



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Carrera de Administración de Empresas

“Análisis comparativo de eficiencia en empresas intensivas en investigación y desarrollo del sector manufacturero en Ecuador: aplicación de la metodología Análisis Envolvente de Datos (DEA)”

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera Comercial
Modalidad: Artículo Académico**

Autora:

María Laura Serrano Ordoñez

CI: 0106959752

Correo electrónico: marilaura1697@gmail.com

Tutor:

Ing. Gustavo Giovanni Flores Sánchez, PhD

CI: 0102157161

Cuenca-Ecuador

02-julio-2021



Resumen:

La presente investigación tiene como objetivo principal realizar un análisis de la eficiencia de las empresas intensivas en Investigación y Desarrollo (I+D) del sector manufacturero ecuatoriano durante el periodo 2012-2018. El estudio se fundamenta en el Análisis Envolvente de Datos, considerada como la herramienta no paramétrica más adecuada para la medición de eficiencia. Para la aplicación del modelo y selección de variables se tomó información financiera anual de aquellas empresas, que según la agrupación industrial de McKinsey Global Institute (MGI) corresponden al sector intensivo en I+D. Esta información financiera se encuentra en las bases de datos de la Superintendencia de Compañías Valores y Seguros. Se utilizó el modelo DEA BCC-O orientado a las salidas para determinar los niveles de eficiencia de las empresas y subsectores. Con base en los resultados obtenidos sólo 5 de las 221 empresas lograron ser eficientes al 100% durante los siete años evaluados. Por otro lado, el subsector que alcanzó la eficiencia total fue el de “Fabricación de otros tipos de equipo de transporte (C30)”, mientras que el subsector de “Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)” obtuvo el nivel de eficiencia más bajo, siendo este del 64%.

Palabras claves: Eficiencia. Análisis Envolvente de Datos. Unidad Tomadora de Decisiones.



Abstract:

The main objective of this research is to carry out an analysis of the efficiency of companies intensive in Research and Development (R&D) of the Ecuadorian manufacturing sector during the period 2012-2018. The study is based on Data Envelopment Analysis, considered the most appropriate non-parametric tool for measuring efficiency. For the application of the model and selection of variables, annual financial information was taken from those companies, which according to the McKinsey Global Institute (MGI) industrial group correspond to the intensive R&D sector. This financial information is in the databases of the Superintendency of Securities and Insurance Companies. The output-oriented DEA BCC-O model was used to determine the efficiency levels of companies and subsectors. Based on the results obtained, only 5 of the 221 companies managed to be 100% efficient during the seven years evaluated. On the other hand, the subsector that achieved total efficiency was "Manufacture of other types of transport equipment (C30)", while the "Manufacture of chemical substances and products (C20)" subsector obtained the highest level of efficiency low, this being 64%.

Keywords: Efficiency. Data Envelopment Analysis. Decision Making Unit.



Índice del Trabajo

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el repositorio institucional.....	6
Cláusula de propiedad intelectual.....	7
1. Introducción.....	8
2. Revisión de Literatura.....	10
2.1. Marco Teórico.....	10
2.2. Estado del arte	14
3. Metodología.....	18
3.1. Primera etapa.....	18
3.2. Segunda etapa.....	19
3.3. Tercera etapa.....	19
4. Datos y selección de variables.....	20
4.1. Descripción de Datos.....	20
4.2. Descripción del Sector de Estudio.....	20
4.3. Selección de variables.....	21
5. Resultados.....	23
5.1. Caso 1: Medición de eficiencia a nivel general (221 empresas).....	24
5.1.1. Validación de resultados del modelo DEA para el caso 1.....	25
5.1.2. Lista de empresas más eficientes.....	26
5.2. Caso 2: Medición de eficiencia por Subsector.....	27
5.2.1. Análisis de Holguras.....	29
6. Conclusiones.....	32
7. Bibliografía.....	36
8. Anexos.....	40
8.1. Anexo 1. Eficiencia anual de las 221 empresas.....	40
8.2. Anexo 2. Protocolo de Trabajo de Titulación.....	46



Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de empresas intensivas en I+D por subsector.....	20
Tabla 2. Identificación de variables del modelo DEA para la industria manufacturera.....	21
Tabla 3. Correlación de Pearson entre variables de entrada y salida.....	23
Tabla 4. Resumen de los resultados de eficiencia para el caso 1.....	24
Tabla 5. Resultados clasificación para el caso 1.....	26
Tabla 6. Lista de empresas más eficientes durante el periodo 2012-2018.....	26
Tabla 7. Eficiencia por subsector en el periodo 2012-2018.....	27
Tabla 8. Variación promedio de la eficiencia por subsector en el periodo 2012-2018.....	29
Tabla 9. Valores promedio anuales de las variables input y output.....	30
Tabla 10. Holguras promedio de las variables de entrada y de salida por subsector.....	30
Tabla 11. Holguras promedio de las variables de entrada y de salida por subsector (%)......	31

Lista de figuras

Figura 1. Comparación de modelos DEA.....	13
Figura 2. Porcentaje de empresas intensivas en I+D por región.....	21
Figura 3. Diagrama de cajas de eficiencia para el caso 1.....	25
Figura 4. Eficiencia por subsector en el periodo 2012-2018.....	28



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, María Laura Serrano Ordoñez en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis comparativo de eficiencia en empresas intensivas en investigación y desarrollo del sector manufacturero en Ecuador: aplicación de la metodología Análisis Envoltante de Datos (DEA)", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 2 de julio del 2021

María Laura Serrano Ordoñez

C.I: 0106959752



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo María Laura Serrano Ordoñez, autora del trabajo de titulación “Análisis comparativo de eficiencia en empresas intensivas en investigación y desarrollo del sector manufacturero en Ecuador: aplicación de la metodología Análisis Envolvente de Datos (DEA)” certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 2 de julio del 2021

María Laura Serrano Ordoñez

C.I: 0106959752



1. Introducción

El sector manufacturero representa un eje fundamental para el desarrollo económico de varios países, puesto que es uno de los sectores que más aporta al PIB en economías desarrolladas además de generar crecimiento de la productividad, del empleo, inversión en investigación y desarrollo, entre otros. En nuestro país es uno de los sectores más importantes debido a que es el principal sector de generación de valor agregado, representa el 14% de aporte al Producto Interno Bruto y registra el 11% de generación de fuentes de empleo adecuado (Ekos, 2019).

Por otro lado, el crecimiento demográfico ocasiona que los niveles de consumo de bienes y servicios incrementen de manera constante y de manera acelerada; ante lo cual las empresas se ven obligadas a mantener un alto nivel de competitividad mediante la innovación y el desarrollo continuo, por lo que el estudio de las empresas intensivas en I+D resulta ser un tema de importancia actual.

(Mackinsey Global Institute [MGI], 2012), en su reporte: “*Manufacturing the Future*”, propone una clasificación de las empresas manufactureras agrupadas en cinco macro-sectores: 1) sectores de fabricación orientados a mercados regionales, 2) sectores de innovación global en mercados locales, 3) sectores intensivos en energía y recursos naturales, 4) sectores de tecnología y mercados globales y 5) sectores intensivos en trabajo. Para este estudio, se consideraron dos macro-sectores: 1) sectores de innovación global en mercados locales integrado por 6 sub-sectores; y 2) sectores de tecnología y mercados globales integrado por 3 sub-sectores. De acuerdo con el MGI, estos dos macro-sectores son intensivos en I+D y compiten en innovación.

Las empresas intensivas en investigación y desarrollo se enfrentan más que nunca al reto de asimilar fuertes y continuos cambios tecnológicos además de cambios sociales y del entorno, nuevas regularizaciones y legislaciones, recursos de capital, entre otros. En este contexto, existe una elevada competitividad en



innovación y calidad, que se genera de la evolución de los diferentes mercados hacia la globalización.

Es por ello, que este estudio tiene como objetivo principal dar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿Cuál es el conjunto de empresas manufactureras intensivas en I+D con mayores niveles de eficiencia? ¿A qué región, provincia y ciudad pertenecen las empresas más eficientes? ¿Cuál es el comportamiento de los índices de eficiencia en el período de análisis? ¿Cuáles son los subsectores más eficientes y cuál es su comportamiento dentro del periodo analizado?

La metodología a ser utilizada en este análisis es el Análisis Envolvente de Datos (DEA, del inglés, *Data Envelopment Analysis*). DEA es una técnica no paramétrica cuyo desarrollo matemático corresponde al trabajo de Charnes, Cooper y Rhodes (1978), basado en los trabajos preliminares de (Farrell, 1957), quien originalmente investiga el concepto de eficiencia. Además, DEA es una técnica de investigación operativa muy importante que se focaliza en el análisis y medición de la eficiencia de las empresas que producen bienes y servicios mediante la utilización de diferentes insumos que serán tomados como variables de entrada (*inputs*) para convertirlos en productos conocidos como variables de salida (*outputs*).

El análisis DEA permite obtener el nivel de eficiencia de cada unidad de toma de decisiones conocida como DMU, y de manera posterior comparar las empresas que resultan ineficientes con aquellas empresas que han logrado alcanzar la eficiencia óptima, llegando a ser las segundas un referente de mejora para las primeras. DEA presenta múltiples ventajas sobre técnicas paramétricas como el hecho de que permite introducir múltiples entradas y múltiples salidas medidas en distintas unidades, indica la ineficiencia por medio de la cuantificación de la sobreutilización de inputs o el nivel óptimo de outputs. Otra ventaja que tiene DEA es el hecho de que permite explotar al máximo los datos disponibles y no necesita parámetros estimados de antemano, es decir que no requiere realizar una suposición con antelación de la forma de la frontera de eficiencia (Quian, Lu, Lu y Zhang, 2010).



En la actualidad, su aplicación se evidencia alrededor del mundo en múltiples estudios de diferentes áreas, tales como: medición del desempeño en entidades del sector financiero, instituciones educativas, eficiencia de servicios públicos, benchmarking de procesos logísticos, medición de productividad docente, industrias farmacéuticas, estudios sectoriales, entre otros; demostrando así que DEA es considerada como la técnica más adecuada para medir eficiencia en las empresas (Restrepo y Villegas, 2007).

La presente investigación parte de una revisión del marco teórico y estado del arte de los estudios más recientes; en segundo lugar, se hace referencia al proceso metodológico; seguidamente se hace una descripción de los datos y sector de estudio; luego se detalla el proceso para la selección de variables y validación de las mismas; finalmente se muestran los principales resultados y se exponen las conclusiones de los mismos.

2. Revisión de Literatura

2.1. Marco Teórico

La medición de la eficiencia tiene sus orígenes en los estudios de (Koopmans, 1951), en los cuales por primera vez se menciona el concepto de eficiencia técnica. Más adelante otros autores como Farrell y Fieldhouse (1962) desarrollan una aproximación cuantitativa de la eficiencia, comparando unidades de toma de decisión entre sí. Desde entonces, varias investigaciones se han enfocado en desarrollar diferentes técnicas para la medición de la eficiencia desde las más básicas hasta las más avanzadas como lo es el Análisis Envoltante de Datos o DEA por sus siglas en inglés: *Data Envelopment Analysis*.

DEA es una técnica no paramétrica desarrollada a partir del concepto de productividad expuesto por (Farrell, 1957), el cual se basa en el planteamiento que la productividad debe ser entendida como la relación entre el nivel de producción obtenido y los recursos consumidos para lograr este nivel. Por lo tanto, la eficiencia es el logro de una meta al menor costo posible, optimizando al máximo



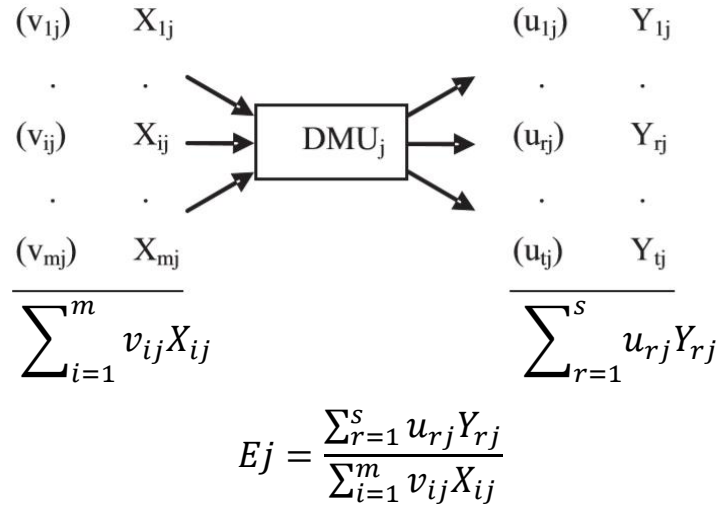
los recursos a ser empleados para alcanzar una mayor utilidad (Coll y Blasco, 2007). Es decir, una empresa será eficiente si ésta obtiene un mayor nivel de productividad cuando en sus procesos utiliza la menor cantidad de insumos o entradas (*inputs*) para obtener la mayor cantidad de productos o salidas (*outputs*) (Coelli, Estache, Perelman y Trujillo, 2003).

La técnica DEA como tal fue desarrollada por Charnes, Cooper, y Rhodes en 1978. Esta técnica permitió conocer el nivel de eficiencia de cada DMU, resultante de la mejor combinación de inputs y outputs. De esta manera, una unidad o cualquier objeto de medición es eficiente cuando consume menos recursos para obtener un nivel de producto dado o cuando obtiene un mayor nivel de producto con los recursos disponibles (Norman y Stoker, 1991).

Las Unidades Tomadoras de Decisiones (DMU, *Decision Making Unit*) son criterios de decisión entre los cuales se desea establecer un orden jerárquico según su nivel de eficiencia, esto con el fin de conocer cuáles son las más eficientes o simplemente poder agruparlas en dos clases para distinguir entre eficientes e ineficientes. Las DMUs pueden ser: empresas, hospitales, centros de salud, escuelas, universidades, hoteles, municipios, o cualquier organización que se dedique a la producción de bienes o prestación de servicios (Chediak y Valencia, 2008). Por lo tanto, DEA tiene como objetivo principal evaluar el desempeño de un grupo de DMUs con respecto a la más eficiente de manera que permita proyectar mejoras en las salidas o disminución en las entradas, teniendo como referencia a aquella DMU eficiente (Cook, Tone y Zhu, 2014).

En el siguiente esquema se ilustra como la *j*-ésima DMU puede tener varias entradas de insumos y varias salidas de producto. El cociente entre la suma ponderada de las entradas y la suma de ponderada de las salidas será el nivel de eficiencia de la *j*-ésima DMU.

Esquema de la eficiencia de la DMU *j*-ésima.



Fuente: Chediak y Valencia (2008).

Donde;

DMU_j = Unidad de decisión j-ésima (j=1.....n).

X_{ij} = cantidad del i-ésimo (i=1....m) insumo consumido por la j-ésima DMU.

Y_{rj} = cantidad del r-ésimo (r=1....s) producto que sale de la j-ésima DMU.

Las X_{ij} y las X_{rj} son parámetros conocidos.

V_{ij} = peso asignado al i-ésimo (i=1...m) insumo consumido por la j-ésima DMU.

U_{rj} = peso asignado al r-ésimo (r=1....s) producto obtenido por la j-ésima DMU.

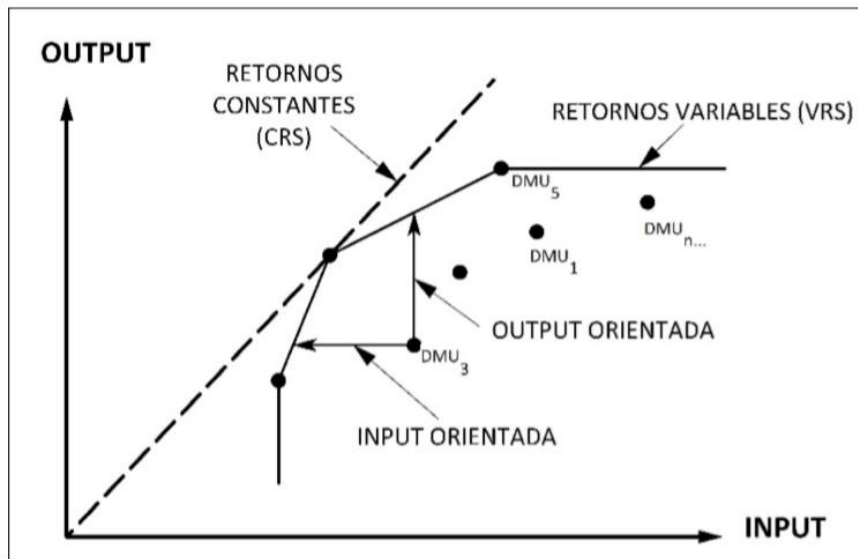
E_j: Eficiencia de la j-ésima DMU.

DEA posee dos modelos estándar, el primero de ellos se aplica bajo el supuesto de que el sector objeto de estudio opera con rendimientos constantes a escala CRS (Constant Return to Scale) o CCR (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978), en este modelo las DMUs ineficientes toman como referencia a aquella DMU con la mayor eficiencia, es decir, aquellas ineficientes no tienen capacidad o los suficientes recursos para alcanzar el nivel de eficiencia de la DMU más eficiente. Por tal motivo, surgió un segundo modelo, creado bajo el supuesto de rendimientos variables a escala VRS (Variable Return to Scale) o BCC (Banker, Charnes, y Cooper, 1984), el cual permite calcular la eficiencia entre DMUs

homogéneas, es decir, las DMUs ineficientes se comparan sólo con aquella DMU eficiente que tenga sus mismas características. Este modelo agrega una restricción de convexidad, como se muestra en la figura 1 la cual permite establecer una región envolvente más amplia que asegura que aquella DMU eficiente es de tamaño similar a las demás (Guzmán, 2005).

Figura 1

Comparación de modelos DEA



Fuente: Farrell (1957).

Además de las dos versiones que mantiene el modelo DEA, éste tiene dos enfoques de aplicación. El primero está orientado a minimizar las entradas mientras las DMUs se mantienen en la curva de posibilidades de producción, para cada versión del modelo se representa de la siguiente manera: CCR – I y BCC – I. El segundo enfoque se orienta a maximizar las salidas dado un nivel fijo de variables de entrada (Navarro y Torres, 2006). De igual manera para las dos variantes del modelo se tiene la respectiva nomenclatura: CCR-O y BCC-O. Cualquiera que sea el enfoque que tome la aplicación del DEA, éste permite determinar la frontera óptima con aquellas DMUs más eficientes (Belmonte y Plaza, 2008).



Chediak y Valencia (2008) indican que la eficiencia es el resultado del cociente entre los insumos y productos de las DMUs. La eficiencia de cada DMU se logra con la mejor combinación de variables de entrada y salida; los pesos usados en esta combinación son calculados mediante la aplicación de un problema de programación lineal, en el cual se debe maximizar o minimizar una función objetivo dependiendo del enfoque de las variables a ser analizadas (entradas o salidas); esto permite establecer la frontera de producción eficiente. Por lo tanto, el nivel máximo de eficiencia se alcanza cuando una DMU se ubica sobre la frontera de producción óptima (Gok y Sezen, 2011).

Después de construir la frontera se evalúa la eficiencia de cada una de las unidades observadas. El ratio de eficiencia varía entre 0 y 1. Cuando el valor de eficiencia sea menor que 1 indica que la DMU es ineficiente y opera por debajo de la frontera de eficiencia. La DMU que obtenga un ratio de eficiencia igual a 1 señala que opera en la frontera de eficiencia y posee una eficiencia del 100% (Coelli et al, 2003).

2.2. Estado del arte

La técnica DEA ha sido implementada para la medición de la eficiencia de varios sectores en distintos escenarios y en diversos países, entre los más recientes tenemos: medición de eficiencia energética en la industria sueca (Zhang, Lundgren y Zhou, 2016), igualmente en la industria de la construcción regional de China (Chen, Liu, Shen y Wang, 2016). En las universidades se ha utilizado DEA para medir la eficiencia de los planes de estudio (Villarreal y Tohmé, 2017) y para la evaluación de la eficiencia en las bibliotecas de universidades españolas (Faccin, García y Lobán, 2018). En el sector de la construcción se ha utilizado para medir la eficiencia laboral en Europa (Nazarko y Chodakowska, 2017), en Ecuador para medir la eficiencia en la industria de la construcción y su relación con el capital de trabajo (Córdova y Alberto, 2018). En el ámbito aduanero se ha aplicado para la medición de la eficiencia logística del transporte de carga internacional en México (Zamora, 2019) medición de la eficiencia de los procesos



logísticos en los trámites aduaneros en Serbia (Kilibarda, Andrejic y Popovic, 2017). Además, se ha aplicado la metodología DEA para la medición de la eficiencia del sector hotelero en Barcelona (Latorre Bueno, 2019), medición de la eficiencia de las empresas agroindustriales del sector de caucho en Colombia (Mendoza y Oliveros, 2018), medición de la eficiencia de las entidades prestadoras de salud (EPS) en Colombia (Fontalvo, 2017), para determinar la eficiencia en los aeropuertos de Corea del Sur (Lee y Kim, 2018), entre otros.

A continuación, se explicará con más detalle las aplicaciones de los diferentes modelos DEA en el sector manufacturero o en industrias pertenecientes al mismo.

En un estudio realizado en Pakistán se empleó el modelo DEA – BCC orientado en los insumos para analizar la eficiencia técnica y sus fuentes en 65 industrias manufactureras a gran escala. Se utilizaron cuatro variables de entrada: activos no corrientes, sueldos y salarios, gastos operacionales y gastos no operacionales, como variable de salida se tomó la contribución al PIB por empresas. Primeramente, se midió la eficiencia de cada empresa y de cada industria, luego se evaluó la eficiencia grupal y por último se analizaron los puntajes generales eficiencia técnica. En los resultados de modelo DEA se encontró que ninguna de las industrias manufactureras era eficiente al 100%, sin embargo, los puntajes de eficiencia aumentaron año tras año en su periodo de análisis. Además, se aplicó un modelo de regresión bootstrap para determinar las fuentes de eficiencia, los resultados de este modelo revelan que la mano de obra tiene un impacto positivo en la eficiencia, mientras que el tamaño del mercado no tiene ningún impacto significativo (Mujaddad y Ahmad, 2016).

En otra investigación realizada en Tailandia se utilizó DEA para medir la eficiencia técnica de las pequeñas y medianas empresas manufactureras y evaluar los principales factores que influyen en el nivel de eficiencia, para ello se utilizaron datos de censos industriales realizados a las empresas entre 1997 y 2007. Los resultados empíricos indican que el promedio de eficiencia técnica es muy bajo, lo cual puede reducir significativamente su aporte a la variable de salida. Los



resultados también revelan que el tamaño de la empresa, la edad, la mano de obra calificada, la ubicación, el tipo de propiedad industrial, la inversión extranjera y las exportaciones son los factores más importantes que contribuyen a la eficiencia técnica de las PYMES manufactureras tailandesas (Charoenrat y Harvie, 2017).

Latif, Fahmy y Sieng (2019) realizaron un estudio en Malasia con el objetivo de evaluar el nivel de eficiencia técnica e identificar los factores que influyen sobre la eficiencia en la industria manufacturera de maquinaria. El estudio se realizó utilizando la técnica DEA en dos etapas. En primer lugar, se calcularon los puntajes de eficiencia utilizando datos de 636 empresas, mientras que en la segunda etapa se llevó a cabo un análisis de regresión Tobit para determinar los principales factores que influyen en la eficiencia industria manufacturera de maquinaria. Se aplicó el modelo DEA – VRS o BCC orientado a las salidas; las variables de entrada para este análisis fueron: activo no corriente, mano de obra y capital, y como variable de salida: ventas totales. Se utilizó el programa DEAP 2.1 para correr el modelo DEA, los resultados generales indican puntajes de eficiencia moderados. El nivel promedio de eficiencia para toda la industria es 0.597, un total de 179 empresas presentaron niveles de eficiencia debajo de 0,5, mientras que el resto alcanzó puntajes moderados y totalmente eficientes.

Smriti y Khan (2018) utilizaron el Análisis Envolvente de Datos (DEA) para obtener las puntuaciones de eficiencia de 1007 empresas manufactureras en Bangladesh. Los resultados obtenidos indican que un total de 29 empresas son eficientes bajo el supuesto de rendimientos variables a escala. Se utilizó el total de ventas como variable de salida la cual se maximizó ya que el modelo que se aplicó fue el DEA – BCC orientado a las salidas y como variables de entrada se consideró el costo total, costo de materia prima, costo de electricidad y el gasto en sueldos y salarios de empleados a tiempo completo. Los factores determinantes que explican la ineficiencia encontrada en este estudio tienen que ver principalmente con el tamaño de la empresa, la experiencia del gerente en el sector de manufactura, las



pérdidas anuales causadas por cortes de energía y número de trabajadores en la planta productiva.

Para evaluar la eficiencia de la industria automotriz en Guanajuato se implementó un modelo DEA orientado a las entradas considerando rendimientos crecientes a escala, puesto que las variables inputs (total de activos fijos, personal ocupado total, horas trabajadas por personal ocupado total), inciden sobre la Producción Bruta Total considerada como variable de salida para este estudio. También se analizó la relación entre especialización productiva y eficiencia mediante el desarrollo de una regresión con datos de panel. Para este estudio se tomó información de los censos económicos realizados en 2004, 2009 y 2014 en los diferentes estados de México. Los principales resultados muestran que los niveles de eficiencia de la industria automotriz de Guanajuato en el 2004 y 2009 se ubicaban en la frontera de eficiencia técnica mientras que para el 2014 bajó al 92% (Santos, Wong y Martínez, 2019).

En Ecuador se utilizó DEA para cuantificar la eficiencia técnica de las medianas empresas (MEs) del sector manufacturo. Las empresas objeto de estudio pertenecen al clasificador C de acuerdo con la Clasificación Internacional Industrial Uniforme – CIIU, además estas empresas tienen una operación activa durante el periodo de análisis (2013-2017). En el cálculo de la eficiencia se aplicaron los modelos DEA CCR y DEA BCC orientado a los insumos, para lo cual se tomó información financiera de 54 MEs pertenecientes a una población de 245 registradas como activas hasta el año 2017. Considerando rendimientos constantes de escala (DEA CCR), las medianas empresas obtuvieron un promedio de eficiencia técnica entre el 83,1% y 91,1% y para rendimientos variables de escala (DEA BCC) obtuvieron un promedio entre 94,3% y 98,4%. Asimismo, en el caso de rendimientos constantes de escala, el 31% de MEs trabajan con niveles máximos de eficiencia, mientras que en el caso de rendimientos variables de escala corresponden al 78% de MEs. Por último, se concluyó que sólo un 4% de las medianas empresas del sector manufacturero operan con bajos niveles de eficiencia (Ibujés, 2019).

3. Metodología

La presente investigación sigue un procedimiento metodológico de tres etapas, las cuales se detallan a continuación.

3.1. Primera etapa

Se elige el modelo DEA que será utilizado para obtener los niveles de eficiencia. Para este estudio se aplicó el modelo BCC que plantea el supuesto que las DMUs trabajan con rendimientos variables a escala, lo que quiere decir que un aumento proporcional en los inputs no significa que exista un aumento proporcional en los outputs de todas las DMUs, por lo tanto, es el modelo que más se adapta a este caso ya que las DMUs a analizar son muy heterogéneas entre ellas. Entonces, este modelo permite comparar los niveles de eficiencia de las DMUs ineficientes con aquella eficiente, pero de su mismo tamaño o características. Por otro lado, el modelo está orientado a las salidas (BBC-O), puesto que se medirá la eficiencia de cada DMU mediante la maximización de la variable de salida dado sus niveles de inputs.

La expresión matemática del modelo DEA BCC-O es la siguiente:

Maximizar:

$$\sum_{r=1}^s U_r \cdot Y_{rj}$$

Sujeto a:

$$\sum_{r=1}^s u_r \cdot Y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i \cdot X_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^m V_i \cdot X_{ij} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

$$j = 1, \dots, n; \quad r = 1 \dots s; \quad i = 1 \dots m$$



Donde;

X_{ij} = cantidad del i -ésimo ($i=1\dots m$) insumo que entra a la j -ésima ($j=1\dots n$) DMU.

Y_{rj} = cantidad del r -ésimo ($r=1\dots s$) producto que sale de la j -ésima ($j=1\dots n$) DMU.

Las X_{ij} y las Y_{rj} son parámetros conocidos.

V_{ij} = peso del i -ésimo ($i=1\dots m$) insumo que entra a la j -ésima ($j=1\dots n$) DMU.

U_{rj} = peso del r -ésimo ($r=1\dots s$) producto que sale de la j -ésima ($j=1\dots n$) DMU.

DMU $_j$ = Unidad de decisión.

3.2. Segunda etapa

En esta etapa se elabora una base de datos que contiene información respecto a las variables de entrada y salida de las empresas a ser analizadas, dichos datos se tomaron de las bases digitales de la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros, en donde se encuentra la información financiera anual de cada empresa. Las empresas se denominan como DMU1, DMU2, DMU3..., DMU $_n$. Las variables serán seleccionadas de acuerdo con investigaciones de otros autores y conforme la información disponible. Además; se realizará un análisis de correlación entre variables y se determinará su significancia.

Posteriormente se procede a organizar y estructurar la información de las variables de entrada y salida en el formato sugerido por el programa estadístico que se encargará de la lectura y procesamiento de dicha información. El procesamiento de datos se lo realizó utilizando los softwares: RStudio, Microsoft Excel y Real Statistics.

3.3. Tercera etapa

Presentación y análisis de los resultados obtenidos y otra información relevante en el periodo de análisis. Se construye un ranking de las empresas manufactureras con mayores niveles de eficiencia y se analiza la eficiencia obtenida en cada subsector.

4. Datos y selección de variables

4.1. Descripción de Datos

Se tomará la información de los estados financieros de las empresas manufactureras intensivas en I+D durante el periodo 2012-2018, que de acuerdo con la clasificación propuesta por el MGI corresponden a los subsectores: C20, C21, C26, C27, C28, C29, C30, C31 y C33 de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) del sector manufacturero en el Ecuador. Dicha información financiera está disponible en las bases digitales de la (Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros [SUPERCIAS], 2018). Posteriormente se llevó a cabo una depuración de las empresas que conforman el grupo de estudio ya que se va a medir la eficiencia en siete años (2012-2018) y la técnica DEA requiere que la información esté completa para todas las DMUs durante el periodo de análisis y de esta manera el software proceda con la lectura de dicha información. Finalmente, la base quedó conformada por 221 empresas.

4.2. Descripción del Sector de Estudio

De acuerdo con el McKinsey Global Institute las empresas manufactureras intensivas en I+D pertenecen a 9 subsectores del sector manufacturero ecuatoriano. La tabla 1 indica esta clasificación.

Tabla 1

Clasificación de empresas intensivas en I+D por subsector

Macro sector	Subsector
Sectores de innovación global en mercados locales	C21. Fabricación de productos farmacéuticos
	C27. Fabricación de equipos electrónicos
	C28. Fabricación de maquinarias y equipos ncp
	C29. Fabricación de vehículos automotores
	C30. Fabricación de otros tipos de equipo de transporte
Sectores de tecnología y mercados globales	C26. Fabricación de productos de informática y electrónica
	C31. Fabricación de muebles

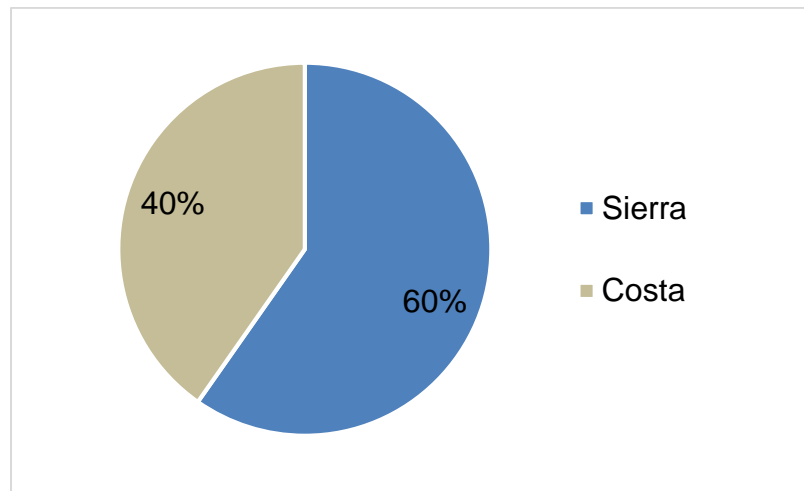
C33. Reparación e instalación de maquinaria y equipos

Fuente: MGI (2012).

Las empresas a ser analizadas se distribuyen en las regiones Costa y Sierra. Se consideraron únicamente las dos regiones debido a que sólo estas dos poseen empresas con información completa en los siete años a ser evaluados, además sin considerar la depuración de información, la mayoría de las empresas manufactureras se encuentran concentradas en estas dos regiones, de ahí que para este estudio el 60% de empresas se ubican en la Sierra y el 40% en la Costa.

Figura 2

Porcentaje de empresas intensivas en I+D por región



Fuente SUPERCAS (2018).

4.3. Selección de variables

La identificación de variables se llevó a cabo tomando como referencia estudios previos realizados. La tabla 2 muestra información de autores, país, año, variables de entrada y salida de algunos de los estudios más recientes realizados en el sector manufacturero o en industrias pertenecientes al mismo.

Tabla 2

Identificación de variables del modelo DEA para la industria manufacturera



Referencia	País	Inputs	Outputs
(Herrera, Mendoza y Cadavid, 2015)	Colombia	Inventarios Propiedad, planta y equipo Activo corriente Pasivo	Utilidad Operativa
(Mujaddad y Ahmad, 2016)	Pakistán	Activos no corrientes Mano de Obra Costo industrial Costo no industrial	Contribución al PIB
(Mahajan, Nauriyal y Singh, 2018)	India	Materia prima Sueldos y salarios Publicidad y marketing Costos de capital	Ingresos netos por ventas
(Smriti y Khan, 2018)	Bangladesh	Costo total Costo de materia prima Costo de electricidad Mano de obra a tiempo completo	Ventas totales
(Santos, Wong y Martínez, 2019)	México	Total de activos fijos Personal ocupado total Horas trabajadas por personal ocupado total	Producción Bruta total
(Latif, Fahmy y Sieng, 2019).	Malasia	Activo no corriente Mano de obra Capital	Ventas totales
(Ibujés, 2019)	Ecuador	Activos corrientes Activos no corrientes Costo de ventas Gastos operacionales Gastos no operacionales	Ingresos Utilidad del ejercicio



(Bwana y Ally, 2019) Tanzania	Materia prima Gasto de personal Propiedad, planta y equipo	Ventas netas Utilidad neta
-------------------------------	---	-------------------------------

Elaboración propia.

Luego de revisar los estudios previos y de acuerdo con la información disponible se seleccionaron como variables de entrada a las siguientes: Activo total (ACT), Inventarios (INV), Gastos de ventas y administrativos (GVA), Gastos financieros (GFI), y como variable de salida: Ingresos por ventas (ING). Estas variables se validaron por medio de un análisis de Correlación de Pearson y el nivel de significancia de cada una de ellas, obteniendo un nivel estadístico significativo.

Tabla 3

Correlación de Pearson entre variables de entrada y salida

Inputs		Output
		ING
ACT	Correlación de Pearson	0,94
	Sig. (bilateral)	0,000 **
INV	Correlación de Pearson	0,89
	Sig. (bilateral)	0,000 **
GVA	Correlación de Pearson	0,64
	Sig. (bilateral)	0,022 *
GFI	Correlación de Pearson	0,53
	Sig. (bilateral)	0,000 **

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia utilizando RStudio.

5. Resultados

Se empleó el modelo DEA BCC – O para dos casos de análisis. En el primer caso se midió la eficiencia de las 221 empresas en general sin considerar el subsector al que pertenecen, y en el segundo caso se midió la eficiencia por cada subsector. Estos dos análisis permiten que un sector con empresas muy heterogéneas pueda

ser analizado desde diferentes enfoques, y de esta manera se logra conseguir una evaluación más amplia y una mejor comparación de resultados.

5.1. Caso 1: Medición de eficiencia a nivel general (221 empresas)

Debido a la cantidad de DMUs a evaluar y para facilitar su interpretación, los resultados se reunieron en forma de resumen en tabla 4. En el anexo 1 se encuentran los resultados de medición de eficiencia por año y su respectivo promedio para cada una de las DMUs.

Tabla 4

Resumen de los resultados de eficiencia para el caso 1

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
DMUs eficientes	26	31	22	21	30	17	15
Eficiencia promedio (%)	0,50	0,57	0,54	0,54	0,71	0,46	0,44
Máximo	1	1	1	1	1	1	1
Mínimo	0,13	0,12	0,10	0,13	0,15	0,05	0,07
DMUs	221	221	221	221	221	221	221

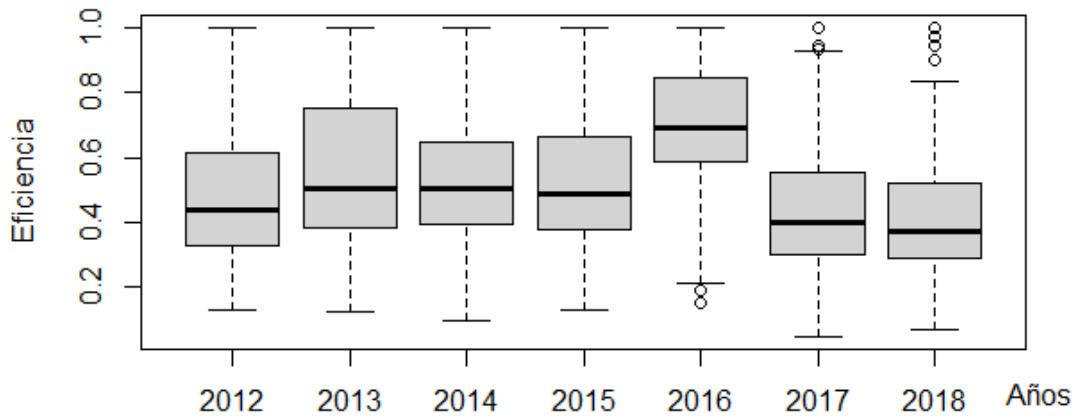
Fuente: Elaboración propia utilizando RStudio.

El promedio de eficiencia más alto se logró en el 2016 alcanzando un valor de 71%, mientras que el promedio más bajo fue de 44% en el año 2018. Se observa también que el número de empresas que alcanzaron el 100% de eficiencia es mayor en el 2013 con 31 DMUs eficientes, y el menor número fue en el 2018 que contabilizó 15 DMUs eficientes, lo que en términos de porcentajes corresponden al 14 % y 7% respectivamente.

Además de la tabla resumen, los resultados se recogieron en un diagrama de cajas y superposición de datos en el cual se observa la dispersión de los niveles de eficiencia alcanzados por las empresas en cada año. De esta manera el diagrama de cajas permite tener una mejor apreciación de los resultados en forma gráfica, de modo que se visualiza el comportamiento de los valores de eficiencia y su evolución temporal dentro del periodo analizado.

Figura 3

Diagrama de cajas de eficiencia para el caso 1



Fuente: Elaboración propia utilizando RStudio.

El diagrama de cajas proporciona información sobre los valores mínimo y máximo, cuartiles, existencia de valores atípicos y la simetría o asimetría de la distribución. En la figura 4 se puede observar la presencia de valores considerados como atípicos en la parte inferior para el 2016 y en la parte superior para los años 2017 y 2018. Asimismo, se observa cómo el rango intercuartílico se localiza mayoritariamente en la zona media-baja a excepción del año 2016 el cual se localiza en la zona media-alta. Por otro lado, se aprecia también que existe concentración de datos en casi todos los años a excepción del año 2013 el cual presenta ligeramente una mayor dispersión.

5.1.1. Validación de resultados del modelo DEA para el caso 1

En Excel existe una herramienta estadística avanzada llamada Real Statistics y una de sus funciones permite realizar el Análisis Discriminante el cual permite validar los resultados de la aplicación de cualquier modelo cuando dichos resultados se obtienen en diferentes categorías o niveles, para el caso de este estudio se tratan de resultados para empresas eficientes y no eficientes. (De La Hoz, et al, 2018 y Fontalvo, et al, 2018) han demostrado en sus investigaciones la pertinencia del Análisis Discriminante para validar los procesos de clasificación y pertenencia de grupos.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de este análisis y se observa que el modelo clasificó correctamente las DMUs al 100% tanto para eficientes como para no eficientes.

Tabla 5

Resultados clasificación para el caso 1

	Clasificación	Predicción del grupo de pertenencia		Total
		Eficientes	No eficientes	
Recuento	Eficientes	5	0	5
	No eficientes	0	216	216
Porcentaje	Eficientes	100%	0%	100%
	No eficientes	0%	100%	100%
Recuento clasificación correcta		221		
Porcentaje clasificación correcta		100%		

Fuente: Elaboración propia utilizando Real Statistics.

5.1.2. Lista de empresas más eficientes

Uno de los objetivos de este estudio fue establecer una lista de las empresas más eficientes que sirvan como referentes para las demás empresas. Por lo tanto, como se pudo observar en la tabla anterior sólo 5 empresas conforman esta lista de eficientes, las cuales alcanzaron la eficiencia del 100%.

La tabla 6 muestra las DMUs más eficientes, además se indica la región, provincia y ciudad a la cual pertenece cada una de ellas.

Tabla 6

Lista de empresas más eficientes durante el periodo 2012-2018

DMU	Nombre	CIU	Región	Provincia	Ciudad			
DMU 11	Omnibus Transportes S.A.	29	Sierra	Pichincha	Quito			
DMU 60	IASA-Servicio S.A.	33	Costa	Guayas	Guayaquil			
DMU 89	Arcoteles Cía. Ltda.	33	Sierra	Azuay	Cuenca			
DMU 109	Unilever Andina Ecuador S.A.	20	Costa	Guayas	Guayaquil			
DMU 111	Agrobiociencia P.S. Cía. Ltda.	20	Sierra	Pichincha	Quito			
DMU	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio



DMU 11	1	1	1	1	1	1	1	1
DMU 60	1	1	1	1	1	1	1	1
DMU 89	1	1	1	1	1	1	1	1
DMU 109	1	1	1	1	1	1	1	1
DMU 111	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia utilizando RStudio.

Se aprecia que las DMUs 11, 60, 89, 109 y 111 son las que alcanzaron el promedio de eficiencia del 100% es decir; que cada DMU obtuvo niveles de eficiencia igual a 1 en todos los años del periodo estudiado. Dos empresas pertenecen al subsector de “Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)”, otras dos al de Reparación e instalación de maquinaria y equipos (C33) y una al de “Fabricación de vehículos automotores (C29).

5.2. Caso 2: Medición de eficiencia por Subsector

La aplicación del modelo DEA BCC – O para el segundo caso muestran los siguientes resultados:

Tabla 7

Eficiencia por subsector en el periodo 2012-2018

Subsectores								
C20. Fabricación de sustancias y productos químicos								
C21. Fabricación de productos farmacéuticos								
C26. Fabricación de productos de informática y electrónica								
C27. Fabricación de equipos electrónicos								
C28. Fabricación de maquinarias y equipos ncp								
C29. Fabricación de vehículos automotores								
C30. Fabricación de otros tipos de equipo de transporte								
C31. Fabricación de muebles								
C33. Reparación e instalación de maquinaria y equipos								
Resultados de eficiencia								
Subsector	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
C30	1	1	1	1	1	1	1	1
C26	0,93	0,96	0,92	0,9	0,97	1	0,94	0,95
C28	0,96	1	0,92	0,92	0,85	0,89	0,93	0,92

C27	0,91	0,94	0,91	0,84	0,92	0,89	0,92	0,90
C31	0,86	0,85	0,9	0,83	0,84	0,87	0,87	0,86
C29	0,71	0,74	0,71	0,74	0,80	0,77	0,85	0,76
C33	0,76	0,81	0,78	0,79	0,71	0,76	0,71	0,76
C21	0,75	0,74	0,8	0,72	0,76	0,73	0,72	0,75
C20	0,79	0,79	0,68	0,66	0,56	0,53	0,48	0,64

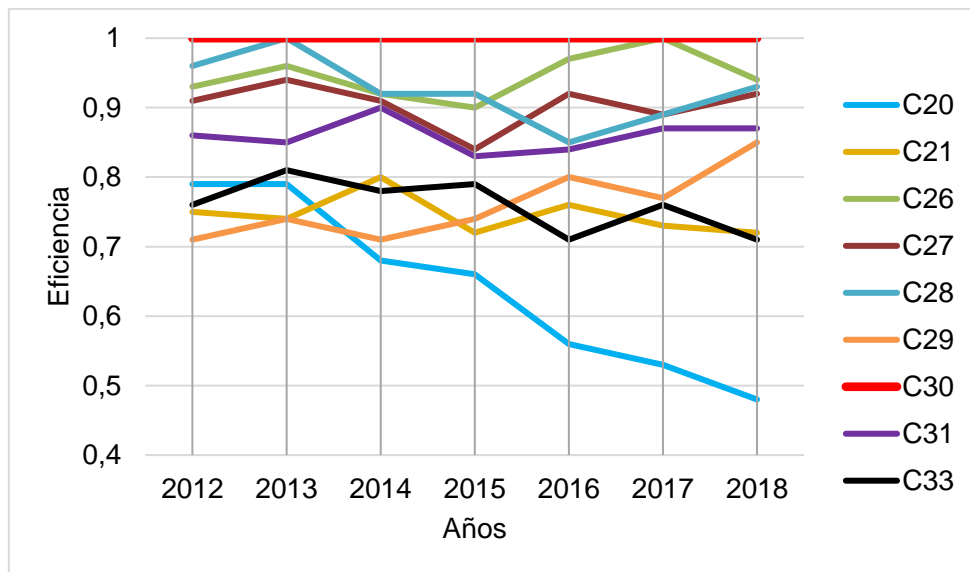
Fuente: Elaboración propia utilizando RStudio.

En términos generales, los subsectores que presentan los mayores niveles de eficiencia son: “Fabricación otros tipos de equipo de transporte (C30)”, “Fabricación de productos de informática y electrónica (C26)” y “Fabricación de maquinarias y equipos ncp (C28)” alcanzando los valores de 100%, 95% y 92% en promedio respectivamente; mientras que el subsector denominado “Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)” obtuvo el nivel más bajo en promedio, siendo este del 64%.

En la siguiente figura se muestra el comportamiento temporal de la eficiencia de los 9 subsectores en cada año.

Figura 4

Eficiencia por subsector en el periodo 2012-2018



Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, se puede apreciar gráficamente que el subsector "Fabricación de otros tipos de equipo de transporte (C30)", alcanzó la unidad de eficiencia en todos los años estudiados. Se observa también que el subsector "Fabricación de productos de informática, electrónica y óptica (C26)" logró ser totalmente eficiente en el año 2017 y el subsector "Fabricación de maquinarias y equipos ncp (C28)" lo logró en el 2013. En cuanto a la tendencia de crecimiento se podría predecir aumentos de eficiencia en los siguientes años para el subsector "Fabricación de vehículos automotores (C29)" puesto que ha experimentado ligeros incrementos de su valor promedio de eficiencia, su tasa de variación promedio corresponde a 3% y es la más alta de los 9 subsectores. Sucede lo contrario con el subsector "Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)", el cual posee una tasa de variación negativa del 8%, por tal motivo se observa caídas significativas de la eficiencia a lo largo del periodo analizado.

La siguiente tabla muestra las variaciones correspondientes para cada subsector.

Tabla 8

Variación promedio de la eficiencia por subsector en el periodo 2012-2018

Subsector	Periodos						Variación Promedio
	1	2	3	4	5	6	
C26	3%	-4%	-2%	8%	3%	-6%	0,3%
C28	4%	-8%	0%	-8%	5%	4%	-0,4%
C27	3%	-3%	-8%	10%	-3%	3%	0,3%
C31	-1%	6%	-8%	1%	4%	0%	0,3%
C29	4%	-4%	4%	8%	-4%	10%	3,2%
C33	7%	-4%	1%	-10%	7%	-7%	-0,9%
C21	-1%	8%	-10%	6%	-4%	-1%	-0,5%
C20	0%	-14%	-3%	-15%	-5%	-9%	-7,8%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. Análisis de Holguras

El programa RStudio incluye en su paquete DEA una función que proporciona los valores de holgura de cada una de las variables estudiadas. El análisis de holguras es muy importante ya que permite identificar los puntos débiles de cada

DMU ineficiente que deberán ser mejorados por medio de una reducción de inputs o aumento de outputs. De este modo, una holgura en las variables de entrada indica la cantidad de reducción de dichas entradas. Por otro lado, una holgura en las variables de salida significa la cantidad adicional de salida que debería generarse con el objetivo de acercar a las DMUs ineficientes a la frontera de eficiencia. (Coelli, et al, 2003).

La tabla 9 muestra el promedio de los valores observados de los inputs y outputs de cada subsector, la tabla 10 indica los valores de holgura obtenidos de la ejecución del modelo DEA BCC – O y la tabla 11 representa estas holguras en términos porcentuales con el fin de obtener una mejor interpretación de resultados ya que no sería apropiado explicar las reducciones de inputs en términos de cantidad debido a la existencia de variables de diferente magnitud para cada subsector.

Tabla 9

Valores promedio anuales de las variables input y output

Subsector	ACT	INV	GVA	GFI	ING
C20	10.204.236,29	2.214.962,31	3.484.594,75	165.333,80	12.825.380,55
C21	13.929.980,71	3.604.304,55	4.911.369,91	189.112,86	18.444.196,83
C26	23.888.476,13	7.622.793,89	4.963.096,99	770.090,17	30.735.545,54
C27	8.483.902,81	2.748.986,71	1.228.508,57	204.320,41	9.572.378,65
C28	9.849.716,88	2.460.304,02	1.062.367,79	196.674,78	7.438.752,44
C29	20.029.245,73	6.129.288,68	2.111.854,31	188.308,33	35.832.261,98
C30	6.565.014,44	2.645.553,48	1.033.932,81	171.304,31	6.568.382,90
C31	6.269.662,88	1.423.240,88	1.839.272,85	169.349,31	8.024.866,77
C33	2.990.898,30	350.169,99	1.467.563,87	36.412,55	5.376.454,78

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Holguras promedio de las variables de entrada y de salida por subsector

Subsector	ACT	INV	GVA	GFI	ING
C20	381.101,53	204.270,05	178.900,90	62.513,47	0,00
C21	538.786,76	240.522,40	271.355,24	26.558,46	0,00
C26	124.121,65	16.364,38	5.074,48	11.455,46	0,00
C27	500.576,59	268.304,12	155.340,82	11.220,93	0,00



C28	16.081,17	12.407,55	3.998,31	2.988,62	0,00
C29	381.973,09	472.455,33	27.221,32	79.601,15	0,00
C30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C31	230.891,98	213.995,88	187.942,47	77.029,76	0,00
C33	124.551,05	202.440,67	133.584,88	6.161,83	0,00

Fuente: Elaboración propia utilizando RStudio.

Tabla 11

Holguras promedio de las variables de entrada y de salida por subsector (%)

Subsector	Inputs				Output ING
	ACT	INV	GVA	GFI	
C20. Fabricación de sustancias y productos químicos	3,70%	9,20%	5,10%	37,80%	0,00%
C21. Fabricación de productos farmacéuticos	3,90%	6,70%	5,50%	14,00%	0,00%
C26. Fabricación de productos de informática y electrónica	0,50%	0,20%	0,10%	1,50%	0,00%
C27. Fabricación de equipos electrónicos	5,90%	9,80%	12,60%	5,50%	0,00%
C28. Fabricación de maquinarias y equipos ncp	0,20%	0,50%	0,40%	1,50%	0,00%
C29. Fabricación de vehículos automotores	1,90%	7,70%	1,30%	42,30%	0,00%
C30. Fabricación de otros tipos de equipo de transporte	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
C31. Fabricación de muebles	3,70%	15,00%	10,20%	45,50%	0,00%
C33. Reparación e instalación de maquinaria y equipos	4,20%	57,80%	9,10%	16,90%	0,00%

Fuente: Elaboración propia utilizando RStudio

El análisis de holguras revela que todos los subsectores deben reducir los inputs a excepción del subsector 30, el cual es el único con eficiencia del 100%.

Los activos poseen las holguras más pequeñas para todos los subsectores, sin embargo, el subsector C27 es que el que debe reducir sus activos en mayor proporción que los demás. La holgura más alta en inventarios corresponde al subsector C33 y es la más alta entre todos los inputs teniendo que conseguir reducir dichos inventarios en un 57%. Los gastos administrativos deben disminuirse principalmente en los subsectores C27, C31 y C33. Por último, los gastos financieros es el input que debe contraerse es más subsectores puesto que refleja amplias holguras para la mayoría de ellos.



Los subsectores C26 y C28 son los que obtuvieron las holguras más pequeñas en todos sus inputs y podría afirmarse que son los subsectores que están haciendo mejor uso de sus recursos. Mientras tanto, el subsector C33 tiene que disminuir principalmente sus inventarios y gastos financieros, lo cual significa que el subsector no está haciendo uso adecuado de estos recursos o están siendo sobre utilizados.

Al tratarse del modelo DEA orientado a las salidas, no se reflejan holguras para las variables output puesto que el objetivo de este modelo es maximizar la variable de salida por medio de la reducción en las entradas. De tal modo que una vez que se apliquen las respectivas disminuciones en los inputs deberían reflejarse los cambios en los outputs. En algunos casos puede que no aumente la variable de salida, no obstante, se habrá logrado reducir las variables de entrada, lo cual se traduce en una mejor utilización de recursos.

6. Conclusiones

Con la aplicación del modelo DEA BCC – O, se pudo medir la eficiencia de 221 empresas ecuatorianas pertenecientes al sector manufacturero intensivo en I+D durante el periodo 2012-2018 y también se midió la eficiencia por subsector dentro del mismo periodo.

En los siguientes párrafos, se responderán de manera clara y sencilla las preguntas planteadas al inicio de esta investigación: P1. ¿Cuál es el conjunto de empresas manufactureras intensivas en I+D con mayores niveles de eficiencia? P2. ¿A qué región, provincia y ciudad pertenecen las empresas más eficientes? P3. ¿Cuál es el comportamiento de los índices de eficiencia en el período de análisis? y P4. ¿Cuáles son los subsectores más eficientes y cuál es su comportamiento dentro del periodo analizado?

P1. ¿Cuál es el conjunto de empresas manufactureras intensivas en I+D con mayores niveles de eficiencia? El conjunto de empresas más eficientes corresponde a las DMUs: 11, 60, 89, 109 y 111. Estas DMUs alcanzaron el 100%



de eficiencia para cada año del periodo estudiado (2012-2018). La DMU 11 pertenece al subsector “Fabricación de vehículos automotores (C29)” para el cual se pronostica un aumento de eficiencia en los siguientes años según su variación creciente. Las DMU 60 y 89 pertenecen al subsector “Reparación e instalación de maquinaria y equipos (C33)” y las DMU 109 y 111 pertenecen al subsector “Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)”.

P2. ¿A qué región, provincia y ciudad pertenecen las empresas más eficientes? Las DMU 11, DMU 89 y DMU 111 pertenecen a la región Sierra, mientras que la DMU 60 y DMU 109 se ubican en la Costa. Las cinco DMUs eficientes se distribuyen entre las principales ciudades del país: Guayaquil, Quito y Cuenca. Las DMUs 11 y 111 están ubicadas en Pichincha – Quito. Las DMUs 60 y 109 se localizan en Guayas – Guayaquil. Y, por último, la DMU 89 pertenece al Azuay – Cuenca.

P3. ¿Cuál es el comportamiento de los índices de eficiencia en el período de análisis? En el primer caso de análisis en donde se midió la eficiencia de las 221 empresas sin considerar el subsector al que pertenecen, los resultados de dicho análisis reflejan que el promedio de eficiencia más alto fue de 71% en el año 2016 y el promedio más bajo fue de 44% en el 2018. Con respecto al número de empresas, la mayor cantidad de empresas ubicadas en la frontera óptima de eficiencia se dio en el año 2013, valor que corresponde a 31 empresas eficientes, mientras que la menor cantidad fue de 15 en el 2018.

P4. ¿Cuáles son los subsectores más eficientes y cuál es su comportamiento dentro del periodo analizado? Los resultados de la aplicación de DEA para el segundo caso indican que el único subsector que alcanzó la eficiencia del 100% fue el de “Fabricación de otros tipos de equipo de transporte (C30)”, le siguen los subsectores “Fabricación de productos de informática y electrónica (C26)” y “Fabricación de maquinarias y equipos ncp (C28)” con valores de eficiencia del 95% y 92% respectivamente. Mientras tanto, el subsector con el nivel más bajo fue el de “Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)” siendo este del



64%. En cuanto al comportamiento de los índices de eficiencia, se conoció que el subsector “Fabricación de vehículos automotores (C29)” ha experimentado ligeros incrementos de eficiencia y presentó una variación positiva promedio del 3%, por tal motivo se pronostica un aumento del nivel de eficiencia para el siguiente año. Por el contrario, se prevé una caída de la eficiencia en los próximos años para el subsector “Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)”, el cual posee una tasa de variación negativa del 8% y presentó caídas significativas de la eficiencia a lo largo del periodo analizado.

Por otro lado, es relevante considerar el análisis de holguras aplicado al caso subsectores ya que permite conocer puntos débiles de cada subsector con el objetivo de indicar la dirección de aquellos aspectos en los que podría mejorar para que pueda alcanzar la eficiencia. De acuerdo con los resultados obtenidos, el subsector “Reparación e instalación de maquinaria y equipos (C33)” y el de “Fabricación de muebles (C31)” son los que deberían reducir en mayor proporción sus inputs puesto que reflejan las holguras más grandes de los 9 subsectores. En cuanto a los inputs, cabe mencionar que los gastos financieros son los que muestran mayor holgura en la mayoría de los subsectores, lo que quiere decir que existe sobreutilización de los mismos y deberían ser reducidos.

En consecuencia, la misión de los gestores empresariales es optimizar los recursos, por medio de la generación de estrategias que eviten las deudas innecesarias, inventarios o personal ocioso, entre otros aspectos importantes referentes a los recursos controlables de la empresa con el fin de lograr una mejor planificación, uso, y control de los mismos.

El haber aplicado DEA en dos distintos casos permitió obtener un mejor análisis de la medición de eficiencia en un sector con empresas muy heterogéneas. Es así que se recomienda para las futuras investigaciones de cualquier campo, se aplique DEA para realizar diferentes análisis para un mismo grupo de DMUs mientras sus características lo permitan.



Finalmente, los resultados de esta investigación proporcionan información sobre las posibles acciones a llevar a cabo por parte de las empresas a nivel individual y colectivo de manera que estas mejoras se logren también para el sector en su conjunto. Asimismo, queda abierto el camino para futuras investigaciones sobre eficiencia organizacional, eficiencia laboral, eficiencia de procesos, entre otros aspectos importantes que influyen en la eficiencia empresarial con el fin de que las prácticas y estrategias de las empresas eficientes puedan ser transferidas a aquellas ineficientes y así mejorar su productividad y competitividad.



7. Bibliografía

- Banker, R. D., Charnes, A., y Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Belmonte, L., y Plaza, J. (2008). Análisis de la eficiencia en las cooperativas de crédito en España. Una propuesta metodológica basada en el análisis envolvente de datos (DEA). *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social Y Cooperativa*, (63), 113–13.
- Bwana, K., y Ally, O. J. (2019). Efficiency of listed manufacturing firms in Dar es Salaam Stock Exchange: Data Envelopment Analysis model. *Business Education Journal*, 7(2). <https://www.cbe.ac.tz/bej/index.php/bej/article/view/179>
- Charnes, A., Cooper, W. W., y Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Charoenrat, T., y Harvie, C. (2017). The Performance of Thai Manufacturing SMEs: Data Envelopment Analysis (DEA) Approach. *Global Business Review*, 18(5), 1178–1198. <https://doi.org/10.1177/0972150917710346>
- Chediak, F., y Valencia, L. (2008). Metodología para medir la eficiencia mediante la técnica de análisis envolvente de datos - DEA. *Vector*, 3(1), 70-81.
- Chen, Y., Liu, B., Shen, Y., y Wang, X. (2016). The energy efficiency of China's regional construction industry based on the three-stage DEA model and the DEA-DA model. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 34-47. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0553-3>
- Coelli, T., Estache, A., Perelman, S., y Trujillo, L. (2003). *Una introducción a las medidas de eficiencia para reguladores de servicios públicos y de transporte*. Bogotá: Banco Mundial.
- Coll, J., y Blasco, O. (2007). Evaluación de la eficiencia de la industria textil Española a partir de información económico- financiera: una aplicación del análisis envolvente de datos. *Revista Investigación Operacional*, 28(1), 61-90. <http://www.invoperacional.uh.cu/index.php/InvOp/article/view/264>
- Cook, W. D., Tone, K., y Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 44, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.09.004>



- Córdova, F., y Alberto, C. (2018). Medición de la eficiencia en la industria de la construcción y su relación con el capital de trabajo. *Revista ingeniería de construcción*, 33(1), 69-82. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000100069>
- De La Hoz, E., Fontalvo, T., y Morelos, J. (2018). Diseño de Perfiles Financieros Empresariales del Sector Químico en Colombia mediante Cálculo Multivariado. *Información tecnológica*, 29(4). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400197>
- Ekos. (26 de febrero de 2019). *Industria: El sector que genera mayor valor agregado*. <https://www.ekosnegocios.com/articulo/industria-el-sector-que-genera-mayor-valor-agregado>.
- Faccin Camargo, B., García Lacalle, J., y Lobán Acero, L. (2018). Medición de la eficiencia en las bibliotecas de universidades públicas españolas. *Revista de Gestão Estratégica de Organizações*, 6(1), 89-99. <http://dx.doi.org/10.31512/rg.v6i1.2670>
- Farell, M. J., y Fieldhouse, M. (1962). Estimating Efficient Production Functions Under Uncreasing Returns to Scale. *Journal of the Royal Statistical Society, Seires A*, 125(2), 252-267. <https://doi.org/10.2307/2982329>
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal Royal Statistical Society*, 120(3), 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Fontalvo, T. J. (2017). Eficiencia de las entidades prestadoras de salud (EPS) en Colombia por medio de análisis envolvente de datos. *Ingeniare Revista chilena de ingeniería*, 25(4), 681–692. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000400681>
- Fontalvo, T., De La Hoz, E., y Morelos, J. (2018). Método combinado análisis de conglomerado y análisis discriminante multivariado para identificar y evaluar perfiles de eficiencia financiera en empresas exportadoras. *Información tecnológica*, 29(5), 227-234. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500227>
- Gok, M., y Sezen, B. (2011). Analyzing the efficiencies of hospitals: An application of Data Envelopment Analysis. *ournal of Global Strategic Management*, 10(1), 137-146. <http://dx.doi.org/10.20460/JGSM.2011515804>
- Guzmán, I. (2005). (21-23 de abril de 2005). *Predicción de resultados empresariales versus medidas no paramétricas de eficiencia técnica: evidencia para pymes de la Región de Murcia* [Ponencia]. VII Reunión de Economía Mundial, Madrid, España.



- Herrera, T. F., Mendoza, A. M., y Cadavid, D. V. (2015). Análisis comparativo de eficiencia financiera: Estudio de un caso sectorial en Barranquilla. *Prospectiva*, 13(2), 16-24. <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v13i2.483>
- Ibujés Villacís, J. M. (2019). La eficiencia técnica de las medianas empresas de manufactura de Quito. *Revista electrónica mensual Debates sobre Innovación*, 3(1), 1-16. <https://doi.org/10.17163/ret.n17.2019.03>
- Kilibarda, M., Andrejic, M., y Popovic, V. (2017). Efficiency of logistics processes in customs procedures. In *3rd Logistics International Conference Serbia*, 14(17), 45-51.
- Koopmans, T. (1951). *An analysis of production as an efficient combination of activities*. New York: Wiley.
- Latif, M. S., Fahmy, M., y Sieng, L. W. (2019). Determinants factor of technical efficiency in machinery manufacturing industry in Malaysia. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(6), 917-928.
- Latorre Bueno, P. (2019). *La eficiencia del sector hotelero en Barcelona: una aplicación de la metodología DEA* [Tesis de pregrado, Universidad de Jaén]. <https://hdl.handle.net/10953.1/10668>
- Lee, M. J., y Kim, C. (2018). A network DEA aeronautical and non-aeronautical production model: an application to South Korea airports. *Journal of Economic Structures*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40008-018-0130-2>
- Mackinsey Global Insitute. (1 de noviembre de 2012). *Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation*. <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-future-of-manufacturing#>
- Mahajan, V., Nauriyal, D. K., y Singh, S. P. (2018). Efficiency and Its Determinants: Panel Data Evidence from the Indian Pharmaceutical Industry. *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, 12(1), 19-40. <https://doi.org/10.1177/0973801017738416>
- Mendoza, M., y Oliveros, D. (2018). Eficiencia de las empresas agroindustriales del sector de caucho en Colombia: un enfoque DEA. *Revista ESPACIOS*, 39(51), 13-26. <https://www.revistaespacios.com/a18v39n51/18395113.html>
- Mujaddad, H. G., y Ahmad, H. K. (2016). Measuring Efficiency of Manufacturing Industries in Pakistan. *Pakistan Economic and Social Review*, 54(2), 363-384. <https://www.jstor.org/stable/26616713>
- Navarro, J., y Torres, Z. (2006). Análisis de eficiencia técnica global mediante la metodología DEA: evidencia empírica de la industria eléctrica mexicana en



- su fase de distribución, 1990-2003. *Nicolaita de Estudios Económicos*, 1(1), 9–28. <https://ideas.repec.org/a/ris/rnicee/0038.html>
- Nazarko, J., y Chodakowska, E. (2017). Labour efficiency in construction industry in Europe based on frontier methods: data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(6), 787-795. <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1321577>
- Norman, M., y Stoker, B. (1991). *Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance*. Reino Unido: Wiley.
- Quian, Y., Lu, H., Lu, N., y Zhang, N. (2010). Analysis of project delivery systems in Chinese construction industry with data envelopment analysis (DEA). *Engineering, Construction and Architectural Management*, 17(6), 598-614. <https://doi.org/10.1108/09699981011090215>
- Restrepo, M., y Villegas, J. (2007). Clasificación de grupos de investigación Colombianos aplicando análisis envolvente de datos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 42(2), 105-119. <http://hdl.handle.net/10495/4177>
- Santos Navarro, G., Wong González, P., y Martínez Martínez, A. (2019). Medición de la eficiencia técnica de la industria automotriz mediante el Análisis Envolvente de Datos. *Economía, sociedad y territorio*, 19(60), 173-201. <https://doi.org/10.22136/est20191294>
- Smriti, T. N., y Khan, H. R. (2018). Efficiency analysis of manufacturing firms using data envelopment analysis technique. *Journal of Data Science*, 16(1), 69-77.
- Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros. *Portal de informacion*. <https://appscvsmovil.supercias.gob.ec/PortalInfor/consultaPrincipal.zul>
- Villarreal, F., y Tohmé, F. (2017). Análisis envolvente de datos. Un caso de estudio para una universidad Argentina. *Estudios Gerenciales*, 33(144), 302-308. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.06.004>
- Zamora Torres, A. (2019). Cambio tecnológico y eficiencia logística del transporte de carga internacional a través del modelo DEA. *Ensayos-Revista de Economía*, 38(2). <http://dx.doi.org/10.29105/ensayos38.2-2>
- Zhang, S., Lundgren, T., y Zhou, W. (2016). Energy efficiency in Swedish industry: A firm-level data envelopment analysis. *Energy Economics*, 55, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.023>



8. ANEXOS

Anexo 1

Eficiencia anual de las 221 empresas

DMU	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio
DMU 1	0,62	0,78	0,61	0,69	0,96	0,75	0,83	0,75
DMU 2	0,27	0,31	0,40	0,46	0,91	0,52	0,39	0,47
DMU 3	0,48	0,62	0,41	0,35	0,64	0,29	0,24	0,43
DMU 4	0,25	0,28	0,26	0,24	0,80	0,23	0,28	0,33
DMU 5	0,46	0,62	0,41	0,44	0,92	0,49	0,48	0,55
DMU 6	0,13	0,16	0,71	1,00	0,90	0,77	0,97	0,66
DMU 7	0,30	0,41	0,31	0,33	0,59	0,33	0,29	0,37
DMU 8	0,62	1,00	0,64	0,82	0,77	0,58	0,64	0,72
DMU 9	0,43	0,53	0,59	0,56	0,42	0,33	0,40	0,47
DMU 10	0,56	1,00	0,46	0,38	1,00	0,93	1,00	0,76
DMU 11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
DMU 12	0,57	0,74	0,68	0,71	0,85	0,56	0,56	0,67
DMU 13	0,64	0,74	0,66	0,74	1,00	0,75	0,63	0,74
DMU 14	0,16	0,96	0,10	0,25	1,00	0,27	0,38	0,44
DMU 15	0,52	0,76	0,55	0,55	0,81	0,55	0,56	0,61
DMU 16	0,25	0,22	0,24	0,27	0,72	0,31	0,29	0,33
DMU 17	0,38	0,53	0,48	0,43	0,89	0,50	0,49	0,53
DMU 18	0,46	0,40	0,44	0,67	0,75	0,45	0,10	0,47
DMU 19	0,72	1,00	0,51	0,46	0,75	0,50	0,43	0,63
DMU 20	0,39	0,59	0,68	0,57	0,91	0,44	0,47	0,58
DMU 21	0,32	0,32	0,21	0,17	0,54	0,15	0,15	0,27
DMU 22	0,32	0,38	0,24	0,17	0,84	0,25	0,67	0,41
DMU 23	0,25	0,35	0,37	0,37	0,67	0,32	0,24	0,37
DMU 24	0,35	0,43	0,45	0,41	0,81	0,33	0,30	0,44
DMU 25	0,73	0,84	0,73	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
DMU 26	0,41	0,45	0,34	0,51	0,79	0,44	0,37	0,47
DMU 27	0,24	0,38	0,19	0,95	0,57	0,47	0,24	0,44
DMU 28	0,52	1,00	0,36	0,59	1,00	0,72	1,00	0,74
DMU 29	0,40	0,70	0,53	0,60	0,57	0,39	0,29	0,50
DMU 30	0,34	0,42	0,40	0,49	0,72	0,45	0,32	0,45
DMU 31	0,58	0,69	0,24	0,20	0,64	0,23	0,33	0,42
DMU 32	0,61	0,53	1,00	0,75	0,57	0,52	0,45	0,63
DMU 33	0,33	0,44	0,46	0,51	0,73	0,32	0,24	0,43
DMU 34	0,38	0,50	0,42	0,38	0,78	0,42	0,41	0,47
DMU 35	0,35	0,46	0,48	0,45	0,83	0,54	0,47	0,51
DMU 36	0,85	0,88	0,58	0,87	0,72	0,43	0,36	0,67
DMU 37	0,18	0,30	0,27	0,27	0,84	0,29	0,30	0,35
DMU 38	1,00	0,32	0,23	0,25	0,21	0,10	0,07	0,31



DMU 39	1,00	0,80	0,48	0,68	0,67	0,57	0,63	0,69
DMU 40	0,37	0,39	0,41	0,37	0,65	0,30	0,18	0,38
DMU 41	0,37	0,35	0,43	0,44	0,71	0,40	0,33	0,43
DMU 42	0,46	0,86	0,68	0,61	0,63	0,37	0,36	0,57
DMU 43	0,65	0,52	0,59	0,64	0,76	1,00	0,46	0,66
DMU 44	0,45	0,60	0,53	0,41	0,57	0,32	0,30	0,45
DMU 45	0,40	0,32	0,67	0,45	0,93	0,43	0,39	0,51
DMU 46	0,42	0,59	0,26	0,49	0,24	0,26	0,24	0,35
DMU 47	0,40	0,67	0,32	0,35	0,68	0,33	0,33	0,44
DMU 48	0,54	0,31	0,33	0,35	0,47	0,33	0,20	0,36
DMU 49	0,42	0,44	0,55	0,54	0,71	0,47	0,37	0,50
DMU 50	1,00	0,79	0,63	0,54	0,66	0,40	0,30	0,62
DMU 51	0,30	1,00	1,00	0,56	0,60	0,62	0,55	0,66
DMU 52	0,35	0,39	0,39	0,35	0,47	0,25	0,33	0,36
DMU 53	0,36	0,79	0,48	0,53	0,73	0,36	0,31	0,51
DMU 54	0,39	0,47	0,41	0,32	0,64	0,36	0,35	0,42
DMU 55	0,64	0,46	0,40	0,39	0,66	0,45	0,37	0,48
DMU 56	0,34	0,55	0,51	0,45	0,69	0,37	0,49	0,49
DMU 57	0,52	0,56	0,52	0,83	0,90	0,54	0,52	0,63
DMU 58	0,22	0,25	0,25	0,24	0,61	0,28	0,20	0,29
DMU 59	0,59	0,66	0,74	0,55	0,83	0,55	0,53	0,64
DMU 60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
DMU 61	0,41	0,44	0,38	0,41	0,67	0,31	0,34	0,42
DMU 62	0,70	1,00	0,44	0,65	0,58	0,38	0,35	0,59
DMU 63	0,39	0,38	0,41	0,41	0,79	0,41	0,37	0,45
DMU 64	0,62	1,00	0,60	0,61	0,99	0,71	0,81	0,76
DMU 65	0,49	0,61	0,55	0,61	0,85	0,63	0,63	0,62
DMU 66	0,30	0,21	0,33	0,13	0,67	0,14	0,18	0,28
DMU 67	0,45	0,62	0,54	0,58	0,81	0,36	0,44	0,54
DMU 68	0,47	0,55	0,43	0,42	0,77	0,51	0,53	0,53
DMU 69	0,60	0,80	0,43	0,49	0,64	0,29	0,18	0,49
DMU 70	0,40	0,42	0,46	0,54	0,57	0,43	0,44	0,47
DMU 71	0,54	0,72	0,96	0,43	0,96	0,53	0,48	0,66
DMU 72	0,39	0,44	0,37	0,45	0,79	0,30	0,32	0,44
DMU 73	0,65	0,65	0,47	0,62	0,68	0,29	0,29	0,52
DMU 74	0,62	0,92	0,71	0,82	1,00	0,59	0,59	0,75
DMU 75	0,51	0,60	0,56	0,47	0,69	0,88	0,62	0,62
DMU 76	0,58	0,46	0,51	0,49	0,67	0,42	0,44	0,51
DMU 77	1,00	0,66	0,61	0,97	1,00	1,00	1,00	0,89
DMU 78	0,25	0,34	0,39	0,26	0,56	0,29	0,32	0,34
DMU 79	0,33	0,44	0,49	0,42	0,77	0,23	0,21	0,41
DMU 80	0,25	0,33	0,32	0,32	0,77	0,26	0,26	0,36
DMU 81	0,56	0,69	0,51	0,64	0,86	0,74	0,64	0,66



DMU 82	0,48	0,44	0,36	0,53	0,78	0,41	0,43	0,49
DMU 83	0,31	0,34	0,48	1,00	0,70	0,31	0,24	0,48
DMU 84	0,62	0,69	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90
DMU 85	0,22	0,23	0,27	0,23	0,45	0,22	0,18	0,26
DMU 86	1,00	0,68	0,51	0,41	0,75	0,28	0,35	0,57
DMU 87	0,55	0,33	1,00	0,79	0,66	0,30	0,26	0,56
DMU 88	0,55	1,00	0,63	0,75	0,28	0,53	0,23	0,57
DMU 89	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
DMU 90	0,25	0,74	0,64	0,33	0,79	0,27	0,13	0,45
DMU 91	0,31	0,40	0,33	0,28	0,64	0,31	0,26	0,36
DMU 92	0,54	0,48	0,59	0,53	0,66	0,38	0,36	0,51
DMU 93	0,32	0,37	0,53	0,43	0,48	0,34	0,32	0,40
DMU 94	0,29	0,27	0,53	0,48	0,60	0,35	0,39	0,42
DMU 95	0,53	1,00	0,54	0,51	0,76	0,21	0,32	0,55
DMU 96	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00	0,65	0,38	0,85
DMU 97	0,37	0,26	0,21	0,28	0,87	1,00	0,46	0,49
DMU 98	0,69	0,98	0,63	0,71	0,70	0,52	0,44	0,67
DMU 99	0,28	0,32	0,57	0,24	0,49	0,21	0,27	0,34
DMU 100	0,65	0,72	0,69	0,76	0,86	0,60	0,56	0,69
DMU 101	0,45	0,43	0,38	0,47	0,77	0,39	0,36	0,47
DMU 102	0,29	0,26	0,31	0,31	0,68	0,37	0,31	0,36
DMU 103	0,71	0,43	0,67	0,68	0,69	0,36	0,30	0,55
DMU 104	0,24	0,27	0,25	0,29	0,56	0,28	0,17	0,29
DMU 105	0,75	0,88	0,69	0,63	0,81	0,56	0,66	0,71
DMU 106	0,41	0,30	1,00	0,23	0,59	0,21	0,31	0,44
DMU 107	0,35	0,42	0,57	0,61	0,83	0,55	0,35	0,53
DMU 108	0,28	0,24	0,19	0,57	0,48	0,18	0,29	0,32
DMU 109	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
DMU 110	0,28	0,22	0,20	0,63	0,61	0,31	0,38	0,38
DMU 111	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
DMU 112	0,53	0,65	0,70	0,63	0,68	0,47	0,37	0,58
DMU 113	0,31	0,37	0,55	0,84	0,70	0,40	0,25	0,49
DMU 114	0,48	0,29	0,64	0,23	0,31	0,10	0,11	0,31
DMU 115	0,31	0,41	0,42	0,51	0,56	0,39	0,29	0,41
DMU 116	0,42	0,43	0,50	0,58	0,60	0,48	0,43	0,49
DMU 117	0,49	0,39	0,41	0,49	0,44	0,19	0,15	0,37
DMU 118	0,41	0,50	0,50	0,42	1,00	0,53	0,45	0,54
DMU 119	0,51	0,58	0,55	0,50	1,00	0,58	0,54	0,61
DMU 120	0,42	0,42	0,44	0,60	0,82	0,54	0,44	0,52
DMU 121	0,34	0,38	0,28	0,47	0,86	0,58	0,43	0,48
DMU 122	0,56	0,88	1,00	1,00	1,00	0,60	0,59	0,81
DMU 123	0,64	0,85	0,52	0,65	0,77	0,35	0,28	0,58
DMU 124	0,23	0,46	0,22	0,19	0,57	0,14	0,22	0,29



DMU 125	1,00	0,75	1,00	1,00	1,00	0,95	0,79	0,93
DMU 126	0,41	0,37	0,44	0,35	0,71	0,36	0,31	0,42
DMU 127	0,32	0,40	0,46	0,46	0,55	0,28	0,24	0,39
DMU 128	0,37	0,47	0,55	0,47	0,65	0,38	0,35	0,46
DMU 129	0,33	0,43	0,42	0,62	0,99	0,53	0,52	0,55
DMU 130	0,31	0,48	0,59	0,53	0,67	0,38	0,47	0,49
DMU 131	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,73	0,95
DMU 132	0,98	1,00	0,89	0,94	0,15	0,05	0,94	0,71
DMU 133	0,38	0,43	0,57	0,47	0,72	0,45	0,55	0,51
DMU 134	0,33	0,45	0,46	0,32	0,55	0,25	0,27	0,38
DMU 135	1,00	0,34	0,31	0,26	0,59	0,19	0,18	0,41
DMU 136	0,38	1,00	0,32	0,32	0,44	0,23	0,26	0,42
DMU 137	0,40	0,63	0,41	0,31	0,51	0,24	0,26	0,39
DMU 138	0,39	0,50	0,43	0,56	1,00	0,50	0,73	0,59
DMU 139	0,37	0,49	0,56	0,49	0,70	0,40	0,31	0,47
DMU 140	0,29	0,68	0,32	0,27	0,52	0,54	0,46	0,44
DMU 141	0,52	0,42	0,47	0,38	0,45	0,27	0,31	0,40
DMU 142	0,69	0,54	0,77	0,83	0,91	0,74	0,49	0,71
DMU 143	0,68	0,36	0,49	0,38	0,86	0,54	0,44	0,53
DMU 144	0,30	0,62	0,36	1,00	0,83	0,90	0,71	0,67
DMU 145	0,62	0,51	0,32	0,26	0,51	0,18	0,24	0,38
DMU 146	0,23	0,31	0,36	0,41	0,73	0,33	0,30	0,38
DMU 147	0,20	0,23	0,34	0,34	0,69	0,29	0,36	0,35
DMU 148	0,32	0,44	0,41	0,41	0,56	0,33	0,25	0,39
DMU 149	0,23	0,26	0,43	0,43	0,70	0,36	0,48	0,41
DMU 150	0,71	0,64	0,60	0,43	0,73	0,38	0,43	0,56
DMU 151	0,47	0,66	0,39	0,30	0,35	0,16	0,15	0,36
DMU 152	0,33	0,54	0,60	0,53	0,78	0,39	0,82	0,57
DMU 153	0,24	0,29	0,32	0,27	0,67	0,23	0,29	0,33
DMU 154	0,79	0,79	0,76	0,76	0,53	0,20	0,22	0,58
DMU 155	0,37	0,26	0,42	0,36	0,74	0,55	0,21	0,41
DMU 156	0,14	0,30	0,27	0,45	0,46	0,19	0,21	0,29
DMU 157	0,33	0,36	0,44	0,55	0,60	0,22	0,32	0,40
DMU 158	0,54	0,66	0,53	0,46	0,65	0,75	0,35	0,56
DMU 159	0,41	0,95	1,00	0,98	0,68	0,44	0,61	0,72
DMU 160	0,28	0,35	0,47	0,46	0,64	0,40	0,46	0,44
DMU 161	0,59	0,47	0,29	0,33	1,00	0,34	0,50	0,50
DMU 162	1,00	1,00	0,48	0,30	0,58	1,00	1,00	0,77
DMU 163	0,55	1,00	0,45	0,73	1,00	0,43	0,18	0,62
DMU 164	0,41	0,38	0,55	0,61	0,56	0,35	0,37	0,46
DMU 165	0,24	0,41	0,60	0,42	0,61	0,24	0,27	0,40
DMU 166	0,59	0,59	0,47	0,62	0,69	0,40	0,55	0,56
DMU 167	1,00	1,00	1,00	0,69	1,00	1,00	1,00	0,96



DMU 168	0,44	0,45	0,60	0,61	0,66	0,50	0,37	0,52
DMU 169	0,45	0,56	0,51	0,56	0,60	0,52	0,41	0,51
DMU 170	0,33	0,29	0,31	0,37	0,44	0,19	0,20	0,30
DMU 171	0,54	0,85	0,98	1,00	1,00	1,00	0,81	0,88
DMU 172	0,34	1,00	0,38	0,22	0,26	0,11	0,24	0,36
DMU 173	0,23	0,30	0,31	0,29	0,61	0,26	0,20	0,32
DMU 174	1,00	1,00	0,73	0,53	0,43	0,59	0,83	0,73
DMU 175	0,83	0,57	0,51	0,54	0,74	0,54	0,32	0,58
DMU 176	0,70	0,60	0,79	0,93	0,90	0,53	0,41	0,69
DMU 177	0,41	0,43	0,48	0,48	0,60	0,34	0,34	0,44
DMU 178	0,43	0,88	1,00	0,46	0,58	0,27	0,56	0,60
DMU 179	1,00	0,78	0,63	0,57	0,67	0,51	0,59	0,68
DMU 180	0,52	0,59	0,99	0,80	0,67	0,58	0,83	0,71
DMU 181	0,98	1,00	0,67	1,00	0,69	0,61	0,54	0,78
DMU 182	0,38	0,40	0,33	0,34	0,45	0,24	0,22	0,34
DMU 183	0,53	0,52	1,00	0,85	0,86	0,32	0,31	0,63
DMU 184	0,22	0,38	0,27	0,36	0,70	0,51	0,30	0,39
DMU 185	0,46	0,35	0,51	0,44	0,66	0,32	0,37	0,45
DMU 186	0,15	0,28	0,65	0,63	0,54	0,36	0,38	0,43
DMU 187	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,90	0,98
DMU 188	0,40	0,38	0,63	0,48	0,60	0,38	0,39	0,46
DMU 189	0,26	0,12	0,51	0,34	0,48	0,30	0,27	0,33
DMU 190	0,21	0,34	0,27	0,26	0,99	0,31	0,40	0,40
DMU 191	1,00	0,62	0,96	0,64	0,77	0,62	0,52	0,73
DMU 192	0,35	0,52	0,52	0,58	0,67	0,40	0,37	0,49
DMU 193	0,14	0,38	0,27	0,33	0,47	0,25	0,25	0,30
DMU 194	1,00	1,00	1,00	0,48	0,50	0,59	0,54	0,73
DMU 195	0,47	0,57	0,42	0,41	0,57	0,24	0,27	0,42
DMU 196	0,36	0,44	0,39	0,29	0,74	0,29	0,26	0,40
DMU 197	1,00	0,72	0,86	0,83	1,00	0,68	0,50	0,80
DMU 198	0,24	0,41	0,41	0,46	0,88	0,57	0,64	0,51
DMU 199	0,50	0,48	0,61	0,57	0,69	0,33	0,33	0,50
DMU 200	1,00	0,74	0,49	0,42	0,63	0,84	0,21	0,62
DMU 201	0,26	0,26	0,36	0,29	0,49	0,22	0,24	0,30
DMU 202	0,32	0,45	0,51	0,33	0,60	0,35	0,47	0,43
DMU 203	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,77	0,97
DMU 204	0,43	0,52	0,49	0,67	0,32	0,35	0,50	0,47
DMU 205	0,50	0,42	0,64	0,67	0,70	0,45	0,50	0,55
DMU 206	0,34	0,48	0,88	0,45	0,38	0,22	0,20	0,42
DMU 207	1,00	1,00	0,73	0,89	0,78	0,44	0,48	0,76
DMU 208	0,61	0,80	0,80	0,89	1,00	1,00	0,65	0,82
DMU 209	0,57	0,54	0,42	0,90	0,23	0,55	1,00	0,60
DMU 210	0,27	0,27	0,44	0,31	0,58	0,26	0,23	0,34



DMU 211	0,48	0,38	0,54	0,82	0,99	0,76	0,28	0,61
DMU 212	0,65	1,00	0,69	0,59	0,93	0,62	0,48	0,71
DMU 213	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
DMU 214	0,30	0,31	0,47	0,39	0,65	0,31	0,31	0,39
DMU 215	0,82	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
DMU 216	0,58	0,57	0,56	0,44	0,68	0,40	0,51	0,53
DMU 217	1,00	0,87	0,42	0,73	0,19	0,30	0,30	0,54
DMU 218	0,48	0,38	0,65	0,27	0,59	0,25	0,32	0,42
DMU 219	0,79	0,92	0,74	0,60	0,39	0,39	0,37	0,60
DMU 220	0,57	1,00	0,77	1,00	0,91	0,43	0,49	0,74
DMU 221	0,24	0,28	0,38	0,39	0,54	0,32	0,43	0,37

Fuente: Elaboración propia utilizando RStudio.



Anexo 2

Protocolo de Trabajo de Titulación



UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS

Análisis comparativo de eficiencia en empresas intensivas en
Investigación y Desarrollo del sector manufacturero en Ecuador:
aplicación de la metodología Análisis Envolvente de Datos (DEA)

PROTOCOLO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN MODALIDAD ARTÍCULO ACADÉMICO

AUTORA:

MARÍA LAURA SERRANO ORDOÑEZ

TUTOR:

ING. GUSTAVO FLORES, PhD.

CUENCA – ECUADOR

2020



a. Resumen de la propuesta

La presente investigación tiene como objetivo principal realizar un análisis de la eficiencia de las empresas intensivas en Investigación y Desarrollo (I+D) del sector manufacturero del Ecuador durante el periodo 2012-2018. El estudio se fundamenta en la metodología Análisis Envolvente de Datos (DEA, *Data Envelopment Analysis*), considerada como la herramienta no paramétrica más utilizada para la medición de eficiencia. Para el análisis de datos se tomará la información financiera anual de aquellas empresas, que según la agrupación industrial propuesta por el McKinsey Global Institute (MGI) corresponden al sector intensivo en I+D. Esta información financiera se encuentra en las bases de datos de la Superintendencia de Compañías Valores y Seguros (SCVS). Dentro del aspecto metodológico se utiliza el modelo DEA BCC-O orientado a las salidas, el cual permite maximizar la variable de salida reduciendo los niveles de las variables de entrada, y así determinar los niveles de eficiencia y construir un ranking de las empresas más eficientes y determinar su ciudad y región. De esta manera, los resultados obtenidos servirán como referente para plantear estrategias de mejora para aquellas empresas que resulten ser menos eficientes y para el desarrollo de futuras investigaciones.

b. Razón de ser del trabajo académico (identificación y justificación)

Identificación

Dentro del mundo empresarial el sector manufacturero representa un eje fundamental a nivel nacional, regional y mundial, esto debido al aporte que brinda al Producto Interno Bruto (PIB) del país y a la generación de fuentes de empleo, siendo estos 13,6% y 10,7% respectivamente (Ekos, 2019). Además, el crecimiento demográfico ocasiona que los niveles de consumo de bienes y servicios incrementen de manera constante y de manera acelerada; ante lo cual las empresas se ven obligadas a mantener su un alto nivel de competitividad mediante la innovación y el desarrollo continuo, por lo que el estudio de estas empresas resulta ser un tema relevante y de importancia actual.



McKinsey Global Institute (2012) en su reporte: Manufacturing the Future, propone una clasificación de las empresas manufactureras agrupadas en cinco macro-sectores para el caso del Ecuador: 1) sectores de fabricación orientados a mercados regionales, 2) sectores de innovación global en mercados locales, 3) sectores intensivos en energía y recursos naturales, 4) sectores de tecnología y mercados globales y 5) sectores intensivos en trabajo.

Para este estudio, se toman dos macro-sectores: 1) sectores de innovación global en mercados locales integrado por 6 sub-sectores; y 2) sectores de tecnología y mercados globales integrado por 3 sub-sectores. De acuerdo con el MGI, estos dos macro-sectores son intensivos en I+D y compiten en innovación y calidad.

Justificación

El presente estudio tiene por objeto realizar un análisis descriptivo y comparativo de la eficiencia entre las industrias intensivas en I+D y que compiten en innovación y calidad; esto debido a que tras la revisión de literatura no se evidencia la existencia de estudios previos en torno a este tema, por lo que representa un gran aporte al conocimiento y al desarrollo investigativo; y de esta manera proporcionar información útil para la toma de decisiones y futuras investigaciones.

La principal metodología a ser utilizada es conocida como Análisis Envolvente de Datos (DEA). Este es un modelo no paramétrico cuyo desarrollo matemático corresponde al trabajo de Charnes, Cooper & Rhodes (1978), basado en los trabajos preliminares de Farrell (1957), quien originalmente investiga el concepto de eficiencia. Además, DEA es una técnica de investigación operativa muy importante que se focaliza en el análisis y medición de la eficiencia de las empresas que producen bienes y servicios mediante la utilización de diferentes insumos que serán tomados como variables de entrada (inputs) para convertirlos en productos conocidos como variables de salida (outputs).

El análisis DEA permite obtener el nivel de eficiencia de cada unidad de toma de decisiones conocida como DMU, y de manera posterior comparar las empresas



que resultan ineficientes con aquellas empresas que han logrado ser completamente eficientes, siendo las segundas ser un referente de mejora para las primeras. Otra ventaja que tiene DEA es el hecho de que no necesita parámetros estimados de antemano, por lo cual tiene la ventaja de evitar que existan factores subjetivos haciendo que se reduzca tanto el cálculo como los errores que se pudieran cometer (Quian, Lu, Lu & Zhang, 2010).

En la actualidad, su aplicación se evidencia alrededor del mundo en múltiples estudios de diferentes áreas, tales como: medición del desempeño en entidades del sector financiero, instituciones educativas, eficiencia de servicios públicos, benchmarking de procesos logísticos, medición de productividad docente, industrias farmacéuticas, estudios sectoriales, entre otros; demostrando así que DEA es considerada como la técnica más adecuada para medir eficiencia en las empresas (Restrepo & Villegas, 2007).

c. Breve revisión de la literatura y el estado del arte donde se enmarcará el trabajo académico

La metodología DEA al ser una técnica no paramétrica es considerada como la más adecuada para medir eficiencia; en los últimos años se han realizado aplicaciones en diversas áreas como: educación, empresarial, salud, financiera, comercial, logística, entre otras, su aplicación e importancia se evidencia en una gran variedad de estudios y trabajos investigativos realizados a nivel internacional como nacional, con mayor predominio en el primero. En los siguientes párrafos se expone de manera breve algunos de los estudios realizados en los últimos años.

Nivel internacional

Fontalvo, Mendoza, & Visbal (2015) evaluaron la eficiencia financiera de las empresas utilizando el Análisis Envolvente de Datos para lo cual se tomó una muestra de 32 empresas afiliadas a la Alianza Empresarial para un Comercio Seguro (BASC) ubicadas en la ciudad de Barranquilla y que presentaron reporte de sus estados financieros en la Superintendencia de Sociedades durante el año



2010. Aplicaron el modelo CCR-O enfocado a salidas tomando como variables: Subtotal de Inventario, Total de los Activos Corriente, Propiedad Planta y Equipo, Proveedores y la Utilidad Operacional. Los resultados de eficiencia muestran que el promedio del grupo de estudio fue de 56,62 % y que de las 32 empresas sólo 9 presentaron una eficiencia 100%.

Pérez, Ortega, Ocaña & Martín (2017) aplicaron la metodología DEA para conocer la eficiencia que poseen los hospitales que pertenecen al Sistema Nacional de Salud (SNS) español, este estudio se realizó a 230 hospitales en el periodo comprendido entre los años 2010 y 2012, con el objetivo de formular políticas para el uso eficiente de los recursos que son entregados a los hospitales. Entre las variables que se utilizaron para medir la eficiencia de los hospitales encontramos los siguientes inputs: número de camas instaladas, número de empleados que trabajan a tiempo completo, el gasto en compras y servicios prestados externamente, mientras que los outputs analizados son el número de altas casuística, número de consultas externas, urgencias que no fueron ingresadas y las cirugías ambulatorias. Como resultado de la investigación se obtuvo que la eficiencia técnica global promedio en el primer año fue del 76.2%, en él hubo una disminución en 6.03% y para el año 2012 un incremento del 2.79%.

Zamora (2019) realizó un estudio con el objetivo determinar la eficiencia, el índice de Malmquist y cambio tecnológico del sistema de transporte carretero de carga internacional por entidad federativa, considerando los factores que afectan la movilización de carga internacional, a través del modelo DEA y el índice Malmquist, en el período 2010-2014, además se determinaron los diferentes tipos de eficiencia: técnica global, técnica y de escala. Los resultados muestran un aumento de la productividad total de los factores, sin embargo, ese incremento de productividad es significativamente desigual entre las diferentes entidades federativas.

Nivel Nacional



Romo (2015) aplicó DEA para medir la eficiencia relativa de 47 empresas de seguros del Ecuador, 8 de vida, 20 generales y 19 mixtas durante los años 2004 al 2013; en el estudio se seleccionaron cinco factores, que incluyen cuatro inputs; (costo de siniestros, patrimonio, gasto de personal, reservas técnicas) y un output (prima neta retenida). Los resultados de esta investigación dejaron ver que el número de empresas de seguros técnicamente eficientes ha disminuido durante los años analizados, pasando de 19 instituciones en el 2004 a 16 en el 2013, con un promedio de 17 durante los años en estudio; siendo 5 en seguros de vida, y en seguros generales y mixtas 6 en cada una, según cálculos realizados en el programa (R) aplicando el modelo de Constantes Retornos a Escala (CCR) con orientación a los inputs.

Un estudio realizado por Campoverde, Romero, & Borenstein (2018) sobre la Eficiencia Técnica de 18 Cooperativas de Ahorro y Crédito (COACs) del Segmento 1 del ranking de cooperativas ecuatorianas presentadas por la Superintendencia de Economía Popular y Solidaria (SEPS) en el periodo el período analizado (2007-2016), los principales resultados indicaron que se tuvo un promedio de eficiencia del 77.02% para el periodo analizado, además; el análisis mostró a una sola cooperativa ser eficiente al 100% en todos los años, esta es la Cooperativa JEP.

Recalde (2019) utilizó la metodología DEA para medir la eficiencia de los bancos privados en el Ecuador, los inputs que eligió para su investigación son: los depósitos de ahorro, depósitos a la vista y activos fijos, y como outputs eligió a los créditos netos de provisiones (provisiones cartera de créditos), ingresos por servicios e intereses y descuentos ganados. Para el análisis de datos usó el programa Frontier Analyst Professional y los resultados obtenidos mostraron el 100% de eficiencia para el Banco de Guayaquil y para el Banco del Pacífico, el Banco del Pichincha sólo es 100% eficiente en el 2016, los años 2015, 2017 y 2018 obtuvo valores menores al 100%, Produbanco muestra la menor eficiencia, dentro de los cuatro años analizados en ninguno llegó a tener 100%, sus niveles de eficiencia fluctúan entre el 80 al 94%.



d. Contexto del problema y preguntas de investigación

Contexto del problema

Según la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI), Ecuador se encuentra dentro del grupo de los países que poseen un nivel de ingresos medio alto y en los últimos años ha incrementado su nivel de desarrollo, sin embargo, los niveles de innovación se ubican por debajo de las expectativas. Todos los países buscan en la medida de lo posible, potenciar las actividades en I+D a través de políticas de apoyo, no obstante; se evidencia que existe una brecha entre varios países a pesar de que algunos de ellos tengan ingresos económicos similares. Esta brecha radica en que las naciones con una mayor producción científica poseen un sistema y políticas que promueven el desarrollo y la investigación permanente, además que destinan a estas actividades mayores esfuerzos y un porcentaje del PIB más alto que otros países. Por otro lado, las inversiones en I+D no permiten de alguna manera obtener beneficios inmediatos y generalmente conllevan a un riesgo e incertidumbre en el retorno de la inversión. Además, la I+D es esencial para extender las influencias de los mercados a través de la comercialización de nuevos productos.

Las empresas intensivas en innovación y desarrollo se enfrentan más que nunca al reto de asimilar fuertes y continuos cambios tecnológicos además de cambios sociales y del entorno, nuevas regularizaciones y legislaciones, recursos de capital, entre otros. En este contexto, existe una elevada competitividad en innovación y calidad, que deriva precisamente de la evolución de los mercados hacia la globalización.

Es por ello, que este estudio, propone realizar un análisis descriptivo y comparativo del nivel de eficiencia entre las empresas que conforman los sectores intensivos en I+D, así como también un análisis multidimensional para la categorización de las empresas en función a su nivel de eficiencia y otros indicadores más; de manera que permita establecer lineamientos para la generación de políticas capaces de promover el desarrollo empresarial.



Preguntas de investigación

¿Cuál es el conjunto de empresas manufactureras intensivas en I+D con mayores niveles de eficiencia?

¿A qué región, provincia y ciudad pertenecen las empresas más eficientes?

¿Cuál es el comportamiento de los índices de eficiencia en el período de análisis?

e. Marco Teórico

Eficiencia

Se entiende como eficiencia el logro de una meta al menor costo posible, optimizando al máximo los recursos a ser empleados para alcanzar una mayor utilidad. Es decir, una empresa será eficiente si ésta obtiene un mayor nivel de productividad cuando en sus procesos utiliza la menor cantidad de insumos o entradas para obtener la mayor cantidad de productos o salidas (Coelli, Estache, Perelman, & Trujillo, 2003).

Unidad Tomadora de Decisiones

Las Unidades Tomadoras de Decisiones (DMU, *Decision Making Unit*) son aquellas alternativas entre las cuales se desea establecer un orden jerárquico según su nivel de eficiencia, esto con el fin de conocer cuáles son las más eficientes o simplemente poder agruparlas en dos clases para distinguir entre eficientes e ineficientes. Las unidades tomadoras de decisiones pueden ser: empresas, hospitales, centros de salud, escuelas, universidades, hoteles, municipios, o cualquier organización que se dedique a la producción de bienes o prestación de servicios (Chediak & Valencia, 2008).

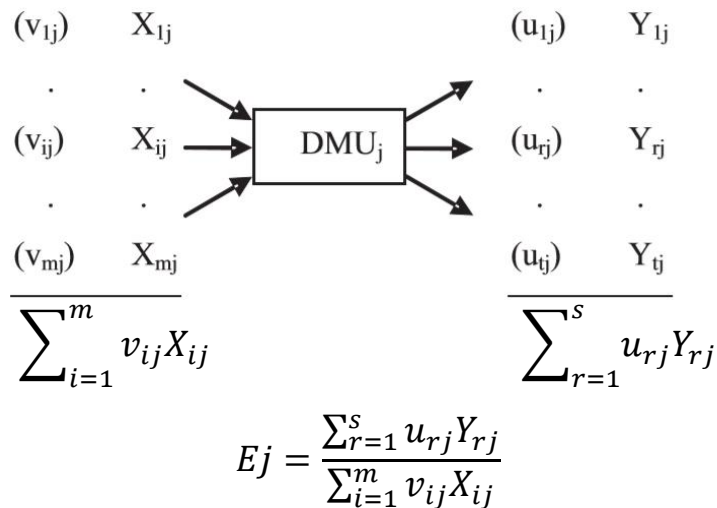
Análisis Envolvente de Datos

DEA (*Data Envelopment Analysis*) es un modelo que se utiliza para medir la eficiencia, fue desarrollado por Charnes, Cooper, y Rhodes en 1978, quienes se basaron en los trabajos llevados a cabo inicialmente por Farrell en 1957. Este

modelo permitió conocer el nivel de eficiencia de cada DMU resultante de la mejor combinación de variables de entrada (inputs) y variables de salida (outputs). El objetivo del modelo DEA es maximizar el nivel de eficiencia de una unidad dentro del conjunto de DMUs a evaluar. Una unidad será eficiente cuando consume menos recursos para obtener un nivel de producto dado o cuando obtiene un mayor nivel de producto con los recursos disponibles. Por lo tanto, DEA tiene como objetivo identificar dentro de un grupo de DMUs cuáles son las unidades eficientes y cuáles requieren mejorar su desempeño.

En el siguiente esquema se ilustra como la j-ésima DMU puede tener varias entradas de insumos y varias salidas de producto. El cociente entre la suma ponderada de las entradas y la suma de ponderada de las salidas será el nivel de eficiencia de la j-ésima DMU.

Esquema de la eficiencia de la DMU j-ésima



Fuente: (Chediak & Valencia, 2008)

Donde;

DMUj = Unidad de decisión j-ésima (j=1....n).

Xij = cantidad del i-ésimo (i=1....m) insumo consumido por la j-ésima DMU.

Yrj = cantidad del r-ésimo (r=1....t) producto que sale de la j-ésima DMU.



Las X_{ij} y las X_{rj} son parámetros conocidos.

V_{ij} = peso asignado i -ésimo ($i=1\dots m$) insumo de la j -ésima ($j=1\dots n$) DMU.

U_{rj} = peso asignado al r -ésimo ($r=1\dots t$) producto de la j -ésima ($j=1\dots n$) DMU.

E_j : Eficiencia de la j -ésima DMU.

DEA posee dos modelos estándar, el primero de ellos se aplica bajo el supuesto de que el sector objeto de estudio opera con rendimientos constantes a escala CRS (Constant Return to Scale) o CCR (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978), en este modelo las DMUs que se comparan no son homogéneas, es decir, aquellas ineficientes no tienen capacidad para alcanzar el nivel de eficiencia de las DMUs más eficientes. Por tal motivo, surge un segundo modelo, el cual permite calcular la eficiencia entre DMUs homogéneas, bajo el supuesto de rendimientos a escalas variables VRS (Variable Return to Scale) o BCC (Banker, Charnes, y Cooper, 1984). Este último modelo agrega una restricción de convexidad, la cual permite establecer la región envolvente que asegura que aquella DMU eficiente es de tamaño similar a las demás.

Además de las dos versiones que mantiene el modelo DEA, éste tiene dos enfoques de aplicación. El primero está orientado a minimizar las entradas mientras las DMUs se mantienen en la curva de posibilidades de producción, para cada versión del modelo se representa de la siguiente manera: CCR – I y BCC – I. El segundo enfoque se orienta a maximizar las salidas dado un nivel fijo de variables de entrada (Navarro & Torres, 2006). De igual manera para las dos variantes del modelo se tiene la respectiva nomenclatura: CCR – O y BCC – O. Cualquiera que sea el enfoque que tome la aplicación del DEA, éste permite determinar la frontera óptima con aquellas DMUs más eficientes.

f. Objetivos

General



- Aplicar el modelo DEA BCC – O para medir y evaluar eficiencia en empresas manufactureras intensivas en I+D en Ecuador en el periodo 2012-2018.

Específicos

- Determinar el conjunto de empresas con mayores niveles de eficiencia.
- Identificar a qué región, provincia y ciudad pertenecen las empresas más eficientes.
- Evaluar el comportamiento de los índices de eficiencia en el período de análisis

g. Variables y datos

Datos

Se tomará la información de los estados financieros de las empresas manufactureras intensivas en I+D en el Ecuador durante el periodo 2012-2018, que según la clasificación propuesta por el MGI corresponden a los CIU: C20, C21, C26, C27, C28, C29, C30, C31 y C33. Dicha información financiera está disponible en las bases digitales de la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros. Posteriormente se llevará a cabo una depuración de las empresas que conforman el grupo de estudio ya que se va a medir la eficiencia en siete años (2012-2018) y el modelo DEA requiere que la información sea homogénea respecto al mismo número de DMUs para que el software proceda con la lectura de dicha información.

Selección de variables

La identificación de variables se llevó a cabo en base a investigaciones previas. La selección de las variables a ser incluidas en el modelo DEA BCC-O se realizará por medio de un análisis estadístico multivariante. Se plantean las siguientes variables como entradas: Edad de la empresa, Inventarios, Activo total, Gastos de



ventas y administrativos, Gastos financieros, y como variable de salida: Ingresos Operacionales.

Posteriormente se realizará el respectivo análisis de correlación entre las variables para reducir el número de entradas y salidas y lograr la máxima discriminación del DEA; los resultados obtenidos deben ser coherentes con los diferentes métodos de selección de variables propuestos por otros autores.

h. Descripción de la metodología a utilizar

La presente investigación sigue un procedimiento metodológico de tres etapas, las cuales se detallan a continuación.

Primera etapa

Se elige el modelo DEA que será utilizado para obtener los niveles de eficiencia, para este estudio se ha tomado el modelo BCC orientado en las salidas (BCC-O), puesto que el conjunto de DMUs a evaluar no tienen tamaños similares, esto es muy evidente ya que las empresas están clasificadas en cuatro grupos diferentes: micro, pequeñas, medianas y grandes empresas.

Segunda etapa

En esta etapa se realiza una base de datos que contiene información respecto a las variables de entrada y salida de las empresas objeto de estudio, dichos datos se tomaron de la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros, en donde se encuentra información financiera anual de cada empresa. Las empresas se denominan como EMP1,

EMP2, EMP3...EMPn. Los datos serán elegidos cuidadosamente, de manera que no existan valores negativos ni datos atípicos. Además; se realizará un análisis de correlación entre las variables propuestas para determinar su significancia para el modelo y maximizar la discriminación.



Posteriormente se procede a organizar y estructurar la información (variables de entrada y salida) en el formato sugerido por el software que se encargará de la lectura y procesamiento de dicha información. El análisis de datos se realizará por medio de las herramientas estadísticas: DEA-SOLVER-LV8 (2014-12-05), Microsoft Excel 2013 y STATA.

Tercera Etapa

Presentación y análisis de los resultados obtenidos, presentación de información relevante en el periodo de análisis. Se construye un ranking de las empresas manufactureras con mayores niveles de eficiencia y posteriormente se agrupan las empresas mediante un análisis multidimensional.

i. Explicación del contenido mínimo

El contenido de este artículo se organizará en cuatro secciones: en la primera se detallará el estado del arte y el marco teórico del modelo matemático a utilizar; la sección dos describirá la metodología a utilizar para la recolección y análisis de datos; en la sección tres se discutirán los resultados obtenidos, y en la sección final se presentarán las conclusiones y recomendaciones de esta investigación. Para la presentación de los resultados se elaborarán tablas y gráficos que permitirán conocer e interpretar con mayor claridad los resultados obtenidos.

j. Bibliografía inicial

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30(9), 1078–1092.

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.



- Campoverde, J., Romero, C., & Borenstein, D. (2018). Evaluación de eficiencia de cooperativas de ahorro y crédito en Ecuador: aplicación del modelo Análisis Envolvente de Datos DEA . *Contaduría y Administración*, 64(1), 1-19.
- Chediak, F., & Valencia, L. (2008). Metodología para medir la eficiencia mediante la técnica de análisis envolvente de datos- DEA. *Vector*, 3(1), 70-81.
- Coelli, T., Estache, A., Perelman, S., & Trujillo, L. (2003). *Una introducción a las medidas de eficiencia para reguladores de servicios públicos y de transporte*. Bogotá : Alfomega/Banco Mundial.
- Ekos (2019). Guía de Negocios. Obtenido de Ekos:
<https://www.ekosnegocios.com/articulo/industria-el-sector-que-genera-mayor-valor-agregado>
- Farrell, M. J. (1957). M.J. Farrell, The measurement of productive efficiency. *Journal Royal Statistical Society*, 120(3), 253-290.
- Fontalvo, T., Mendoza, A., & Visbal, D. (2015). Comparative analysis of financial efficiency: a case study of BASC sector in Barranquilla. *Prospect*, 13(2), 16-24.
- Mackinsey Global Institute (2012). *Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation*. New York: McKinsey & Company.
- Navarro, J., & Torres, Z. (2006). Análisis de eficiencia técnica global mediante la metodología DEA: evidencia empírica de la industria eléctrica mexicana en su fase de distribución, 1990-2003. *Nicolaita de Estudios Económicos*, 1(1), 9–28.
- Pérez, C., Ortega, M. I., Ocaña, R., & Martín, J. (2017). Análisis de la eficiencia técnica en los hospitales del Sistema Nacional de Salud español. *Gaceta Sanitaria*, 31(2), 108–115.
- Quian, Y., Lu, H., Lu, N., & Zhang, N. (2010). Analysis of project delivery systems in Chinese construction industry with data envelopment analysis (DEA). *Engineering, Construction and Architectural Management*, 17(6), 598-614.
- Recalde, W. (2019). *Análisis de la eficiencia del sector bancario privado en el Ecuador* (tesis de pregrado). Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Restrepo, M., & Villegas, J. (2007). Clasificación de grupos de investigación Colombianos aplicando análisis envolvente de datos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 42(2), 105-119.



Romo, G. (2015). *“Medición de la eficiencia y productividad de las empresas de seguros en el Ecuador bajo el modelo DEA (tesis de pregrado).* Quito, Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial.

Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (2018). *Panorama de la Industria Manufacturera en el Ecuador.* Guayaquil: Dirección Nacional de Investigación y Estudios.

Zamora, A. (2019). Cambio tecnológico y eficiencia logística del transporte de carga internacional a través del modelo DEA. *Ensayos*, 32(2), 183-204.

k. Cronograma de actividades con fechas coordinadas con el Asesor sobre reuniones, presentación de avances y el envío final del trabajo académico.

CRONOGRAMA												
ACTIVIDADES	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Reunión con el Asesor	X											
Desarrollo del marco teórico, estado del arte y metodología	X											
Presentación y revisión avance		X										
Diseño de la base de datos			X									
Validación y depuración de la base de datos			X									
Procesamiento de datos				X								
Presentación y revisión de avance					X							
Análisis de Resultados						X						
Redacción de conclusiones y recomendaciones							X					
Presentación y revisión de avance								X				
Elaboración y presentación del borrador de trabajo final									X			
Corrección del borrador										X		
Envío del trabajo final al tutor e informe Urkund											X	
Envío del trabajo final												X