficiencia productiva, la productividad total de los factores, y los factores de acumulación para explicar el crecimiento económico.

Lam et al. (2010) a través de un estudio de sección transversal con seis constructoras, mediante entrevistas con los desarrolladores y usuarios de las TIC, calculan la eficiencia técnica y concluyen que no se puede juzgar el avance de las TIC simplemente considerando el avance de hardware y software como medios eficientes para automatizar las tareas. Pero se destaca que aunque las TIC están integradas en las organizaciones muchas veces el costumbrismo disminuye la productividad y eleva los costes, ya que muchos directivos en la toma de decisiones dependen de copias impresas.

Alonso et al. (2010) hace una frontera de producción estocástica para 19 países de la Unión Europea, con datos de sección cruzada, utilizando enfoques estocásticos y aplicando el índice de Malquist. Las conclusiones que se sacan es que la capacidad del gobierno para invertir en stock neto es fuertemente influyente en la ineficiencia del país.

Castiglione et al. (2012) utilizan un dato de panel de empresas manufacturas italianas en el periodo 1995-2006 y hacen una distinción en el estudio de la frontera estocástica de lo que es TIC y de lo que no, también separando la mano de obra altamente cualificada de la mano de obra poco cualificada. El estudio refleja lo esperado que la elasticidad de la mano de obra cualificada es más alta que los de la mano de obra de baja cualificación, como otros estudios se concluye que el impacto de la TICS reducen la ineficiencia técnica.

Oliveira-Pires et al. (2012) estiman una función de producción mundial para 75 países en un largo periodo temporal y concluyen sobre cuáles son las variables determinantes en la ineficiencia técnica de los países.

Magaji et al. (2013) examinan la eficiencia técnica de dos Tecnologías de la Información y Comunicación, la conexión a internet de forma inalámbrica y por cable, teniendo una eficiencia técnica media del 0,914 y 0,797 respectivamente.

Como hemos podido observar son diversos los estudios sobre la productividad en la organización empresarial y escasos los que utilicen la metodología de eficiencia técnica por métodos paramétricos estructurados para analizar las TICS. Otros estudios utilizan métodos no paramétricos como al análisis envolvente de datos –DEA-, para analizar la eficiencia.

Una vez justificada la importancia de estos estudios y como es necesario un estudio de la eficiencia en profundidad, así como como los factores determinantes de esta, y más en momentos como los actuales en los que las perturbaciones económicas siguen latentes, se ha planteado la siguiente hipótesis nula.

H_0 : La eficiencia de los países viene determinada por la inversión de estos en las tecnologías de la información y comunicación.

4. Métodos analíticos para medir la eficiencia

La eficiencia técnica en una empresa es el aprovechamiento máximo de los recursos de los que dispone una empresa, en otras palabras es tratar de evitar el despilfarro de los recursos y poder saber qué cosas nos hacen más o menos eficientes a la hora de producir un bien (Koopmans, LeBel & Stuart, 1951, 1998).

Hay distintas técnicas para la medición de la eficiencia, los modelos de no frontera son aquellos más típicos de la empresa como pueden ser los índices de productividad y el análisis de ratios, los cuales son métodos poco potentes.

En los modelos frontera estos se pueden dividir en dos grupos los métodos paramétricos o no paramétricos con los distintos tipos de análisis que se detallan en la Tabla 2, en este estudio nos centraremos principalmente en los métodos paramétricos.

En los métodos paramétricos estos se subdividen en dos categorías, métodos determinísticos que pueden ser por técnicas matemáticas o econométricas y métodos estocásticos en los que se estudia principalmente la estimación de la frontera estocástica (SFA³), pero hay otras técnicas como la distribución libre de aproximación (DFA⁴) y el enfoque de frontera de espesor (TFA⁵).

Los métodos paramétricos requieren una especificación de los parámetros de la frontera de producción, mientras que los no paramétricos requieren la especificación de una serie de condiciones frontera, estos a su vez se subdividen en métodos radiales y no radiales.

³ Stochastic frontier approach

⁴ Distribution free approach

⁵ Thick frontier approach

Tabla 2. Métodos analíticos para la eficiencia y la medición de la productividad

	Paramétricos	No Paramétricos
Determinístico	<ul style="list-style-type: none"> Métodos paramétricos de programación. Análisis de las fronteras determinísticas. 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis envolvente de datos.
Estocástico	<ul style="list-style-type: none"> Análisis estocástico de las fronteras. 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis envolvente de datos estocásticos.

Fuente: Hollingswoth et al. 1999

4.1 Métodos no paramétricos

Los métodos paramétricos se dividen en dos subgrupos, por un lado tenemos los métodos radiales y los no radiales.

En los radiales se puede calcular la eficiencia por métodos convexos como el análisis envolvente de datos (en adelante DEA) y por métodos no convexos como el Free disposal hull (FDH). Las ventajas de las técnicas radiales es que se pueden incorporar datos de distintas medidas al estudio. Farrell (1957) fue el primero en proponer los métodos radiales, pero la evolución de estos se ha dirigido más hacia los análisis envolventes de datos, que a los métodos paramétricos.

En los convexos el análisis envolvente de datos (DEA), es uno de los métodos preferidos para el cálculo de la eficiencia dada su sencillez ya que no es necesario especificar una función de producción concreta, este modelo emplea la programación matemática para medir la eficiencia técnica. Pero a diferencia del modelo que en este estudio se va a realizar, el método DEA es incapaz de distinguir las variaciones del modelo que se deben al ruido blanco y las que se deben a la ineficiencia.

El modelo de DEA fue desarrollada por Charnes, Cooper y Rodhes (1978), que parte del modelo de Farell (1957), siendo una aplicación para múltiples outputs, con rendimientos constantes a escala y convexa.

Banker, Charnes y Copper (1984) eliminan los rendimientos constantes a escala, creando un modelo con mayor flexibilidad a la nube de puntos. Se pueden catalogar los métodos DEA en dos grupos una en el campos de los Output y la otra en la de los Inputs.

En el análisis envolvente de datos se ha desarrollado el CRS que se encuentra bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, siendo un método input-output, este método contempla que la producción cambiara en la misma proporción que los insumos productivos, este supuesto se suma al VRS variables de rendimientos de escala, que afecta en las secciones cruzadas de datos a las unidades de producción o toma de decisiones (en adelante DMU).

Cada unidad en la toma de decisiones (DMU) bajo el modelo de variables de rendimientos a escala (VRS), con la restricción de eficiencia de los rendimientos constantes a escala (CRS) se mide bajo la maximización del modelo, o lo que es lo mismo matemáticamente mediante coordenadas cartesianas.

También existen otros supuestos en el DEA como puede ser por métodos aditivos, multiplicativos, infinitesimal no arquimediano y restrictivo de pesos entre otros.

En los métodos no convexos tenemos el Free Disposal Hull, este al igual que los métodos convexos tiene una orientación hacia los Inputs y otra dirigida a los Outputs.

La ventaja del FDH frente a los métodos convexos es que las unidades son las reales ya que no crea unidades imaginarias. Dada la naturaleza de los métodos convexos, se pueden dar situaciones en la que las variables sean imaginarias.

En los métodos no radiales, no se pueden utilizar variables de unidades de medidas distintas, algunos de estos métodos parten de ratios, tenemos el índice de Rusell, SBM (slacks-based measure), la medida de asimétrica de Farrell y la de Zieschang.

4.2 Métodos paramétricos

Debreu (1951) es el primer autor en construir una función de producción empírica de eficiencia que mediante los datos observados mida la utilización de los recursos. La medida en la que Debreu mide la eficiencia es por un coeficiente de utilización de recursos, este coeficiente depende de datos de preferencias individuales.

Por otra parte, los modelos de Debreu (1951) y Solow (1957) tienen distintas restricciones, por una lado el modelo de Solow es un modelo macroeconómico que asume el caso de competencia perfecta, y el de Debrau es un modelo microeconómico que no asume ningún cambio técnico (Santin, Ten Raa, 2003, 2004).

Debreu (1951) utiliza un coeficiente que depende de las preferencias individuales de los consumidores, él cree que este coeficiente es un medidor natural de la eficiencia, dicho coeficiente mide la (in)eficiencia de la asignación de los recursos en la economía mediante los inputs y outputs de los datos observados, la simetría del axioma establece que todos los productos deben de ser tratados por igual, lo que ocasiona que se prohíba dar prioridad a un producto sobre otro.

El coeficiente viene expresado en la expresión (1) siguiente;

$$\frac{P_X^1}{P_X^2} \quad (1)$$

Ó

$$p = \text{Max } p(z) * \frac{z}{p(z)} * z^0 \text{ Sujeto a } z \in B^{\text{min}} \quad (2)^6$$

Donde la expresión (1) y (2) son;

- P es el precio de los inputs que han sido usados en el proceso productivo.
- x^1 es la cantidad óptima de inputs.
- x^2 es la cantidad de inputs observados.

P_X^1 , es el coste asociado de una combinación de inputs que resultan eficientes mientras que P_X^2 es el coste de los inputs que han sido observados. El coeficiente P es un valor comprendido entre cero y uno, siendo uno la eficiencia completa.

El coeficiente de Debreu mide la ineficiencia técnica y asignativa tanto en la producción como en el consumo de los recursos en la economía, con tres variables fundamentales; recursos, tecnologías y preferencias. En el modelo de Debreu los

⁶ Partiendo que las preferencias son convexas y continuas, y que las posibilidades de producción tiene una forma convexa, entonces del teorema de separación de hiperplano se obtiene un vector de precios $p(z) > 0$ tal que $z' \in B$ implica que $p(z) * z' \geq p(z) * z$.

precios son una variable implícita. A diferencia del modelo de Farrell (1957) que omite la variable de precios, este define dos conceptos para la eficiencia: la eficiencia técnica y la eficiencia precio (Ten Raa, et al, 2004).

Farrell (1957) trabajó sobre el modelo de Debreu y definió un modelo alternativo, descomponiendo la eficiencia técnica y asignativa. Por un lado la eficiencia técnica, refleja la forma de maximizar la mayor cantidad de un recurso (Output), minimizando los recursos empleados (Input). La eficiencia asignativa es cuando una DMU logra optimizar sus outputs e inputs teniendo en cuenta beneficios y costes de estos.

El modelo de Farrell (1957) toma como referencia el coeficiente de utilización de recursos de Debreu (1951) y construye un modelo más global con un alcance mayor, que desde el punto de vista técnico y asignativo, la eficiencia presentaría una asignación.

El nivel de eficiencia viene expresado;

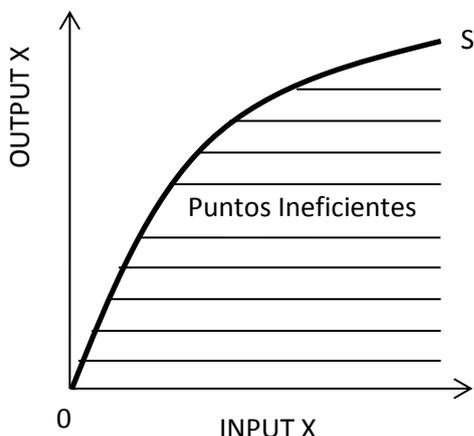
$$0 \leq ET = \frac{q_{y^1}}{q_{y^2}} \leq 1 \quad (3)$$

El concepto de eficiencia de Farrell se llega cuando se deriva el nivel óptimo de output dado por la función y^1 , que junto al output observado y^2 , y el precio dado por el output de q (Santin,2003).

Farrell en (3), comparaba la eficiencia de los outputs óptimos observados frente a los inputs óptimos observados. Esta función representa las relaciones técnicas de producción y a través de la misma es posible estimar el output máximo que puede ser obtenido mediante una combinación de los inputs. Las unidades eficientes se situaran en la frontera mientras que las ineficientes se situaran por debajo. Pero la ineficiencia será distinta dependiendo si nos encontramos en economías de escala o en des-economías de escala (Iráizoz et al. 1996).

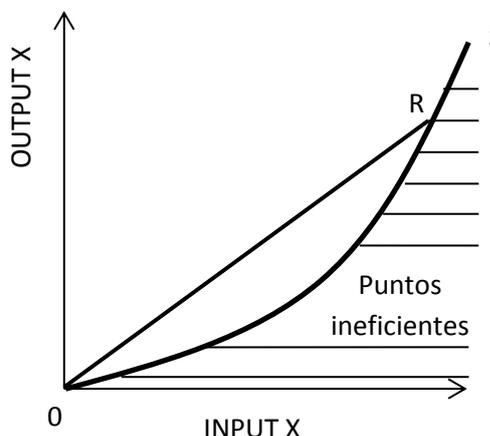
En el diagrama 1 se ilustran los dos casos con un input y un output. En el diagrama 1.a la función de producción S es convexa y la media entre los dos puntos es alcanzable, es decir, ineficiente. Pero en el caso de las economías de escala -1b- esto no es así, la media entre dos puntos no hace que los puntos por debajo sean ineficientes (Farrell, 1957).

Diagrama 1a. Des-economías de escala



Fuente: Farrell (1957:258)

Diagrama 1b. Economías de escala



4.3. Fronteras Determinísticas

En las fronteras determinísticas el término de error se encuentra recogido en la ineficiencia técnica. La función de producción Cobb-Douglas es un modelo utilizado para representar las relaciones tecnológicas entre dos o más variables. El enfoque paramétrico permite analizar la variación en el Output y los choques técnicos al azar ya que los modelos paramétricos permiten separar y analizar (Syed, 2014).

La función de la eficiencia es representada por una función de producción Cobb-Douglas con dos inputs;

$$x = AL_i^{\alpha_1} K_i^{\alpha_2} \quad (4)$$

Un nuevo modelo en la función de producción que contempla la ineficiencia estocástica está definida contemplando (4), la expresión viene expresada por (Zellner et al, 1966);

$$X_i = AL_i^{\alpha_1} K_i^{\alpha_2} e^{u_i}$$

Donde $e \leq 1$ representan la ineficiencia y u_i representa la perturbación aleatoria, el llamado ruido blanco, un error no observable.

Aigner y Chu (1968) añadieron un término de error no positivo, para que al calcular la frontera por mínimos cuadrados ordinarios, en ningún caso un punto (país) en la nube de puntos se situara por encima de esta, la expresión en logaritmos viene expresada;

$$\ln y_i = \ln f(x_i, \beta) e^{-u_i} \quad \text{siendo } u_i > 0$$

El problema del modelo planteado por Aigner y Chu (1968) es que este podría media la media de los países estudiados, pero en ningún caso nos podría la eficiencia técnica de los países.

Para el análisis de la eficiencia existen dos métodos, la utilización de mínimos cuadrados corregidos y los mínimos cuadrados modificados.

Por una parte, muchos utilizan la medida correctora de Green (1980) por mínimos cuadrados corregidos, de esta manera se pueden obtener los determinantes que afectan a la eficiencia de un modelo.

Nos podemos aproximar de distintos métodos pero en este análisis se trabajará con el modelo de Green (1980), para la función de producción se usan logaritmos, y esta viene expresada;

$$\ln y = \ln a + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 - e$$

La función de producción de Green (1980) produce estimaciones consistentes en los parámetros de la pendiente, a través de los mínimos cuadrados corregidos. La técnica que se usa en este modelo son los mínimos cuadrados ordinarios, que utiliza un modelo de regresión lineal y hace que el estimador sea insesgado de varianza mínima, siendo este método el de mayor verisimilitud. El término constante se corrige añadiendo el residuo positivo para obtener un estimador consistente (Iráizoz et al. 1996).

Pero el método de Green (1980) no es el único método, la eficiencia determinística también se puede por calcular los mínimos cuadrados modificados propuestos por Afriat (1972) y Richmond (1974), en este método se corrige el intercepto con el valor esperado del término del error. Por el método de mínimos cuadrados modificados los estimadores de los residuos son consistentes para las medidas individuales de la eficiencia, lo que se hace es sumar y restar la media de los errores μ , esta viene expresada (Mendes et al. 2013);

$$\ln y_i = \beta_0^* + \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij} - u_i^*$$

El modelo se suele transformar como $\beta_0^*[\beta_0 - \mu]$ y $u_i^*[u_i - \mu]$ que tiene una media de cero. Una de las ventajas de estos modelos determinísticas es la facilidad de obtener la eficiencia, pero una de las desventajas es que este modelo no puede diseccionar el error en dos partes contemplando en el análisis por una parte la ineficiencia y por otra el ruido blanco, por lo que todo se va a considerar ineficiencia, tampoco se consideran en estos modelo el efecto del tiempo sobre las variables.

4.4. Fronteras Estocásticas

Este tipo de fronteras tiene su origen porque buscan determinar el límite de las fronteras y completar el modelo de Debreu (1951) y Farrell (1957), este nuevo enfoque toma la relación de los Inputs y los Outputs y diferencia la ineficiencia de otras fuentes de perturbación, es decir, haciendo una disección del error, por una parte el error normal tradicional con media cero y varianza constante y por otra parte la ineficiencia técnica.

El modelo de frontera estocástica original fue propuesto por Aigner, Lovell & Schmidt (1977), en este la función de producción especificada en los datos contenía un término de error con dos componentes por separado, la ineficiencia técnica y el error aleatorio -ruido blanco-. Por una parte la ineficiencia técnica se mide por los datos observados y mide la ineficiencia a través del valor óptimo, en este caso estos comportamientos pueden ser medidos porque estas unidades pueden ser observadas, variando la calidad de los datos pudiendo ser estos endógenos o exógenos. Y por otra, el error aleatorio, este tipo de error presenta efectos que afectan a la producción pero no son observables, un ejemplo sería el tiempo climático. El principal problema en estos estudios es que al tomar el valor máximo para medir la eficiencia, la existencia de outliers puede alterar la muestra haciendo dudar la fiabilidad de ella.

El primer modelo propuesto por Aigner & Chu (1968) sugiere la estimación de β por programación matemática, por minimización $\sum_{i=1}^N |y_i - f(x_i; \beta)|$ $i = 1, \dots, N$, sujeto a $y_i \leq f(x_i; \beta)$, pero Schmidt (1976) añade una variable de perturbación al modelo, $y_i = f(x_i; \beta) + e_i$, $i=1, \dots, N$ donde $e_i \leq 0$. Este modelo se ha ido mejorando con las aportaciones de Aigner, Amemiya & Poirer (1976), el error pasa a descomponerse en $e_i = v_i - u_i$, el error v_i representa la alteración simétrica de $\{v_i\}$, esta perturbación se distribuye como $N(0, \sigma_v^2)$. La distribución de u_i se distribuye independiente de v_i y satisface que $e_i \leq 0$. Por lo que la eficiencia técnica propuesta por Aigner et al. (1977) puede ser denotada de la siguiente expresión;

$$TE_i = \exp(-U_i) = \frac{Y_i}{f(x_i, \beta) \exp(v_i)} \quad (5)$$

En (5), $f(x_i, \beta) \exp(v_i)$ es la frontera estocástica de producción. Pero otros autores han seguido trabajando con el modelo de Aigner, Lovell & Schmidt (1977), y este ha seguido evolucionando.

El trabajo de Battese & Coelli (1995) permite la estimación de técnica en la frontera estocástica y la ineficiencia técnica con la variable tiempo. Para datos de sección transversal el modelo se define en dos ecuaciones. La primer ecuación parte del modelo de Aigner, Lovell & Schmidt (1977) donde;

$$y_i = f(x_i; \beta) + e_i, \quad i=1, \dots, N \quad (6)$$

En (6), $e_i = v_i - u_i$. El efecto de la ineficiencia técnica, en el modelo de las fronteras estocásticas (6) viene definido por $u_{it} = Z_{it}\delta + w_{it}$, donde w_{it} es definida con una truncación de la normal con medio cero y con varianza en el punto de la truncación $w_{it} \geq -z_{it}\delta$, y u_i es con truncamientos no negativa y se distribuye con la normal $N(\mu_i, \sigma_u^2)$.

La expresión μ_i se puede expresar también como $\mu_i = z_i\delta$, donde Z_i es un vector (1xm) que explica las variables asociadas a la ineficiencia técnica de la producción de las firmas en el tiempo. Y δ es un vector (mx1) para los parámetros desconocidos. Por lo que la eficiencia técnica puede ser definida por la ecuación,

$$TE_{it} = \exp(-U_{it}) = \exp(-z_{it}\delta - W_{it})$$

Green (2005) toma el modelo de Aigner, Lovell, Schmidt (1977), porque según Green las desviaciones de la frontera de producción no estarían bajo el control de los datos de los países estudiados, la ecuación está definida;

$$y_i = f(x_i)TE_i e^{v_i}$$

El término TE_i (Tecnical efficiency) corresponde a U_i una perturbación aleatoria entre 0 y 1. v_i es un parámetro sin restricciones. Se hace otro modelo que considera errores de medida, cualquier otro ruido estadístico, y la variación aleatoria de la frontera entre los países;

$$\ln y_i = \alpha + \beta^T x_i + e_i \quad \text{donde } e_i = v_i - u_i \quad (7)$$

Al igual que antes en (7) $U_i > 0$, pero v_i puede tomar cualquier valor así como la distribución simétrica y la distribución normal. Por lo que la frontera estocástica es $\alpha + \beta^T x_i + v_i$ donde U_i representa la ineficiencia.

5. Especificación del modelo teórico

La función de producción que planteamos es la basada en el modelo de Mankiw, Romer y Weil (1992) teoría macroeconómica sobre el crecimiento económico (en adelante modelo MRW).

El modelo MRW contempla como principales factores de la producción el capital, el trabajo, y el capital humano. Este modelo parte del modelo neoclásico de Solow y Swan (1956), pero este modelo tiene ausencia de crecimiento tecnológico, en este modelo solo existe crecimiento en la productividad de los factores o cuando existe un aumento de la población, a este se le conoce como modelo de crecimiento exógeno. Pero el modelo MRW es un modelo de crecimiento económico endógeno, que como

hemos comentado antes contempla 3 factores el capital que en este modelo lo acercamos por la formación bruta de capital del país, el trabajo, solo que nosotros incluimos esta variable convirtiendo las demás en per cápita y el capital humano que la definición de esta variable en el modelo de Mankiw et al. (1992) es que son competencias, conocimientos y capacidades de los trabajadores nosotros en esta variable utilizaremos los investigadores en investigación y desarrollo, ya que para que un país sea eficiente mediante las tecnologías de la información necesita un capital humano cualificado.

Se asume que la economía solo produce un simple bien, Output (Y), que es el PIB del país. El modelo queda expresado de la siguiente manera;

$$Y(t) = K(t)^\alpha H(t)^\beta [A(t)L(t)]^{1-\alpha-\beta} \quad (8)$$

Donde en (8), K representa el capital físico, H el capital humano y AL la productividad del trabajo aumentada. La economía puede ser descrita por un agente representativo a diferencia del modelo de Solow y Swan (1956) en el cual no se contemplaba y el crecimiento económico del país es endógeno en el modelo MRW.

El análisis de este trabajo se hará siguiendo la teoría de Battese & Coelli sobre eficiencia técnica que analizaremos más a fondo en este apartado. La función estocástica de producción es la propuesta por Aigner et al (1977), el modelo viene expresado de la siguiente forma.

$$Y_i = x_i\beta + (V_i - U_i), \quad i = 1, \dots, N \quad (9)$$

Donde Y_i es la producción de los países -Valor añadido bruto-, x_i es un vector $K \times 1$ del input de las firmas, siendo β un parámetro desconocido. El error se descompone en dos partes, V_i son variables aleatorias donde $N(0, \sigma_v^2)$ y U_i que son variables no negativas aleatorias que asumen la (in)eficiencia técnica donde $N(0, \sigma_u^2)$, la distribución asume que es truncada normal.

La versión Frontier, es un paquete del estadístico R, este fue escrito con las especificaciones de Battese & Coelli (1988, 1992 y 1995), se hará una descripción de los modelos que contempla, y se explicara porque no se va a utilizar este modelo con respecto al paquete tradicional para calcular la eficiencia en Fortran.

En 1992, Battese & Coelli proponen la función estocástica de la frontera de producción en un panel de datos donde los efectos de los países asumen una distribución truncada normal de las variables aleatorias, que permiten una variación sistemática del tiempo, el modelo es el (9), en este caso tomando logaritmos, este modelo a diferencia del anterior asume el periodo de tiempo $t = 1, \dots, T$.

En este modelo la variable V_i tiene una distribución $N(0, \sigma_v^2)$ y $U_i = (U_i \exp(-\mu(t - T)))$ que son variables no negativas aleatorias que asumen la (in)eficiencia técnica de la producción de los países, y donde $N(\theta, \sigma_u^2)$, la distribución asume que es truncada a cero. El parámetro μ debe ser estimado.

Este modelo utiliza la parametrización de Battese & Corra (1977), el cual reemplaza σ_v^2 y σ_u^2 con $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ y $\gamma = \sigma_v^2 / (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)$. Esto es para calcular la máxima probabilidad de la estimación. El parámetro γ , debe de estar en el rango de 0 y 1 y este rango puede proporcionar un buen valor de salida para el proceso iterativo de la maximización del algoritmo, como lo proponen Davidon-Fletcher-Powell (DFP). Este

método fue creado por Davidon y después modificado por Fletcher y Powell, este método es usado para resolver problemas de minimización restringida, optimizando los parámetros, los valores óptimos y los problemas iterativos.

A el modelo de Battese & Coelli (1992) se le impusieron ciertas restricciones, Aigner et al. (1977) especifican que cuanto $T=1$ este vuelve a la sección transversal de los datos con una media normal. Pitt et al. 1981 el modelo es único cuando la restricción θ es igual a cero.

Battese & Coelli (1988), la generalización de los datos panel da lugar a que se empleen una nueva restricción con la utilización de este panel en la función de producción empleada. Battese, Coelli y Colby (1989) añaden la restricción que μ se ajuste a cero, esto proporciona al modelo que la especificación del tiempo sea invariante.

Por otra parte, Reifschneider, Stevenson (1991), Huang & Liu (1994) proponen un modelo de producción estocástico que simultáneamente estima los parámetros de la frontera de producción y los efectos de la ineficiencia, donde se contempla el error aleatorio.

En este estudio, nosotros adoptamos el modelo de Battese & Coelli (1995) una frontera estocástica de producción para datos de panel. El modelo es el siguiente;

$$\ln Y_{it} = \ln (x_{it}\beta) + (V_{it} - U_{it}), \quad i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad (10)$$

Este modelo está formado por dos ecuaciones, la primera ecuación (10) especifica la frontera estocástica de producción, donde Y_{it} , x_{it} y β son definidas con anterioridad. V_{it} es una variable aleatoria del error con una distribución $N(0, \sigma_v^2)$ y es independiente de U_{it} que son variables aleatorias no negativas que asumen la ineficiencia técnica, que tienen una distribución independiente siendo truncadas a cero donde $w_{it} \sim N(0, \sigma_w^2)$, siendo w_{it} estando limitada por debajo del punto de la truncada $-z_{it}\delta'$, donde aparece la segunda ecuación (11) que recoge los efectos de la ineficiencia técnica al descomponer por una parte $z_{it}\delta$ que son las variables exógenas y por otra los componentes aleatorios w_{it} (Lachaal et al. 2004).

$$u_{it} = +z_{it}\delta' + w_{it} \quad (11)$$

En la segunda ecuación z_{it} es un vector que está bajo la influencia de la eficiencia de los países y δ es un vector de parámetros para ser estimados.

Al igual que en el modelo de Battese & Coelli (1992), se utiliza la parametrización de Battese & Corra (1977), en el cual la varianza se reemplaza σ_v^2 y σ_u^2 con $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ y $\gamma = \sigma_v^2 / (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)$. El rango en el que fluctúa el parámetro γ esta comprendido entre 0 y 1. Cuando $\gamma=1$ es un indicador de que todas las desviaciones se deben a la ineficiencia técnica.

La función de producción de fronteras estocásticas (10) y el modelo de ineficiencia técnica (11), pueden ser definidas por la siguiente ecuación;

$$TE_{it} = \exp(-U_{it}) = \exp(-z_{it}\delta' - w_{it})$$

En los modelos con variables dependientes, se utiliza la fórmula de Olsen & Henningsen (2011), para los efectos marginales;

$$\frac{\partial E[\exp(-1u)]}{\partial z_{1it}} = \frac{\delta_1(1-\gamma)\exp(-1\bar{\mu}_{it} + \frac{1}{2} * \bar{\sigma}^2)}{\Phi\left(\frac{\bar{\mu}_{it}}{\bar{\sigma}}\right)} * \left(\frac{\phi\left(-1\bar{\sigma} + \frac{\bar{\mu}_{it}}{\bar{\sigma}}\right)}{\bar{\sigma}} - \frac{\phi\left(-1\bar{\sigma} + \frac{\bar{\mu}_{it}}{\bar{\sigma}}\right)\phi\left(\frac{\bar{\mu}_{it}}{\bar{\sigma}}\right)}{\bar{\sigma}\Phi\left(\frac{\bar{\mu}_{it}}{\bar{\sigma}}\right)} - 1\Phi\left(-1\bar{\sigma} + \frac{\bar{\mu}_{it}}{\bar{\sigma}}\right) \right)$$

En la ecuación de Olsen y Henningsen (2011), el parámetro $\bar{\mu}_{it} = (1-\gamma)Z'_{it}\delta - \tau\gamma\epsilon_{it}$, y $\bar{\sigma}^2 = \gamma(1-\gamma)\sigma^2$. Por otra parte, la estimación de máxima verosimilitud de los parámetros de la frontera de estocástica de producción translogarítmica y los efectos de los modelos de la (in)eficiencia técnica se obtuvieron mediante el paquete informático Frontier.

La razón de haber elegido el programa Frontier frente al Frontier 4.1, pese a que Fortran es un lenguaje de programación de alto nivel y los cálculos numéricos son más rápidos, es bastante complejo el crear los scripts e influye mucho el sistema operativo, en sistemas OSX no se puede usar y en sistemas Windows da muchos problemas principalmente en XP. Nosotros hemos elegido el paquete de Frontier que es una forma alternativa de calcular nuestra función de producción estocástica con el modelo de Battese y Coelli (1995), además en R se han subsanado errores que en Frontier 4.1 era frecuentes, como la estabilidad numérica en las estimaciones, además el paquete nos permite calcular los efectos marginales de la variable z, así como de poder calcular el modelo de dos ecuaciones e integrándolas en una sola ecuación.

6. Fuentes de datos y definición de datos

6.1. Procedencia de los datos

En este trabajo se ha utilizado la base de datos del Banco Mundial, esta organización es de ámbito internacional y fue fundado en 1944, aunque su propósito principal fue ayudar a las naciones del continente Europeo tras la guerra, el Banco Mundial amplió su filosofía combatiendo la pobreza a nivel mundial, con créditos a interés bajos y ayudando a los países en desarrollo, hoy en día está integrada por 188 miembros.

El banco mundial ha destinado enormes recursos a las estadísticas y sus bases de datos de donde hemos obtenido los datos que nos han servido para el desarrollo de este estudio, que después fueron transformados a datos de panel, analizando los países que pertenecen a la OCDE -Organización para la cooperación y desarrollo Económico-. Los países miembros son; Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Chile, Corea, Dinamarca, España, Estados Unidos, Eslovenia, Eslovaquia, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Japón, Luxemburgo, México, Noruega, Nueva Zelanda, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia, Suiza, Turquía. En este estudio no hemos incluido los países candidatos de adhesión como la Federación de Rusia, ni los países en adhesión y cooperación reforzada como Brasil, China, India, Indonesia y Sudáfrica.

Se analizaron los 34 países, en el periodo temporal 2004-2013, los datos con los que se ha trabajado han sido deflactados tomando como base el año 2004 para extraer el efecto que los precios ejercen sobre estas variables, utilizando el deflactor implícito del Banco Mundial. Para evitar los posibles problemas que los datos de corte transversal pueden provocar, en los estudios de modelado econométrico se ha generalizado el

uso de datos de panel y más cuando la estructura de los datos tiene una componente temporal, que es nuestro caso.

6.2. Definición de las variables de los datos

Definiremos la función de producción de fronteras estocásticas, por un lado la variable dependiente del modelo que es el Producto Interior Bruto del país (Output) lo expresaremos como PIB, la formación bruta de capital la expresaremos como GCF y los investigadores en I+D que son el capital humano la expresaremos como R. Las variables explicativas del modelo han sido divididas por la población por lo que se encuentran en términos de renta per cápita. Y por otra parte tenemos las variables que consideramos que son factores determinantes de la (in)eficiencia técnica;

- Empleo total del país; Esta variable se refiere a aquellos trabajadores que trabajan por su cuenta con uno o más socios, es lo que se conoce como autónomos, y donde la remuneración depende de los beneficios derivados de la explotación de los bienes y servicios, y en esta variable se incluye la participación de una o más personas que van a trabajar para ellos como empleados.
- Las importaciones de bienes de TIC (% importaciones totales de bienes); Se incluye bienes como telecomunicaciones, audio, video, ordenador y equipos relacionados: componentes electrónicos, así como otras tecnologías de la información y comunicación.
- Las suscripciones a teléfono (por cada 100 personas); Esta variable es la suma de suscripciones de líneas telefónicas analógicas, de voz, suscripciones fijas Wireless Local Loop⁷, RDSI⁸ equivalentes de canal de voz y los teléfonos públicos.
- Exportación de alta tecnología; Esta variable fue convertida de precios corrientes a precios constantes en base 2004, en dólares estadounidenses. Este tipo de productos son con una intensidad muy alta en el trabajo de I+D, ya que se incluyen datos de tecnología aeroespacial, ordenadores, instrumentos científicos, maquinaria eléctrica y productos farmacéuticos.
- Solicitudes de patentes de no residentes; Los datos de esta variable provienen del informe de patentes de la OMPI (Organización mundial de la propiedad intelectual).
- Suscripciones a banda ancha (por cada 100 personas); Se incluyen módems de cable, DSL⁹, fibra hasta el hogar/Trabajo. Se excluyen las tecnologías de banda ancha inalámbrica, es decir las comunicaciones a internet a través de telefónica móvil.

⁷ Término genérico que engloba las tecnologías inalámbricas y de radio.

⁸ Red digital de servicios integrados.

⁹ Es internet de banda ancha, este tipo de línea es por suscripción digital, da acceso a internet a través de datos digitales por la red de telefónica local.

En la tabla 4 se encuentran los estadísticos descriptivos principales para la función de producción propuesta en este estudio.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos.

Variables	Mean	St.Dev.	Var	Min	Max
PIB	1,187e+12	2,352272e+12	5,533182e+24	8,614e+09	1,390e+13
Formación bruta de capital	2,571e+12	4,895439e+11	2,396532e+23	1,200e+09	3,100e+12
Investigadores	3694	1,737654e+03	3,019442e+06	286	7983

Notas: Los datos están expresados en notación científica. El PIB está expresado en millones de euros; la variable formación bruta de capital está expresada en millones de euros, y la variable investigadores está expresada en número de investigadores por cada millón de habitantes.

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Estimación de la frontera estocástica

Con el fin de analizar la función de producción estocástica de los países del OCDE, se utilizará una función de producción translogarítmica, la cual se ajustó a la frontera de producción estocástica. Este tipo de función se ha utilizado en diversos estudios de eficiencia, la función con logaritmos es más flexible, suavizando los outliers del panel de datos, ya que los datos son distintos debido a que hay países de distintos tamaños y con el fin de que se ajuste de la mejor manera, la ecuación que se estima en el modelo de producción estocástica queda expresada de la siguiente manera;

$$\begin{aligned} \ln Y_{i,t} = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{GCF}_{i,t}) + \beta_2 \ln(R_{i,t}) + 1/2 \beta_{11} \ln(\text{GCF}_{i,t})^2 \\ & + 1/2 \beta_{22} (R_{i,t})^2 + \beta_{12} \ln(\text{GCF}_{i,t}) \ln(R_{i,t}) + (v_{i,t} - u_{i,t}) \end{aligned} \quad (12)$$

Dónde Ln denota el logaritmo natural:

- La variable Y es el output tomado por el valor PIB del país, el $\ln Y_{i,t}$ es el output producido en el año "t" por el país "i".
- Los parámetros β_n y β_{nn} con $n=1,2,3$ son los parámetros desconocidos que se estimaran.
- El subíndice "i" indica el país.
- El subíndice "t" indica el año.
- La denotación "GCF" es la formación bruta de capital, del país i, en el periodo de tiempo t.
- La denotación "R" son los investigadores de I+D del país i, en el periodo de tiempo t.
- El término de error aleatorio o ruido blanco viene dado por $v_{i,t}$.
- La variable aleatoria de la ineficiencia técnica viene dada por $u_{i,t}$.

La estimación de la función lineal se hará con el estadístico R, representando la función (12) de los países. Se utilizara el paquete de R –Frontier: Stochastic Frontier Analysis- de Tim Coelli & Arne Henningsen (2013), versión 1.1.

En la tabla 5, se representa el modelo en la ecuación (12). Se obtienen las estimaciones de máxima verosimilitud de los parámetros del modelo, las estimaciones o coeficientes, así como los errores estándar estimados con máxima verosimilitud. El modelo de Battese & Coelli (1995) toma las ecuaciones (12), y (18) que se definirá

más adelante, y estima el modelo en un único paso, a diferencia del cálculo de SFA tradicional, por lo que el test de hipótesis de la tabla 5.1 está hecho para todo el modelo.

Tabla 5. Estimación de SFA por MLE

VARIABLES	COEFF	STD.ERROR
Constante	10,239819	0,020334 ***
Formación bruta de capital	0,832637	0,027049 ***
Investigadores	0,152975	0,031190 ***
Formación bruta de capital ²	0,076771	0,041081 .
Investigadores ²	0,090987	0,037838 *
GCF*R	-0,195461	0,074838 **
$\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_\mu^2$	0,097327	0,036089 **
γ	0,729696	0,109879 ***
Log Likelihood	80,89034	

Notas: Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.'

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.1. Test de hipótesis de ratio de verosimilitud.

	#Df	LogLik	Df	χ^2	Pr(Chisq)
OLS (inefficiency)	7	1,469			
Efficiency Effect Frontier (MLE)	15	80,890	8	158,84	< 2,2e-16 ***

Notas: Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.'

Fuente: Elaboración propia.

Para el contraste de hipótesis se ha usado el test de ratio de verosimilitud¹⁰, es importante que estén presentes en el modelo los efectos de ineficiencia técnica ya que este modelo solo puede ser estimado si los efectos de la ineficiencia son estocásticos.

$$LR = -2[\ln\{L(H_0)\} - \ln\{L(H_1)\}] \quad (13)$$

Por otra parte en la tabla 5.1, en la expresión (13), $\ln\{L(H_0)\} - \ln\{L(H_1)\}$ son los valores del Log de verosimilitud $-\text{LogLik}$ bajo la hipótesis H_0 y H_1 alternativa, el test LR es una distribución Chi-cuadrado con sus grados de libertad, el cual es dado por su número de restricciones. La hipótesis nula es el modelo estándar por mínimos cuadrados ordinarios $-\text{OLS}$ - y la hipótesis alternativa es el modelo de Battese & Coelli (1995). El p-valor es menor que 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula que afirma que el coeficiente es cero, por lo que se acepta que el coeficiente no es cero y que el modelo de máxima verosimilitud es útil para la representación de nuestra frontera estocástica con una significación alta, por lo que se asume una distribución independiente y que las variables aleatorias son no negativas.

En la tabla 5 los coeficientes tienen los signos esperados, pero para saber si nos encontramos ante un error estocástico, nos planteamos la siguiente hipótesis;

$$H_0: \gamma = 0 \quad (14)$$

En (14), si este parámetro fuese cero, nos convendría usar una especificación determinística en el modelo, pero en ningún caso es cero, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta que el modelo se ajusta a una especificación estocástica.

¹⁰ El valor máximo de la probabilidad de los datos sin el supuesto adicional.

También se puede afirmar que existe un 27,04% de aleatoriedad en el error del modelo, siendo un 72,96% ineficiencia de la frontera de producción propuesta.

Los coeficientes de la tabla 5, son los esperados, los investigadores y la formación bruta de capital son altamente significativos. Los productos al cuadrado como los productos cruzados son significativos, el signo negativo en el producto cruzado nos puede indicar sustituibilidad de los factores productivos. Y los productos al cuadrado son un indicador de los rendimientos a escala del modelo. Todas las variables tienen las transformaciones logarítmicas que hacen que disminuyan las posibilidades de que en el modelo exista heterocedasticidad en los residuos.

Tabla 5.2. Eficiencia técnica media y rendimientos a escala

TE	Mean Efficiency	Returns to scale	Nº observaciones
2004-2013	0,9349601	0,9856120	248

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5.2, para analizar los rendimientos a escala, se definen las siguientes expresiones;

$$H_0: \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1 \quad (15)$$

$$H_1: \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 > 1 \quad (16)$$

$$H_2: \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 < 1 \quad (17)$$

La hipótesis en (15) nos indica los rendimientos constantes a escala, en (16) los rendimientos crecientes a escala y en (17) los rendimientos decrecientes a escala.

Por lo que, se rechaza la hipótesis (16) y (17) y dada la aproximación a la unidad se acepta (15), por lo que los rendimientos a escala de los países de la OCDE son constantes a escala, por lo que a un aumento de los factores productivos los países crecen a la misma proporción. También observamos que la eficiencia media es de un 93,49%.

En el estudio de la eficiencia nosotros hemos determinado el PIB como la variable endógena del modelo, pero la caucásica que puede tener cada variable es enorme;

“Si un gobierno se embarca en la construcción de una pirámide, que añade absolutamente nada para el bienestar de las personas, el marco PIB considerará esto como el crecimiento económico. En realidad, la construcción de la pirámide desviara la financiación de bienes de las actividades generadoras de riqueza, ahogando con ello la producción de riqueza”

-Frank Shostak

Esta variable mide los ingresos determinados de un país pero no mide la destrucción del medio ambiente, la distribución de la riqueza, así como de otros beneficios sociales. En países como México donde la economía sumergida del país es enorme, el PIB hace una valoración a la baja, al igual que otros países de la OCDE con economía sumergida.

Sin embargo, pese a la ilusión óptica que esta variable pueda ocasionar, y debido a que es una variable que no tiene en cuenta la producción intermedia, por lo que tiene

una apreciación más global de la economía, siendo imposible analizar de forma más profunda los ciclos de las perturbaciones económicas.

También es importante tener en cuenta que pese a que este estudio contempla variables de tecnologías de la información, el PIB engloba mucha de la producción de empresas dedicadas a producción o servicios de TIC, pero hay otras variables TIC no cuantificables como es la producción de tecnologías de código abierto que la aportación es incuantificable.

En este estudio se ha utilizado el PIB como forma aproximada para poder medir la eficiencia técnica de los países.

En la tabla 6, tenemos a los países de la Organización para la cooperación y el desarrollo económico más eficientes. Entre los cinco primeros tenemos a 4 países Europeos, liderando la lista Alemania.

Por otra parte, se ha utilizado una frontera de producción basada en el capital humano, modelo propuesto por Mankiw (1992), en el cual introduce en la función de producción una variable relacionada con la educación y la investigación para construir el modelo, por un lado Alemania tuvo en el año 2012 un gasto de educación de más de 14 millones de euros y siendo uno de los países más atractivos para la investigación.

Como se observa en la Tabla 6 no es de extrañar que entre los países más eficientes se encuentre Alemania, según la consultora Marketline en el año 2011 Alemania tenía el 24,5% del mercado de software en la unión europea, seguido de Reino Unido con el 17,3% y Francia el 15,6% país que se encuentre entre los más eficientes de la OCDE.

En el caso de Japón es de esperar que sea un país eficiente en relación con las tecnologías de la información, según The Ministry of Internal Affairs and Communications en el año 2012 el ratio de penetración del internet era el más alto en el mundo. En el 2013 Italia se encontraba en el octavo puesto en la unión europea de países que más solicitudes de patentes hacían.

En el año 2013 los países de la Unión Europea con más solicitudes de patentes eran Alemania con 921 patentes, Francia con 888, Reino Unido con 232 e Italia 117.

Tabla 6. Top 5 de los países más eficientes de la OCDE

TE	2004-2013
Alemania	0,9880965
Reino Unido	0,9863787
Francia	0,9857903
Japón	0,9841132
Italia	0,9833775

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7, encontramos los países menos eficientes, siendo el país más ineficiente de la OCDE Estonia, seguido de la Republica Checa, Hungría, Chile y Finlandia.

Una de las razones por las que Estonia es tan ineficiente según nuestro modelo se podría deber a que es un país con aproximadamente 1,3 millones de habitantes y la función de producción estocástica de este modelo contempla variables relacionadas con la población, la población y el capital humano compuesto de los investigadores en I+D. En este caso su producción dados sus recursos económicos, nos indica que no

TICS Y EFICIENCIA TÉCNICA PRODUCTIVA EN LOS PAISES DEL OCDE

sabe emplearlos con eficiencia. Estonia es un país que se encuentra haciendo una gran inversión en tics, siendo la sede de la empresa Skype.

La Republica checa según datos del Czech ICT Alliance, sus exportaciones de bienes TIC han crecido 15 veces en los últimos 10 años, exportando casi el 88% a Europa y un 10% a Estados Unidos.

Según un informe del ICEX el mercado Húngaro tuvo un crecimiento entre el 2003 y el 2007 de un 6,5% en comparación con la unión europea que era de un 2,6%. Siendo un país que exporta más de lo que importa.

Chile ha tenido un crecimiento muy rápido en las TICS, en el año 2000 tenía 5 millones de suscripciones a telefonía pasando a 19,8 millones en 2010, Chile tiene una población de 17,62 millones siendo las suscripciones a telefonía mayores que la población. Y tiene una penetración de internet del 36,58% muy baja comparada con países como Japón o Corea del Sur que en el año 2000 tenían cerca del 75% (C.U.T.I.,2015).Finlandia es otro de los países con una cultura tradicional en inversiones TICS que suele crecer en términos constantes.

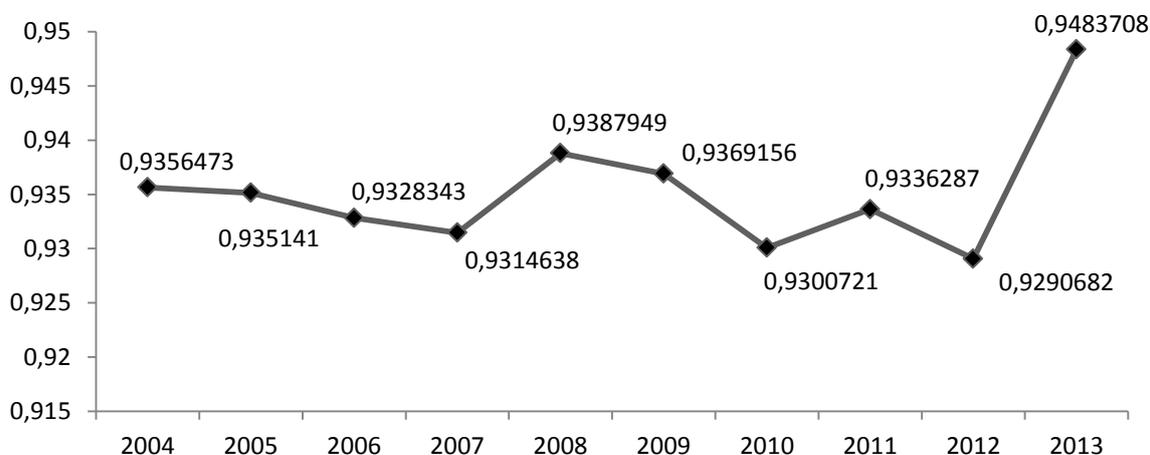
Tabla 7. Top 5 de los países con ineficiencia más baja de la OCDE

TE	2004-2013
Estonia	0,40201840
República Checa	0,85529380
Hungría	0,90571010
Chile	0,91976510
Finlandia	0,92615450

Fuente: Elaboración propia.

En el grafico 1. Podemos observar como a medida de que nos acercamos a la crisis la eficiencia técnica de los países empieza a crecer negativamente, y después existe un leve crecimiento con las políticas fiscales de los países para frenar la crisis pero vemos que la economía vuelve a decrecer hasta su punto más bajo en el año 2012, donde las países eran más ineficientes, a partir de ese punto vemos una tendencia a la recuperación de la eficiencia de los países.

Grafico 1. Evolución de la eficiencia en la OCDE (2004-2013)



6.5. Factores determinantes de la eficiencia técnica.

Se toma el modelo de efectos técnicos de ineficiencia propuesto por Battese & Coelli (1995). Donde calculamos los factores determinantes de la ineficiencia técnica en la ecuación (18), expresada a continuación;

$$U_{it} = \delta_0 + \delta_1(E_{it}) + \delta_2(I_{it}) + \delta_3(ST_{it}) + \delta_4(XAT_{it}) + \delta_5(SPN_{it}) + \delta_6(FBS_{it}) + W_{it} \quad (18)$$

Donde la variable W_{it} ha sido definida anteriormente, y las abreviaturas de los δ corresponden a las siguientes variables;

- E, Empleo total del país.
- FBS, Suscripciones a banda ancha (por cada millón de personas).
- I, Importación de bienes TICS.
- SPN, Solicitudes de patentes de no residentes.
- ST, Las suscripciones a teléfono (por cada 100 personas).
- XAT, Exportación de alta tecnología.

Tabla 9. Determinantes de la ineficiencia (2004-2013)

Variables	Coeff	Std.Error
Constante	16,6689770	4,9182230 ***
Importación de bienes TIC	1,4487520	1,3593029 **
Empleo del país	-0,4486640	0,3820936
Suscripciones a telefonía	-1,7330160	3,3239884 **
Exportación de alta tecnología	-0,4818890	0,4238653 **
Solicitudes de patentes de no residentes	-0,2713240	0,4164575 **
Suscripciones a banda ancha	-0,1519430	0,3372481 .

Notas: Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fuente: Elaboración propia.

Los coeficientes estimados en el modelo estocástico de ineficiencia de la tabla 9, son los esperados, excepto en la variable Empleo del país, que no es significativa por lo que no se comentara.

Tanto el tamaño de los coeficientes como los signos de los δ nos sirven para la interpretación de las variables determinantes de la ineficiencia, que en este caso son importaciones de las TIC, las suscripciones a teléfono, las exportaciones de alta tecnología, las solicitudes de patentes de no residentes y las suscripciones de banda ancha.

La variable Importación de bienes TIC tiene el signo positivo, lo que nos indica que los países que importan más tecnologías de la información son más ineficientes, esto se puede deber a que la dependencia de tecnologías explica que estos países no tienen mano de obra cualificada para producir la suya, una mano de obra de baja cualificación nos dice que los profesionales serán incapaces de sacarles provecho. Siguiendo con el análisis en el periodo de 2004 a 2013, vemos como la exportación de alta tecnología afecta de manera positiva al país, el coeficiente negativo nos indica que los países que exportaban eran técnicamente más eficientes que los países que no. Este hecho se puede deber como hemos comprobado, que hasta los países más ineficientes de la organización para la cooperación y el desarrollo tienen políticas de fomento de las TIC fuertes y la mayoría de los países que forman esta organización tienen mano de obra cualificada para la producción de alta tecnología. Entre los países

de la OCDE que más exportaciones realizan están Estados Unidos, Alemania, Japón, Francia, Países bajos y México.

Por otra parte, la variable Solicitud de patentes de no residentes nos indica que los países en los cuales hay una solicitud de patentes de no residentes son menos ineficientes, esta variable pertenece a la organización mundial de la propiedad intelectual que está presente en 148 países. Pero aquí entra la casuística ya que lo que se puede patentar en un país, en otro no se puede, por lo que no se puede comparar países como Estados Unidos el cual tiene una regulación en materia de patentes muy flexible, con países como España con otro tipo de legislación..

Comprobamos en la tabla 6 de los países más eficientes del mundo que los 5 países más eficientes aparecen entre los 10 países del mundo que más solicitudes de patentes hacen (OMPI, 2014).

La variable suscripciones a banda ancha incluye los módems, DSL y fibra óptica, un país será más eficiente entre mayor ratio de cobertura de internet tenga, cuando el acceso de internet sea mayor el impacto de las TICS como generadora de eficiencia será mayor.

Al igual que las suscripciones a banda ancha, las suscripciones a telefonía es una variable que indica que un país que tiene una cobertura a teléfono mayor es más eficiente que los que no.

7. Conclusiones

En este estudio se propuso un modelo estocástico de ineficiencia técnica, los datos han sido de 34 países pertenecientes a la OCDE en un periodo temporal de 10 años (2004-2013), en el cual se analizó la eficiencia técnica. Se aplicó una función de producción del Producto Interior Bruto del país, y unas variables explicativas del modelo que son la Formación Bruta de Capital (Capital físico), y los investigadores en investigación y desarrollo (Capital Humano). También se tomó en cuenta la descomposición del error en dos partes, por una parte la ineficiencia técnica propiamente dicha de los países y por otra parte el ruido blanco o datos no observables, donde se determinan los shocks exógenos sobre la producción.

Se ha tomado en cuenta el efecto de la variable endógena, el efecto del tiempo y la distribución independiente del modelo.

El grado de eficiencia en el uso de los factores productivos determina la competitividad de los distintos países. El crecimiento de las Tecnologías de la Información y Comunicación hace que el estudio de la eficiencia técnica sea interesante, con el fin de analizar que hace a un país más o menos eficiente.

Los factores determinantes en relación con la eficiencia técnica son: Importaciones de bienes TIC, suscripciones a teléfono, suscripciones a banda ancha, exportación de alta tecnología y solicitudes de patentes de no residentes.

Un país si quiere ser menos ineficiente debe aumentar su inversión y producción en TIC y reducir el número de importaciones de bienes TIC. Al reducir la dependencia que se tienen a la compra de equipo tecnológico de otros países y produciendo sus propios bienes TIC los países serán más eficientes en su producción.

Otra variable con relación positiva con la eficiencia técnica es el número de las suscripciones a telefonía fija, por lo que esta variable va muy unida a la banda ancha por la necesidad de los accesos al cableado y a la fibra óptica. Pese a los aumentos en las Tecnologías de la Información y Comunicación, la telefonía fija sigue siendo indispensable.

Las suscripciones a banda ancha, como es lógico esta variable debe de tener un peso positivo importante en la eficiencia de un país y como se ha estudiado en este trabajo los países de la OCDE invierten para que el ratio de cobertura de internet sea mayor.

Los resultados nos demuestran que la exportación de alta tecnología se relaciona significativamente con el nivel de eficiencia técnica. Este comportamiento se puede explicar ya que los países que exportan alta tecnología tienen una mano de obra cualificada, así como programas de investigación y desarrollo. Siendo un pilar importante el nivel educativo que permite exportar productos de alto valor añadido.

Se ha tomado las solicitudes de patentes de no residentes frente a las solicitudes de patentes por su significatividad, se ha incluido solo esta variable para evitar problemas de multicolinealidad. Esta variable se puede interpretar como que un país necesita tener una buena legislación de patentes ya que no todo es patentable, y muchos países dado el coste de patentar algo a nivel mundial, simplemente se limitan a patentar en los países en los que existe mayor competitividad de patentes, ya que los países que reciben mayor número de patentes de no residentes son técnicamente más eficientes por la razón de que existe un mercado rentable. Países con baja competitividad en patentes, los investigadores van a preferir patentar en países donde el desarrollo es mayor y sus productos tienen un mayor valor añadido.

Si los países de la OCDE quieren ser menos ineficientes deben de mejorar muchos aspectos, deben de proveer al país con una cobertura tanto de internet como de telefonía mayor, exportar tecnologías, facilitar las patentes, esto se puede deber a que los países con mayores solicitudes de patentes de no residentes ayudan a los emprendedores, a los investigadores que en la mayoría de las veces son los que terminan patentando. Los centros de emprendimiento e investigación podrían ser una de las vías para mejorar técnicamente la eficiencia de los países.

Enfatizando en la investigación, los países deben de aumentar su gasto tanto en becas, proyectos y no dejar escapar su capital humano, al ser un análisis de la OCDE no podemos observar como varía esta variable ya que la mayoría de los investigadores que emigran de países como España o Grecia lo hacen a países de la misma OCDE donde se fomenta la investigación.

Cabe destacar que aunque en este estudio la variable empleo no haya sido significativa, un país necesita del empleo para producir, pero necesita de la educación de calidad para producir con eficiencia. Según la OCDE cerca del 65% de la población en edad para trabajar tiene un empleo remunerado. Los países con los niveles de empleo más alto son Islandia (82%), Suiza (80%) y Noruega (75%). Los países con los niveles de empleo más bajo son Grecia (49%), países con una enorme deuda y en una situación económica delicada, Turquía (50%) y España (56%). También se debe de prestar atención a las diferencias de género, en los países de la OCDE los hombres tienen una remuneración salarial mucho mayor que las mujeres, por lo que no se alcanza la igualdad. El riesgo a perder el empleo es para la de media de la OCDE de un 5,4%, pero en países como Grecia y España es de casi el 12%.

A lo largo de este trabajo fin de master de investigación, se ha desarrollado este estudio a pesar de las dificultades y limitaciones, que hay que tener en cuenta en los siguientes aspectos:

- Tras el análisis de datos con la base del BANCO MUNDIAL nos hubiese gustado disponer de más datos completos de países para evitar la exclusión de muchas variables del estudio, así como un análisis de la revolución de las tecnologías y comunicación desde sus inicios hasta la actualidad pero no es posible contar con esos datos.
- La falta de estudios sobre la eficiencia técnica con las tecnologías de la información y comunicación, dificulta que se pueda profundizar.
- Las dependencias de los paquetes en R, están fuera de la librería directa de R por lo que se deben conocer las dependencias que tiene el paquete Frontier con otros paquetes estadísticos, matemáticos y económicos, e instalar las dependencias de forma manual en nuestro ordenador.

Los trabajos empíricos en el ámbito de estudio de la eficiencia de las Tecnologías de la Información y Comunicación, es muy nuevo, y la contribución de estos trabajos crean valor tanto para las empresas como para el mundo académico, ya que su estudio permite entender macroeconómicamente el impacto de las Tecnologías de la información y Comunicación.

A continuación mostramos algunas posibles líneas de investigación futuras:

- Análisis de la eficiencia técnica de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el mundo, comparando países tanto desarrollados como no.
- Comparativa de la eficiencia técnica en varios sectores, utilizando el método paramétrico de las fronteras estocástica -SFA- y comparándolo con el método envolvente de datos -DEA-.
- Estudio de la literatura para analizar la eficiencia técnica en el tiempo.

Concluyendo, se ha hecho un desglose de las futuras líneas de investigación y de las limitaciones que se han hecho a lo largo de este trabajo, pero también se han incluido las razones y la importancia de este tipo de estudios, y el cómo este tipo de trabajos generan valor que nos pueden ayudar a prosperar.

8. Bibliografía

- AIGNER D., LOVELL C.A.K., SCHMIDT P., (1977): "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models". *Journal of Econometrics*, **6**(1), pp. 21-37.
- ALONSO A., AUBYN M. ST., (2010): "Public and Private inputs in aggregate production and Growth. A cross-country efficiency approach". Working Paper Series, HO 1154, February 210, European Central Bank, Eurosystem.
- ÁLVAREZ A., (2001): La medición de la eficiencia y la productividad. Ed. Pirámide. Madrid.
- ALY H.Y., GRABOWSKI R., PASURKA C., RANGAN N., (1990): "Technical, Scale, and Allocative Efficiencies in U.S. Banking: An Empirical Investigation." *Review of Economics and Statistics*, **72**(2): 211-218.
- AMIT R., ZOTT C., (2012): "Creating Value Through Business Model Innovation". *MIT Sloan Management Review*, **53**(3), pp. 41-49.
- ANDERSEN P., PETERSEN N.C., (1993): "A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis". *Management Science*, **39**(10), pp. 1261-1265.
- BATTESE G.E., COELLI T.J., (1992): "Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India" *International Applications of Productivity and Efficiency Analysis*, Kluwer, Boston, 149-165.
- BATTESE G.E., COELLI T.J., (1995): "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data" *Empirical Economics*, **20**(2), pp 325-332
- BAKOS Y., BRYNJOLFSSON E., (1996): "Bundling information goods: Pricing, Profits and Efficiency", Working Paper No. 1427, Stern School of Business, New York University; email: bakis@stern.nyu.edu
- BAUER P. W. (1990): "Discomposing TFP growth in the presence of cost inefficiency, non-constant returns to scale, and technological progress", *Journal of productivity Analysis*, **1**(4), 287-299.
- BROOKS F.P., (1987): "No Silver Bullet: Essence and Accidents of Software Engineering," *IEEE Computer*, **20**(4), pp. 10-19.
- BRYNJOLFSSON E., HITT L.M., (1996): "Paradox Lost. Firm level evidence on the returns to technology information system spending". *Management Science*, **42**(4), pp. 541-558.
- BRYNJOLFSSON E., HITT L.M., (1998): "Beyond the Productivity Paradox", *Communications of the ACM*, **41**(8), pp. 49-55.
- BRYNJOLFSSON E., HITT L.M., (1998): Beyond the productivity: Computers are the Catalyst for Bigger Changes. MIT Sloan School of Management and Stanford Business School email: erikb@mit.edu.
- BRYNJOLFSSON, E., MCAFEE, A., (2012): Race Against The Machine: How The Digital Revolution Is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly Transforming Employment and The Economy. Thriving in the Automated Economy. The futurist.
- BRYNJOLFSSON, E., MCAFEE, A., (2014): The Second Machine Age. Norton & Company.
- CARR, N. (2005): Las tecnologías de la información: son realmente una ventaja competitiva?. Urano, Barcelona.

CASTIGLIONE C., INFANTE D., (2012)a: “*ICTS and lags in technical efficiency gains. A stochastic frontier approach over a panel of Italian manufacturing firms*”, Trinity College Dublin, Department of Economics, No. 51071, posted 5.

CASTIGLIONE C., INFANTE D., (2012)b: “*ICTS and time-span in technical efficiency gains. A stochastic frontier approach over a panel of Italian manufacturing firms*”, Trinity College Dublin, Department of Economics, No. 55466, posted 27.

CÁMARA URUGUAYA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (2015): Chile situación país & mercado tic. C.U.T.I.

CHARNES A., COOPER W.W., RHODES E., (1978): Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2. North-Holland Publishing Company, pp.429-444.

CHEBIL A., LASSAAD L., DHEHIBI B., (2004): “*A panel data approach to the measurement of technical efficiency and its determinants: some evidence from the Tunisian agro-food industry*”. *Agricultural Economics Review*, Greek Association of Agricultural Economists, **5**(1).

CISCO (2015): Cisco Visual Networking index: Forecast and Methodology, 2014-2019. White paper. Disponible en: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-ngn-ip-next-generation-network/white_paper_c11-481360.pdf

CLAYTON C. (2011): *The innovator’s solution*. Harvard Business Review Press, Pag. 13.

CLAVER E., LLOPIS J., GARCIA D., MOLINA H., (1998): “*Organizational culture for innovation and new technological behavior*”. *The Journal of High Technology Management Research*, **9**(1), pp. 55-68.

COELLI T.J., (1996): A GUIDE TO FRONTIER VERSION 4.1: A COMPUTER PROGRAM FOR STOCHASTIC FRONTIER PRODUCTION and COST FUNCTION ESTIMATION, Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA) Working Papers 96/07, tcoelli@metz.une.edu.au

CZECH ICT ALLIANCE (2015): ICT in the Czech Republic. Czech ICT Alliance. [Consulta 2015-06-29] Disponible en: <http://www.czechict.cz/ict-in-the-czech-republic-en-3.htm?lang=en>

DEDRICK J., GURBAXANI V., KRAEMER K.L, (2003): “*Information Technology and Economic Performance: A Critical Review of the Empirical Evidence*”, *ACM Computing Surveys*, **35**(1), pp. 1–2.

DRUCKER P.F., (1993): *La sociedad pos-capitalista*. Apostrofe, ISBN 9788445500538.

FARRELL M.J., (1957): “*The Measurement of Productive Efficiency*”, Blackwell Publishing for the Royal Statistical Society Stable, **120**(3) pp. 253-290

FÄRE R., GROSSKOPF S., NORRIS M., ZHANG Z., (1994): “*Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries*”, *American Economic Review*, **84**(1), pp. 66-83.

FERNANDEZ M., J., LOPEZ S., J.I., RODRIGUEZ D., A., SANDULLI, F. D.. ,(2007): “*El impacto del uso efectivo de las tic sobre la eficiencia técnica de las empresas españolas*”. *Estudios gerenciales*. **23**(103), pp. 65-84. ISSN 0123-5923. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-59232007000200003&lng=en&nrm=iso>.

GARGALLO-CASTEL A., GALVE-GÓRRIZ C., (2012): “*The Impact of ICT on Productivity: The Moderating Role of Worker Quality and Quality Strategy*”. *Management of Technological Innovation in Developing and Developed*

Countries, Dr. HongYi Sun (Ed.), ISBN: 978-953-51-0365-3.

GÉRALD D.A., (2006): El capital humano en las teorías del crecimiento económico. ISBN-10: 84-689-7764-0, Disponible en www.eumed.net/libros/2006a/

GREENE W.H., (1993): "*The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*" The Econometric Approach to Efficiency Analysis, in H.O. Fried, C.A.K. Lovell, S.S. Schmidt (eds), Oxford University Press, London, **68**(119).

HEEKS R., (2010): "*Policy Arena: Do Information Communication Technologies (ICTS) Contribute to Development?*", Journal of International Development, 22, pp. 625-640.

HENDRIKS P., (1999): "*Why Share Knowledge? The Influence of ICT on the Motivation for Knowledge Sharing*", Knowledge and Process Management, **6**(2), pp. 91-100.

HENNINGSEN A., COELLI T., (2015): *Package 'frontier', R statistics. Version 1.1-0*

HOLLINGSWORTH B., DAWSON P.J., MANIADAKIS N., (1999): "*Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods and applications*", Health care management science, **2**(3), pp. 161-72.

ICEX (2015): Sectores de oportunidad: Hungría. ICEX [Consulta 2015-07-08] Disponible en: <http://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/exportar-a/sectores-de-oportunidad/index.html?idPais=HU>

IRAIZOZ B., RAPÚN M., (1996): "*Eficiencia técnica de la industria agroalimentaria de Navarra*" Revista española de economía agraria, n. 178, p. 115-135.

JACKSON J., (2014): "Los programadores aficionados están en aumento", IDG News Service, [Consulta 2015-06-22] Disponible en: <http://cioperu.pe/articulo/14862/idc-los-programadores-aficionados-estan-en-aumento/?p=2>

KHUONG V.U., (2005): "*Measuring the Impact of ICT Investments on Economic Growth*", Program on Technology and Economic Policy, Harvard Kennedy School of Government, email: khuong_vu@ksg.harvard.edu.

KRAMER W.J., JENKINS B., KATZ R.S., (2007): The Role of the Information and Communications Technology Sector in Expanding Economic Opportunity. Cambridge, MA: Kennedy School of Government, Harvard University.

KRUGMAN P.R., (2000): "*Technology, trade and factor prices*". Journal of International Economics, **50**(1), pp. 51-71.

KUMBHAKAR S.C., LOVELL C.K., (2003): "*Stochastic frontier analysis*", Cambridge University Press.

LAM C.K. (2010): "Estimating cross-country technical efficiency economic performance and institutions- A Stochastic Production Frontier Approach", 29th General Conference of the International Association for Research in Income and Wealth, Finland, August 20-26.

LIMAN Y.R., MILLER S.M., (2004): "Explaining Economic Growth: Factor Accumulation, Total Factor Productivity Growth and production Efficiency Improvement". University of Connecticut Department of Economics. Working paper, N^o 2004-20.

MAO J., LIU N., (2010): "*Empirical analysis on technology innovation efficiency of Chinese high technology industry based on DEA method*", Proceedings - 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering, ICIII 2010, pp. 626-630.

MANSFIELD G.M., FOURIE L.C.H., (2004): "*Strategy and business models strange bedfellows? A case for convergence and its evolution into strategic architecture*". South African Journal of Business Management, **35**(1), pp. 35-44.

MAGAJI S., EKE C.I., (2013): "*Measuring Technical Efficiency of Wireless and Wired Technologies in Nigeria Cyber Cafés*", CBN Journal of Applied Statistics **4** (1).

MAGRETTA J., (2002): "*Why Business Models Matter*", Harvard Business Review, **80**(5), pp 86-92.

MARKETLINE, (2012): European Software Market 2011. Marketline.

MENDES B.A., SOARES DA SILVA L.D.G.E, AZEVEDO M.J., (2013): Efficiency measures in the agricultural sector. Springer.

MICHIGAN TELECOMMUNICATIONS AND TECHNOLOGY LAW REVIEW. University of Michigan Law School. **11**(2).

MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS AND COMMUNICATIONS, (2012): "*Information and Communications in Japan*" White Paper, Ministry of Internal Affairs and Communications.

OBS Business School (2015): En 2020, más de 30 mil millones de dispositivos estarán conectados a internet, Estudios OBS, OBS Business School.

OECD (2010): OECD information Technology Outlook 2010, OECD Publishing. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1787/it_outlook-2010-en

OECD (2014): "*The Development of fixed broadband networks*", OECD Digital Economy Papers, N° 239, OECD Publishing. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/5jz2m5mlb1q2-en>

OECD (2014): "*Skills and Jobs in the internet economy*", OECD Digital Economy Papers, N°242, OECD Publishing. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/5jxvbrjm9bns-en>

OLINER S.D., SICHEL D.E., (1994): "*Computer and output growth revisited: how big is the puzzle?*", Brooking Papers on Economic Activity, 2, pp. 273-317.

OLIVEIRA-PIRES J., GARCÍA F., (2012): "Productivity of nations: A Stochastic Frontier Approach to TFP Decomposition", Economics Research International, 1-19.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL (2014): "*Los Estados Unidos y China en primer plano de un año record en la presentación de solicitudes de patente*". PR/2014/755, Ginebra, 13 de marzo de 2014. [Consulta 2015-06-30] Disponible en: http://www.wipo.int/pressroom/es/articles/2014/article_0002.html

RODRÍGUEZ J.C., MORAL E., (2006): "*Las tic como instrumento de competitividad para la provincia de Jaén*". Boletín del instituto de estudios giennenses, n°193, I.S.S.N:0561-3590.

SANTÍN D., (2003): "*Eficiencia técnica y redes neuronales: un modelos para el cálculo del valor añadido en educación*" Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Complutense de Madrid.

SCHMIDT E., (2009): Grown Up Digital How the Net Generation Is Changing Your World. Don Tapscott.

SCHREYER P. (2000): "*The contribution of Information and Communication Technology to Output Growth: A study of the G7 Countries*". OECD Science, Technology and Industry Working Papers. 2000/2, OECD Publishing.

SHOSTAK, F., (2001): "What is up with the GDP?", Mises Daily, Mises Institute, Austrian Economics. [Consulta 2015-06-29] Disponible en: <https://mises.org/library/what-gdp>

SILVERSTONE R., HADDON L. (1996): "*Design and the Domestication of Information and Communication Technologies: Technical Change and Everyday Life*", The Politics of Information and Communication Technologies, Oxford University Press, Oxford, pp.44-74.

SLOVENIA PARTNER (2015): ICT Slovenia partner. [Consulta 2015-06-29] Disponible en: <http://www.sloveniapartner.eu/industries/ict/>

SYED A.A N., MUHAMMAD A., (2013): "*The hybrid maize production in district chiniot: a cobb- Douglas model approach*" Institute of Agricultural and Resource Economics, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan, **4**(10), pp. 536-540.

TEN RAA, T., (2008): "*Debreu's coefficient of resource utilization, the Solow residual, and TFP: the connection by Leontief preferences*". Journal of Productivity Analysis, **30**(3), pp. 191-199.

THE BOSTON CONSULTING GROUP, (2012): "*The internet Economy in the G-20*", The Boston Consulting Group.

VENABLES W.N., RIPLEY B.D., (2002): Modern Applied Statistics with S. Springer.