

Análisis de eficiencia de la innovación de los subsectores de la industria manufacturera Colombiana por medio del Análisis Envolvente de Datos (DEA).

Autor: Luis Fernando Noguera Botero.
lucho0603@javerianacali.edu.co

Director: Daniel Enrique González G.
dgonzalez@javerianacali.edu.co

Pontificia Universidad Javeriana Cali Colombia
Matemáticas Aplicadas
8 de Mayo del 2022

Resumen

El presente proyecto es de naturaleza teórico práctico, el cual tiene como objetivo la identificación de las variables más relevantes de la EDIT (Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica) para medir la innovación y aplicar la metodología DEA (Data Envelopment Analysis) la cual permite evaluar la eficiencia con la que innovan los subsectores de la industria manufacturera Colombiana (agrupación de la encuesta en grupos según el CIIU4) esto en el periodo 2017-2018. A partir de esta metodología, se realiza un análisis complementario a todos los análisis y resultados obtenidos por el DANE en los informes que acompañan la encuesta EDIT 2017-2018. Este trabajo brinda los siguientes resultados, primero posibilita la evaluación comparativa entre grupos, donde se identifican aquellos eficientes e ineficientes, y finalmente brindar información desagregada de cuales son los puntos donde los grupos tienen oportunidad para mejorar el indicador de eficiencia.

Por último, se concluye que el 54.5% (12) de los grupos son ineficientes mientras que el 45.5% (10) son eficientes a la hora de innovar. También se logró identificar el porque estas empresas son ineficientes y ver que en la mayoría de estas la oportunidad de mejora estaba relacionada con la reducción de la inversión financiera, o también, el aumento de patentes y formas de protección de las innovaciones. Cabe resaltar que se encontraron dos relaciones importantes entre los eficientes y los no eficientes para innovar, la primera de estas es la eficiencia para innovar y el dinamismo de los grupos, la segunda, es la capacidad de ser eficiente para innovar y el tamaño del grupo.

Palabras Claves: Análisis Envolvente de Datos (DEA), Unidad Tomadora de Decisión (DEA), Encuesta de desarrollo, innovación y tecnología (EDIT), Código para clasificación de actividad económica (CIIU 4).

1. Introducción

La innovación es un proceso de gran importancia para el crecimiento tanto de la producción como de la productividad de las empresas y las naciones [10]. En este sentido, es gracias a la innovación que se generan nuevas dinámicas que introducen diferentes combinaciones en los factores productivos y propician la aparición de nuevas actividades, mediante técnicas novedosas que inciden de manera positiva en la productividad y competitividad de la economía de las naciones y empresas [5]. La importancia de innovar es tal que los gobiernos y empresas al rededor del mundo apoyan, financian y buscan la manera de

medir la innovación y la efectividad de la misma en los factores productivos [10].

En Colombia, el conocimiento y la innovación se consideran un apoyo transversal que sostiene la industria en sus diferentes sectores, permitiendo reducir costos, resolver problemas, ampliar cobertura tanto en el mercado nacional como internacional y diversificar de manera sofisticada estos mercados [5]. Por consiguiente, la innovación para el Departamento Nacional de Planeación (DNP), es la estrategia principal para lograr transformar y dinamizar los diferentes sectores de la economía nacional [5]. Para este propósito, el DNP a dispuesto un plan fundamentado en tres pilares que consiste en financiar, formar y

organizar el uso del conocimiento y la innovación [5]. En este sentido, surge la necesidad de medir la innovación y ver la eficiencia con la que los agentes utilizan recursos y esfuerzos propios o estatales en investigación, desarrollo y tecnificación, para obtener resultados en términos de innovación.

Finalmente, de la necesidad de medir la innovación y tecnificación de las empresas en Colombia el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), lleva a cabo la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT) para medir y dar seguimiento del proceso de innovación en las empresas [5]. Adicionalmente, acompañando este proceso de recolección, crítica, codificación, supervisión y consolidación de los datos, el DANE realiza análisis y presentación de resultados [5]. Sin embargo, los documentos y estudios que giran entorno a estos análisis se pueden categorizar en su mayoría como ejercicios descriptivos, por consiguiente, en este trabajo se busca enriquecer los análisis propuestos por el DANE, estimando y analizando la eficiencia y configuración de la actividad innovadora de los subsectores de la industria manufacturera Colombiana encuestada para el periodo 2017-2018, y determinar qué factores influyen de manera directa en la eficiencia para innovar de las mismas. Para este objetivo, se realizó un análisis exploratorio de la encuesta y de los datos obtenidos en la mismas para determinar cuáles son las variables que mejor explican este fenómeno, y posteriormente establecer el nivel de eficiencia mediante un Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés), para las empresas agrupadas según el CIIU4 en grupos (Se escogen los tres primeros dígitos del código para dicha agrupación). Esta metodología, permitirá obtener de manera desagregada las razones de la ineficiencia de los subsectores de la industria manufacturera para innovar. Además, identificar falencias en las medidas tomadas por estos sectores.

2. Fundamentación Teórica

2.1. Análisis Envolvente de Datos

El Análisis Envolvente de Datos (Data Envelopment Analysis - DEA) es una técnica no paramétrica de frontera [6]. La cual es extensamente usada para la evaluación de la eficiencia técnica o asignativa de agentes o unidades tomadoras

de decisión. Esta técnica permitirían evaluar la productividad y eficiencia de una mejor manera dado que permite rendimientos conjuntos para el cálculo de la frontera de eficiencia [7, 6, 1].

En la formulación de la eficiencia para n agentes o DMUs que generan t outputs a partir de m inputs, se tiene la siguiente representación gráfica ver figura 2.1 y función de eficiencia (1), el esquema y la función permite tener una mejor comprensión de lo que posteriormente se desea optimizar[2].

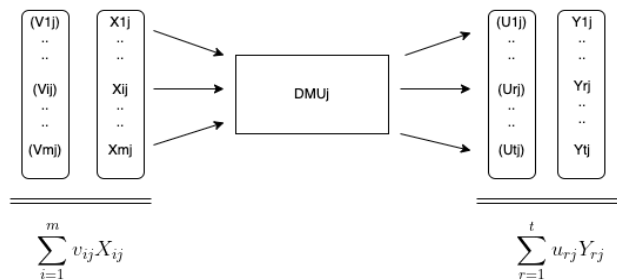


Figura 1: Esquema de eficiencia de la j -ésima DMU.

$$E_j = \frac{\sum_{r=1}^t u_{rj} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{ij} x_{ij}}, \quad (1)$$

donde los términos que se usan tanto en la figura 2.1 como la función (1) son:

$DMU_j = E_j = j$ -ésima Unidad Tomadora de Decisión con $(j = 1, \dots, n)$.

y_{rj} = Cantidad de output r producido por la j -ésima $(j = 1, \dots, n)$ DMU.

x_{ij} = Cantidad de input i consumido por la j -ésima $(j = 1, \dots, n)$ DMU.

u_{rj} = Ponderación del r output que sale de la j -ésima $(j = 1, \dots, n)$ DMU.

v_{ij} = Ponderación del i input que entra a la j -ésima $(j = 1, \dots, n)$ DMU.

Es importante resaltar que las ponderaciones no son conocidas. Sin embargo, el resto de variables si.

Por consiguiente, se tiene el planteamiento al problema desde la formulación clásica en la forma fraccional del modelo CCR orientado al output de cada DMU, que viene dada por:

Orientación output

$$\text{Maximizar } Z_0 = \frac{\sum_{r=1}^t u_{r0} y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_{i0} x_{i0}}, \quad (2)$$

Sujeto a:

$$\frac{\sum_{r=1}^t u_{r0} y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_{i0} x_{ij}} \leq 1; \text{ con } (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$u_{r0} \geq 0; \text{ con } (r = 1, 2, 3, \dots, t)$$

$$v_{i0} \geq 0; \text{ con } (i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

Note que de la resolución de este problema de programación fraccional se obtienen los resultados de u_{r0} y v_{i0} para cada una de las DMUs del problema. Cabe resaltar, que este mismo problema puede ser planteado desde la perspectiva input, convirtiéndolo en un problema de minimización de la función objetivo.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que el problema de maximización de la función de eficiencia (2) requiere la solución de un problema de programación fraccional y este problema puede presentar infinitas soluciones, ya que si se multiplica el vector u_{r0} y v_{i0} por un factor cualquiera, por ejemplo t el problema queda invariante. Por esta razón y escogiendo un t conveniente se puede transformar el problema a uno de programación lineal, lo cual se logra de dos maneras. La primera de esta, consiste en hacer el denominador (input) constante (se asume el valor de 1) y maximizar el numerador (output), cabe resaltar que a esta solución se le conoce como CCR orientado al output [2]. Este cambio de variable es conocido como input virtual normalizado. De forma análoga se hace con el segundo caso, a esta solución se le conoce como CCR orientado al input [8]. Dicho esto es importante resaltar que la eficiencia calculada es la eficiencia técnica, pues se maximiza el output dado un input o se minimiza el input dado un output [8].

En este sentido, el problema (2) puede ser re-escrito de forma lineal con el siguiente cambio de variable $\mu_{r0} = tu_{r0}$ y $\delta_{i0} = tv_{i0}$ con $t = \frac{1}{\sum_{i=1}^m v_{i0} x_{i0}}$. Por lo que la función linealizada quedaría de la siguiente manera:

Orientación output

$$\text{Maximizar } Z_0 = \sum_{r=1}^t \mu_{r0} y_{r0} \quad (3)$$

Sujeto a:

$$\sum_{r=1}^t \mu_{r0} y_{rj} - \sum_{i=1}^m \delta_{i0} x_{ij} \leq 0; \text{ con } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m \delta_{i0} x_{i0} = 1$$

$$\mu_{r0} \geq \epsilon; \text{ con } (r = 1, 2, 3, \dots, t)$$

$$\delta_{i0} \geq \epsilon; \text{ con } (i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

$$\epsilon \geq 0$$

Este planteamiento también se tiene para la otra orientación, es decir, la orientación input. Este modelo (3) a diferencia del modelo anterior (2) es totalmente operativo y resoluble por medio del método simplex, además reduce significativamente la complejidad computacional volviendo un problema lineal. Por otra parte, el problema agrega una nueva restricción al problema original lo que implica que acota la región factible.

Por otro lado, se tienen dos formulaciones para el cálculo de la frontera de eficiencia, una es rendimientos constantes a escala y rendimientos variables a escala, ambas se pueden observar en la figura 2.1 donde para el primer caso la eficiencia orientada al input de la DMU B esta definida por la relación $ET_{CRS}^I = \frac{y_0 P_c}{y_0 B}$ ver figura 2.1. Mientras que el modelo orientado al output de la DMU B con rendimientos constantes a escala esta definido por la relación $ET_{CRS}^O = \frac{x_0 B}{x_0 P_d}$. De esta manera si queremos saber cuanto le hace falta a la DMU B para ser eficiente se podría realizar la resta entre 100 y cualquiera de los resultados obtenidos anteriormente y de esta manera identificar donde y en cuanta medida se debe incrementar para ser eficiente. Para el segundo caso la eficiencia orientada tanto al input como al output para el DMU B con rendimientos variables a escala, que están definidos por la relación $ET_{VRS}^I = \frac{y_0 P_b}{y_0 B}$ y $ET_{VRS}^O = \frac{x_0 B}{x_0 P_e}$ respectivamente.

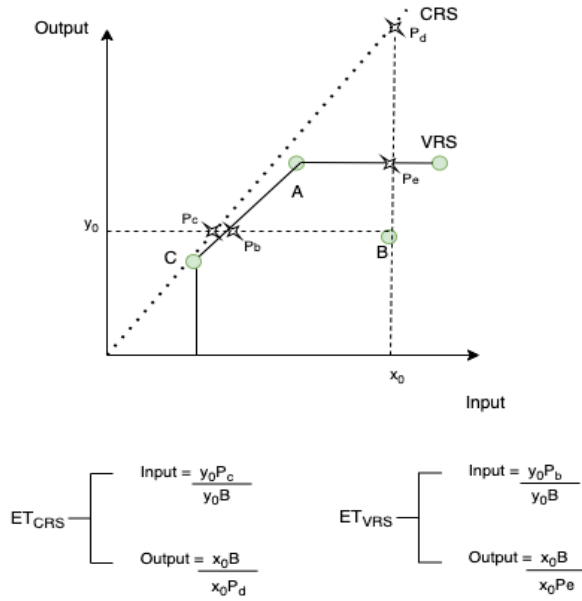


Figura 2: Esquema para CCR y BCC.

3. Resultados

Para lograr los objetivos planteados, en los que se busca encontrar la frontera de eficiencia técnica, donde se maximizan los resultados de la innovación, se tuvo en cuenta la siguiente ruta. En primer lugar, se planteó un procesamiento inicial de la encuesta la EDIT, para la elección de las variables que miden el esfuerzo y los resultados de la innovación. Luego, se realiza un procesamiento de la encuesta y se escoge una métrica para realizar la agrupación de las empresas encuestadas en subsectores (grupos según el CIIU4) [4]. Posteriormente, se escoge R-Studio como herramienta para realizar el cálculo del DEA y simular diferentes escenarios de los cuales se escogió uno (ampliar información [3]). Finalmente, se hace un análisis de los resultados junto a algunas medidas descriptivas para encontrar las relaciones que hacen que algunos grupos sean innovadores y otro no innovadores, adicional a esto, se procede a comparar con los resultados de un análisis de Mincomercio sobre la industria manufacturera [9].

El modelo final que se tuvo en cuenta para realizar la simulación tiene en cuenta las variables que se ven en la figura 3 y la agrupación de las empresas por grupos.

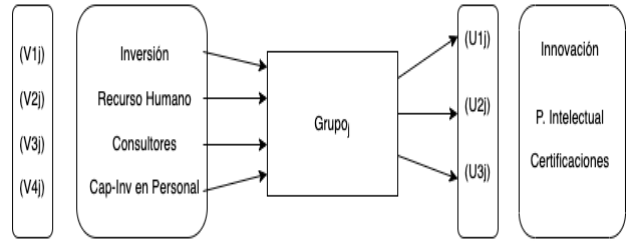


Figura 3: Esquema de eficiencia de la j-ésima grupo.

Dentro de los resultados principales que se tienen de aplicar el DEA al esquema presentado en la figura 3 son que 10 de los 22 grupos evaluados fueron catalogados como eficientes a la hora de innovar, y los grupos restantes fueron catalogados como no eficientes (ver figura 3). Adicional se tiene la tabla 1 (Tabla en anexos) que muestra los resultados obtenidos tanto de aplicar la metodología DEA como de realizar la comparación de con el proyecto de Min-Comercio [9]. Donde tiene que el 90 % de los grupos catalogados como eficientes también son dinámicos y que el 60 % de los grupos catalogados como no eficientes también fueron catalogados como menos dinámicos.

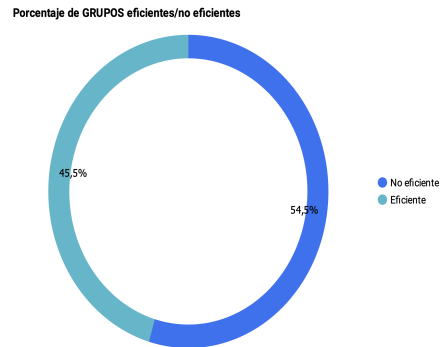


Figura 4: Torta con porcentaje de eficientes y no eficientes.

Por otra parte, se obtienen las holguras o también llamadas opciones de mejora de los grupos no eficientes, las cuales se obtienen para las variables input o variables de entrada y para las variables output o variables de salida. Los valores encontrados en estas tablas 2 y 3 representan la cantidad de input que se debe disminuir y la cantidad de output que se debe aumentar para ser eficiente. En este sentido, se tiene que el 75 % de los grupos catalogados como no eficientes deben disminuir la cantidad de recursos financieros para ser eficientes, también se tiene que el 50 % de los grupos deben disminuir la cantidad de consulto-

res tanto internos como externos. Finalmente, se tiene que el 50 % de los grupos deben aumentar la cantidad de certificaciones que general.

Para terminar, cuando se analizan otros factores como la participación en el mercado en conjunto a la categorización de eficiencia se obtiene el siguiente gráfico (ver figura 3), el cual permite identificar que los grupos más grandes fueron aquellos catalogados como no eficientes. Por otra parte, se ve como los grupos que tiene mayor participación en exportaciones son mas eficientes.

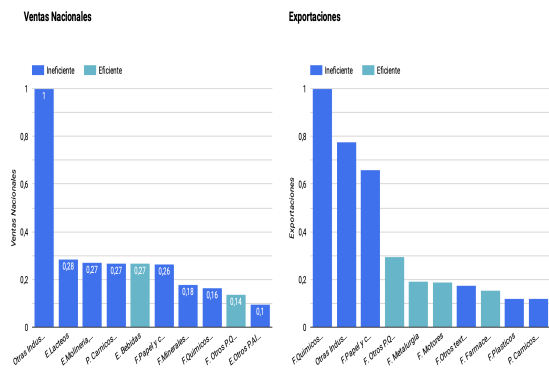


Figura 5: Barras de ventas nacionales y exportaciones con la categorización de eficiencia.

4. Conclusiones

Dado los resultados obtenidos y los análisis realizados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- * Existe una clara dificultad de los subsectores más grandes y menos relevantes en el mercado para ser eficientes a la hora de innovar, pues fueron en su mayoría los catalogados como poco eficientes. Por otra parte, los subsectores intermedios fueron catalogados como eficientes lo que genera una perspectiva de análisis interesante para la toma de decisiones en políticas públicas.
- * Para los subsectores catalogados como poco eficientes a la hora de innovar los factores principales que contribuyen a esta inefi-

ciencia son por la parte del input la cantidad de recursos financieros que están gastando y la cantidad de consultores que se tienen contratados, es decir que si deberían disminuir este gasto para ser mas eficientes o aumentar la cantidad de certificaciones obtenidas.

- * Al momento de comparar los resultados con el trabajo propuesto por mincomercio [9], se encontro una relación que respaldan los resultados obtenidos dado que el 90 % de los grupos catalogados como eficientes a la hora de innovar también eran dinámicos y que el 60 % de los grupos catalogados como no eficientes también eran menos dinámicos.

Referencias

- [1] CHARNES, A., COOPER, W. W., AND RHODES, E. Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through. *Management Science* 27, 6 (1981), 668–697.
- [2] CHEDIAK P. FRANCISCO, V. A. L. S. Metodología para medir la eficiencia mediante la técnica del análisis envolvente de datos -DEA-. *Vector Volumen 3* (2008), 70–81.
- [3] COLL-SERRANO, V., BENÍTEZ, R., AND BÓLOS, V. J. Data Envelopment Analysis with deaR. *dR versión Español*, November (2018), 1–16.
- [4] DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Industrial Uniforme económicas. *Clasificación Industrial Internacional Uniforme* (2020), 2–693.
- [5] EDIT, M. Nacional de Estadística DSO Dirección de Metodología y Producción Estadística / DIMPE Metodología General Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en. *DANE* (2017).
- [6] FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)* 120, 3 (1957), 253–281.
- [7] GUTIÉRREZ, C. Eficiencia de los sistemas regionales de innovación en Europa y análisis econométrico de sus determinantes (TD). *Universidad Complutense de Madrid Facultad de Ciencias Políticas y Sociología* (2018).
- [8] JAIME, J. A. Formulaciones en el Análisis Envolvente de Datos (DEA). Resolución de casos prácticos. *Depósito de investigación - Universidad de Sevilla* (2016), 93.
- [9] MINCOMERCIO. La Industria manufacturera a enero de 2019. *Oficina de Estudios Económicos* (2019), 1–23.
- [10] OECD. *Manual de Oslo 2005*. OCDE y Eurostat, 2005.

5. Anexos

Cuadro 1: Resultados del DEA junto a la categorización realizada por MinComercio [9]

Grupo	Eficiencia	Nombre Grupo	Catg. Dinámico
110	1	E. Bebidas	Dinámico
141	1	C. Prendas de vestir	Dinámico
152	1	F. Calzado	Dinámico
181	1	Act. Impresión	Dinámico
202	1	F. Otros P.Químicos	Dinámico
210	1	F. Farmacéuticos	Dinámico
251	1	F. Metalurgia	No Aparece
271	1	F. Motores	Dinámico
281	1	F. Maquinaria y equipo	Dinámico
311	1	F. Muebles	Dinámico
282	0.980	F. Maquinaria especial	No Aparece
108	0.957	E.Otros P.Alimenticios	Menos Dinámico
104	0.928	E.Lácteos	Menos Dinámico
222	0.912	F.Plásticos	Dinámico
139	0.836	F.Otros textiles	Menos Dinámico
259	0.795	F.Otros Metalurgia	Menos Dinámico
105	0.756	E.Molinería, Almidón	Dinámico
101	0.747	P. Cárnicos - Pescado	Dinámico
201	0.729	F.Químicos y sintéticos	Menos Dinámico
170	0.726	F.Papel y cartón	Dinámico
239	0.671	F.Minerales no metálicos	Menos Dinámico
329	0.541	Otras Industrias Manufactureras	Menos Dinámico

Cuadro 2: Tabla de los Slacks del Input

DMU	Nombres	Inversión	I.Personal	RH	Consultores
101	P. Carnicos - Pescado	0,1224	0,0000	0,0000	0,0352
104	E.Lacteos	0,2738	0,0000	0,0000	0,1322
105	E.Molineria, Almidon	0,0595	0,0000	0,0000	0,2635
108	E.Otros P.Alimenticios	0,0810	0,0000	0,0000	0,0000
139	F.Otros textiles	0,0000	0,7688	1,4739	0,0547
170	F.Papel y carton	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
201	F.Quimicos y sinteticos	0,1706	0,0000	0,0000	0,0917
222	F.Plásticos	0,0401	0,4721	0,0000	0,0000
239	F.Minerales no metalicos	0,3271	0,0000	0,0000	0,0000
259	F.Otros Metalurgia	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
282	F.Maquinaria especial	0,0030	0,0000	0,0000	0,0000
329	Otras Ind.Manufactureras	0,8101	0,0000	0,0000	0,0827

Cuadro 3: Tabla de los Slacks del Output

DMU	Nombres	Certificaciones	P Intelectual
101	P. Cárnicos - Pescado	0,0000	2,7018
104	E.Lácteos	0,0208	0,0000
105	E.Molinería, Almidón	0,0419	0,0000
108	E.Otros P.Alimenticios	0,0000	0,0000
139	F.Otros textiles	0,0000	0,0000
170	F.Papel y cartón	0,2859	0,0000
201	F.Químicos y sintéticos	0,0000	0,0000
222	F.Plásticos	0,0000	0,0000
239	F.Minerales no metálicos	0,0000	0,0000
259	F.Otros Metalurgia	0,0925	0,0000
282	F. Maquinaria especial	0,0000	0,8205
329	Otras Industrias Manufactureras	0,0763	0,0000