
Medición de la eficiencia de las Facultades de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja a través de modelos de eficiencia

Measurement of the efficiency of the Faculties of the Tunja sectional Santo Tomás University through efficiency models

Gustavo Barrera Mariño^a
gustavobarreram@usantotomas.edu.co

Andrés Cruz Pérez^b
dir.estadisticaaplicada@usantotomas.edu.co

Jeimy Aristizabal Rodríguez^c
jparistizabalr@gmail.com

Resumen

Los modelos de eficiencia son técnicas utilizadas para medir el uso de recursos y sus productos o resultados, comúnmente denominadas unidad de gestión de datos (DMU), las cuales transforman entradas en salidas para medir la eficiencia de cada unidad de estudio. Los modelos de eficiencia permiten comparar en términos de resultados a las diferentes unidades teniendo en cuenta sus recursos. En el presente trabajo se toman INPUTS o variables de entrada para cada facultad y se revisan las salidas que para este caso son los productos de las 10 facultades de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, a través de la aplicación de modelos de fronteras de eficiencia. Para cumplir con este objetivo, se realizó la recolección de información de un periodo específico a través de la medición de diferentes variables enmarcadas en los ejes misionales de la Educación Superior en Colombia, a saber: Formación, Investigación y Extensión o proyección social. Se aplicaron dos enfoques diferentes de modelos de fronteras de eficiencia: un enfoque paramétrico en el que se asume que existe una relación funcional conocida entre las variables de insumo (inputs) y las variables de resultado (outputs) ajustando un modelo de fronteras estocásticas (SFA) y un enfoque no paramétrico en el cual se aplica el modelo de datos envolventes (DEA). Se logró identificar cuales facultades logran su mayor eficiencia con menores inputs, al igual que se proyectan variables en las cuales se puede mejorar para lograr la mayor eficiencia en las facultades con menores resultados. Con este trabajo se espera brindar una herramienta de gestión, que permita generar planes de mejoramiento y optimización de sus recursos.

Palabras clave: Modelos de Eficiencia, Modelos de Fronteras Estocásticas, Modelos de Datos Envolventes, Optimización de Recursos.

^aUniversidad Santo Tomás

^bUniversidad Santo Tomás

^cUniversidad Externado de Colombia

Abstract

Efficiency models are techniques used to measure the use of resources and their products or results, commonly called data management unit (DMU), which transform inputs into outputs to measure the efficiency of each study unit. Efficiency models make it possible to compare the different units in terms of results, taking into account their resources. In the present work, INPUTS or input variables are taken for each faculty and the outputs are reviewed, which in this case are the products of the 10 faculties of the Universidad Santo Tomás sectional Tunja, through the application of efficiency frontier models. To meet this objective, information was collected for a specific period through the measurement of different variables framed in the missionary axes of Higher Education in Colombia, namely: Training, Research and Extension or social projection. Two different efficiency frontier model approaches were applied: a parametric approach in which it is assumed that there is a known functional relationship between the input variables (inputs) and the output variables (outputs) by fitting a stochastic frontier model (SFA) and a non-parametric approach in which the data envelope model (DEA) is applied. It was possible to identify which faculties achieve their greatest efficiency with lower inputs, as well as variables that can be improved to achieve greater efficiency in the faculties with lower results. With this work it is expected to provide a management tool that allows generating plans for improvement and optimization of its resources.

Keywords: Efficiency Models, Stochastic Frontier Models, Data Envelopment Analysis (DEA), Resource Optimization.

1. Introducción

La Universidad Santo Tomás es una institución de educación superior privada y católica, la cual es dirigida por Frailes de la orden de predicadores de la provincia de San Luis Beltrán de Colombia. La Universidad en mención presta servicios de formación en diferentes disciplinas de pregrado, postgrado especialización y maestría entre otros, su misión se fundamenta en el pensamiento Humanista y Cristiano de Santo Tomás de Aquino que consiste en promover la formación integral de las personas en el campo de la educación superior, mediante acciones y procesos de enseñanza-aprendizaje, investigación y proyección social, aportando a solucionar problemáticas y necesidades de la comunidad (USTA, 2004, p. 5). Se pretende realizar con este estudio un análisis general por facultades (Administración de empresas, Arquitectura, Derecho, Contaduría pública, Ingeniería ambiental, Ingeniería civil, Ingeniería electrónica, Ingeniería mecánica, Ingeniería de sistemas, Negocios internacionales) de la Universidad, donde se haga un análisis de eficiencia a través de la aplicación de modelos de fronteras de eficiencia con dos enfoques: uno no paramétrico basado en la aplicación de análisis de datos envolvente (DEA) (Alberto Jaime, 2016) y uno paramétrico basado en la aplicación de fronteras estocásticas (SFA) (Battese and Coelli, 1992).

En la búsqueda del mejoramiento continuo se plantea la pregunta, ¿cuáles facultades de la Universidad Santo Tomás Tunja tienen mayor eficiencia en cada uno de los ejes misionales?, la respuesta a esta inquietud y la identificación de las variables relacionadas con ineficiencias, permitirá a nivel macro establecer estrategias y alternativas para fortalecer permanentemente la educación, los mecanismos de gestión y los sistemas de calidad dentro de la institución y a nivel micro (para las unidades) presentar propuestas acordes a cada una de las unidades de estudio para seguir fortaleciendo la buena gestión de los líderes de la institución. Asimismo, el resultado del presente

probablemente resalte mejoramientos en las funciones misionales de la Universidad y en cada uno de los ejes misionales por facultad, incluidos en el análisis: formación, investigación y extensión o proyección social y teniendo en cuenta que entre las facultades la asignación de recursos para el logro de resultados es heterogénea por múltiples circunstancias. Finalmente, con este análisis la Universidad podrá definir e implementar políticas para incrementar la calidad de cada Facultad, basado en información real y no a través de la percepción particular. El alcance de la investigación se limita a las Facultades de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, pero se puede replicar hacia otras organizaciones similares.

Para determinar los niveles de eficiencia por cada Facultad se usan metodologías del Análisis Envolvente de datos y Análisis de Fronteras Estocásticas para establecer la eficiencia técnica de las diferentes facultades de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja a través de la aplicación de modelos estadísticos realizando una comparación de resultados entre modelos descritos paramétrico y no paramétrico. Siguiendo un orden se identificaron las variables de capacidad y las variables de resultado por cada uno de los ejes misionales de la organización verificando descriptivamente cada una de las variables y su aporte a la construcción de los resultados, una vez seleccionadas las variables a trabajar se organizó la información para realizar una comparación entre los modelos de eficiencia paramétrico y no paramétrico que permiten verificar la eficiencia por cada facultad, asumiendo los mismos recursos para el logro de los resultados de tal manera que se visualiza finalmente la variable o variables que permiten ser maximizadas para que la unidad de estudio o facultad sea más eficiente. Los modelos de eficiencia permiten medir el uso de recursos y sus productos o resultados, comúnmente denominadas unidad de gestión de datos (DMU), las cuales transforman entradas en salidas para medir la eficiencia de cada unidad de estudio. Para lo anterior se hizo uso del análisis envolvente de datos por medio del cual se identifica una frontera empírica que permite inducir un resultado de eficiencia por cada unidad estudiada, comparado con el análisis de fronteras estocásticas, el cual asume que la eficiencia en las facultades ha sido explicada por medio de los insumos que se usaron en la transformación de los resultados y tomando como premisa que existen factores complejos que se ajustan al modelo y generan una curva de eficiencia que puede ser comparada por los resultados de las diferentes facultades.

2. Modelos de Eficiencia

Los modelos de fronteras permiten verificar por medio de entradas y salidas la eficiencia de una Facultad y decidir que recurso puede maximizar o minimizar para lograr el mayor rendimiento de la unidad, que para este caso específico es la Facultad en estudio. Dentro de estos modelos, se incluyen modelos paramétricos (SFA) y modelos no paramétricos (DEA). El DEA es una herramienta no paramétrica que produce una frontera eficiente empírica, es decir, dada por los datos suministrados al modelo y permite alcanzar un índice único de eficiencia por unidad evaluada, generando un conjunto de referencia para las unidades o dependencias que resulten ineficientes. Con carácter general, los métodos de estimación para construir la frontera pueden clasificarse, en función de que se requiera o no especificar, una forma funcional que relacione los inputs (entradas) con los outputs (salidas), en métodos paramétricos o no paramétricos. El Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una técnica no paramétrica, determinista, que recurre a la programación matemática (Alberto Jaime, 2016). El DEA es una herramienta no paramétrica que produce una frontera eficiente empírica, es decir, dada por los datos suministrados al modelo y permite alcanzar un índice único de eficiencia por

unidad evaluada, generando un conjunto de referencia para las unidades que resulten ineficientes. No está condicionado a supuestos en la distribución de los datos, utiliza programación lineal para ajustar una función de límite a datos de observación para una muestra de empresas relativamente homogéneas. El método es libre de distribución y permite que los datos hablen por sí mismos (Bates et al., 1996). Más específicamente, la frontera DEA encuentra la mejor combinación insumo-producto para tener un mejor ajuste extremo dadas las restricciones y suponiendo la libre disposición de las entradas y salidas (Seiford and Thrall, 1990).

De otro lado, el SFA es un método estocástico que permite establecer a través de métodos paramétricos la frontera de eficiencia de varias unidades de gestión de datos (DMU), en condiciones de heterogeneidad para cada Facultad. El modelo de frontera estocástica supone una modificación de la frontera determinística que, aunque presenta mayor complejidad en su estimación, permite reconocer la posible influencia de perturbaciones aleatorias en el análisis. De hecho, las funciones de frontera de tipo determinístico presentan como principal característica que atribuyen toda la desviación de la frontera a la ineficiencia (Pérez Cárceles, 2013). El Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA) es un método estocástico que permite establecer a través de métodos paramétricos la frontera de eficiencia de varias DMU en condiciones de heterogeneidad. Está condicionado a supuestos en la distribución de los datos, utiliza métodos paramétricos que asumen una estructura y luego ajusta la curva. Hay varias opciones disponibles para estimar las fronteras de las mejores prácticas a través del enfoque paramétrico. La opción más simple es corregir la ubicación de la línea de regresión de mínimos cuadrados para reflejar el ideal conductual de la mejor práctica en lugar de un promedio. Una táctica alternativa, bajo el enfoque paramétrico, es emplear criterios de máxima versosimilitud para estimar la frontera de eficiencia.

2.1. Modelo de Análisis Envolvente (DEA)

Este modelo para medición de eficiencia logra realizar una medición de capacidad que tiene cada unidad de producción en este caso cada Facultad, para lograr producir la mayor cantidad de salidas o de productos (output) a partir de un conjunto de entradas o variables de trabajo inicial, por ejemplo para el caso específico docentes, productos de investigación y cada una de las entradas que se tendrán en cuenta, denominadas inputs. Esta medición se obtiene a partir de la comparación entre cada valor resultado del análisis de la unidad con el valor de la frontera estimada. En la figura 1 se muestra un ejemplo de medición de eficiencia (ET), en el cual se observa la línea de frontera y el sector ineficiente.

La medición de eficiencia técnica medida como un punto debajo de la línea de la frontera la describiremos como: $Eficiencia^1(ET)$;

$$ET = \frac{OB'}{OB} = B \quad (1)$$

En el contexto del Análisis Envolvente de Datos (DEA), definimos tres puntos clave para medir la eficiencia técnica. El punto O representa el origen en un gráfico de entradas versus salidas. El punto B simboliza la posición actual de una Unidad de Toma de Decisiones (DMU) basada en sus entradas

¹Jaime y Luque, Junio de 2016, Formulaciones en el Análisis Envolvente de Datos (DEA). Resolución de casos prácticos, U Sevilla.

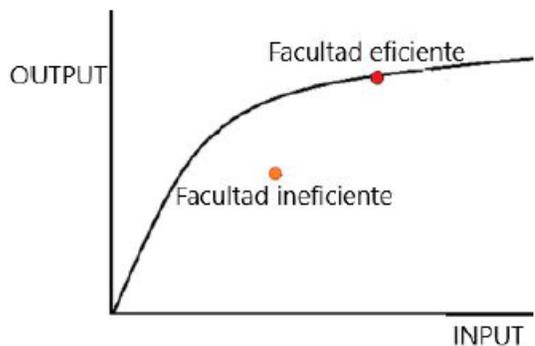


Figura 1: Frontera estocástica
Fuente: Autor

y salidas actuales. Por otro lado, B' es la proyección de B sobre la frontera de eficiencia, indicando la combinación más eficiente de entradas y salidas que la DMU podría alcanzar. La eficiencia técnica (ET) se calcula como la relación OB'/OB y tiene un valor entre 0 y 1. Un valor de 1 indica máxima eficiencia, es decir, que la DMU opera en la frontera de eficiencia.

El análisis DEA busca determinar la eficiencia relativa de una Facultad al compararla con una frontera de eficiencia construida a partir de otras Facultades. La eficiencia se calcula maximizando la relación entre las salidas y las entradas de la Facultad en cuestión.

$$\max_{u,v} h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{i0}} \tag{2}$$

sujeto a

$$\frac{\sum_{r=1}^s U_r Y_{rj}}{\sum_{i=1}^m V_i X_{ij}} \leq 1, \quad \forall j$$

tomando

$$\begin{aligned} i &= 1, 2, 3, \dots, m \\ r &= 1, 2, 3, \dots, s \\ U_r, V_i &\geq 0 \end{aligned}$$

Para lo cual definimos:

- i : Cada una de las iteraciones de entrada para medir la eficiencia.
- r : Cada una de las iteraciones de salida para medir la eficiencia.
- X_{i0} : Cantidad de entradas (input) consumidas por la Facultad objetivo.

- Y_{r0} : Cantidad de salidas (input) generadas por la Facultad objetivo.

En el Análisis Envolvente de Datos (DEA), el objetivo principal es determinar los valores óptimos de U_r y V_i que maximicen la eficiencia h_0 de una Unidad de Toma de Decisiones (DMU). Estas ponderaciones, asignadas a las salidas (outputs) e entradas (inputs), reflejan la eficiencia relativa de la DMU en cuestión. Las DMUs que son particularmente eficientes en relación con otras en el conjunto de datos tendrán ponderaciones que maximizan su eficiencia relativa. Si una ponderación es cero, indica que esa entrada o salida específica no contribuye a la eficiencia de la DMU y, por lo tanto, no se considera en la evaluación. Dentro de la metodología DEA, se emplean técnicas de programación matemática para relacionar las entradas X_i con las salidas Y_r . Los “slacks” en este contexto representan las discrepancias entre las entradas y salidas observadas y las óptimas, sirviendo como indicadores de áreas donde las DMUs pueden mejorar su eficiencia.

Los ‘slacks’ se refieren a la cantidad de insumo que se podría reducir sin afectar la producción o al déficit de producto que podría incrementarse sin requerir más insumos, cuando una unidad opera en la frontera de eficiencia, según Farrell (1957).

2.2. Modelo de Fronteras Estocásticas (SFA)

Consideremos una función de producción para la i -ésima Facultad dada por:

$$Q_i = f(Z_i, \beta) \quad (3)$$

donde:

- Q_i es el producto de la i -ésima facultad.
- Z_i representa el vector de insumos de la i -ésima facultad.
- β es el vector de parámetros asociados a la función de producción.

Bajo esta función, se asume que no existen ineficiencias y que cada facultad alcanza el máximo posible de resultados con los recursos disponibles. Sin embargo, los modelos de frontera estocástica consideran que cada Facultad produce sus resultados con un cierto grado de eficiencia, representado por:

$$Q_i = f(Z_i, \beta) \times E_i \quad (4)$$

Aquí, E_i denota el nivel de ineficiencia de la facultad i , un valor entre 0 y 1. Si $E_i = 1$, la facultad es completamente eficiente. Esta ineficiencia refleja las decisiones tomadas en la Facultad. Sin embargo, el rendimiento de una Facultad no solo depende de las decisiones tomadas, sino también de factores no controlables. Estos se modelan como una perturbación aleatoria, compuesta por $V_i - U_i$, donde V_i es un componente aleatorio y U_i es siempre positivo. Así, la función se expresa como:

$$Q_i = f(Z_i, \beta) \times E_i \times \exp(V_i) \quad (5)$$

Aplicando logaritmos a ambos lados y asumiendo linealidad en los logaritmos, obtenemos:

$$\ln(Q_i) = \ln f(Z_i, \beta) + \ln(E_i) + V_i \quad (6)$$

Definiendo $U_i = -\ln E_i$, la función lineal se expresa como:

$$\ln(Q_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln(Z_j) + V_i - U_i \quad (7)$$

En este modelo, Q_i representa los productos de las facultades o un índice de resultados, mientras que Z_i son los insumos. Los parámetros β son estimados usando el paquete estadístico R con el procedimiento *frontier*.

El modelo de retornos constantes a escala implica que cualquier DMU puede lograr eficiencia, independientemente de su tamaño. Esta eficiencia, bajo el supuesto de rendimientos a escala constantes, se conoce como eficiencia técnica global. Sin embargo, cuando no es apropiado asumir retornos a escala constantes, es recomendable trabajar con retornos a escala variable.

3. Metodología

Dentro del análisis de esta investigación se emplea análisis de tipo cualitativo y cuantitativo que se basa en el análisis envolvente de datos y análisis de fronteras estocásticas para determinar la eficiencia de las facultades (Administración de empresas, Arquitectura, Derecho, Contaduría pública, Ingeniería ambiental, Ingeniería civil, Ingeniería electrónica, Ingeniería mecánica, Ingeniería de sistemas, Negocios internacionales) de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, desde una perspectiva técnica y administrativa reflejado en las etapas a desarrollar el proyecto, tal como la selección de las facultades y oficinas que se van a incluir en el estudio, revisión, análisis y selección de las variables de entrada (componente de capacidad) para el DEA, revisión, análisis y selección de las variables de salida (variables resultado) en el estudio. Aplicación de los modelos DEA y SFA para ajuste de la frontera y establecimiento de estrategias según los resultados de las eficiencias por facultad.

3.1. Facultades a incluir para el análisis

Se tendrán en cuenta las 10 facultades que operan en la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, se trabajará con información disponible en los diferentes campus de la seccional y las diferentes dependencias que organizan la información. Son las facultades (Administración de empresas, Arquitectura, Derecho, Contaduría pública, Ingeniería ambiental, Ingeniería civil, Ingeniería electrónica, Ingeniería mecánica, Ingeniería de sistemas, Negocios internacionales).

3.2. Variables a tener en cuenta en el estudio

La Universidad es una empresa privada que administra recursos propios y genera resultados de acuerdo a lo gestionado, cada una de las dependencias es la encargada de solicitar los recursos, materiales y materias primas necesarias para el funcionamiento y transformarlas en salidas que serán los productos esperados y entregados en cada periodo académico.

Variables de entrada

Cantidad de personal administrativo por facultad, cantidad de docentes disponibles para cada facultad (TCE), resultados de las pruebas saber 11 por facultad en un periodo, cantidad o porcentaje de estudiantes por facultad que obtuvieron puntajes superiores al promedio en pruebas saber 11, respecto al grupo de referencia.

Variables de salida

Total acumulado de estudiantes por facultad, cantidad de estudiantes nuevos matriculados por facultad en un periodo especificado, resultados en pruebas saber pro por facultad en un periodo, cantidad de productos de investigación publicados en un periodo, cantidad de proyectos de responsabilidad social por facultad.

3.3. Datos relevantes del estudio

Dentro del análisis de datos se tuvo en cuenta las variables presentes en el estudio, las cuales fueron nombradas para facilitar la inmersión en el programa R y la realización del análisis respectivo. En el presente, se realiza el análisis de correlación para cada par de variables, teniendo en cuenta el coeficiente correlación de Pearson, es preciso recordar que valores cercanos a uno y menos uno indicarán relación fuerte entre las variables, y valores cercanos a cero indicarán ausencia de relación entre variables.

Se puede evidenciar correlaciones de -0.69 en las variables escalafón e investigación lo cual nos indica fuerte correlación entre las variables, esto se deriva de la formación académica de los docentes y la cantidad de docentes por facultad, y evidencia que entre mayor cantidad de docentes dedicados a investigación existan en la facultad se puede generar mayor producción académica por periodo; de igual forma variables como cantidad total de estudiantes y docentes tiempo completo con un valor de 0.92 evidencia relación directa entre las variables, donde se verifica que entre mayor cantidad de estudiantes se requieren mayor cantidad de docentes para atender los procesos de formación, la variable estudiantes de primer curso y total de estudiantes con valor de 0.9 reflejan muy buena asociación.

Mientras variables como valor agregado en sociales y total de estudiantes con resultado de -0.08 reflejan valores con muy baja correlación y la variable valor agregado en sociales con investigación presentan correlación nula. Donde podemos verificar las asociaciones entre variables, entre más

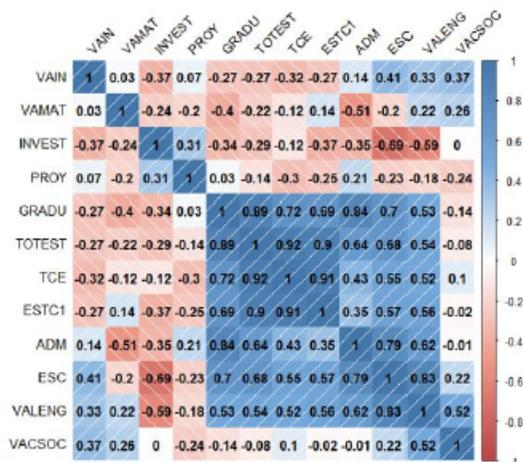


Figura 2: Matriz de correlaciones
Fuente: Autor

oscuro el color mayor relación tienen las variables en estudio; líneas diagonales en el color azul indican relación positiva y líneas diagonales en el color rojo indican relación negativa.

3.4. Análisis DEA

En el análisis DEA realizado por facultades, se tuvieron en cuenta las diferentes combinaciones de variables, particularmente se trabajaron factores de docencia, investigación y responsabilidad social con INPUTS y OUTPUTS acorde a la investigación; para comparar cual de estas combinaciones presenta mejores resultados en sus componentes, las variables estudiadas son:

VARIABLES RELACIONADAS PARA EL ESTUDIO DE EFICIENCIA			
EJE	VARIABLE	SIGLA O NOTACIÓN	NÚMERO DE LA VARIABLE
Formación	TCE (Cantidad de docentes disponibles por facultad)	TCE	2
Formación	Administrativos (Cantidad de personal administrativo por facultad)	ADM	3
Formación	Escalafón - (Altos escalafones en docentes)	ESC	4
Formación	Resultados saber 11 Lenguaje	SABER11ENCPRMLENG	5
Formación	Resultados saber 11 Matemáticas	SABER11ENCPRMMAT	6
Formación	Resultados saber 11 Sociales	SABER11ENCPRMSOC	7
Formación	Resultados saber 11 Inglés	SABER11ENCPRMING	8
Formación	Cantidad de estudiantes primer semestre o curso	ESTC1	9
Formación	Total de estudiantes matriculados por facultad	TOTEST	10
Formación	Resultados saber PRO Lenguaje	SABERPROENCPRMLENG	11
Formación	Resultados saber PRO Matemáticas	SABERPROENCPRMAT	12
Formación	Resultados saber PRO Competencias Ciudadanas o sociales	SABERPROENCPROSOC	13
Formación	Resultados saber PRO Inglés	SABERPROENCPROING	14
Investigación	Cantidad de productos de investigación	INVEST	15
Responsabilidad social	Cantidad de productos de Responsabilidad social	PROY	16

Tabla 1: Numeración variables

Para revisar diferentes interacciones y posibles asociaciones entre grupos de variables, se conformaron los grupos descritos en la tabla anterior, para estudiar las holguras y los resultados de componentes principales y verificar las mejores asociaciones, se realiza un análisis de las interacciones donde se tomen grupos que asocian variables de formación, proyección e investigación en diferentes combinaciones para hacer representativo el análisis y lograr verificar cual modelo presenta las mejores y desfavorables eficiencias por cada facultad. Se trabaja con 3 modelos para el eje de Formación, 2 modelos para el eje de Investigación y 2 modelos para el eje de Investigación, los cuales se registran en la siguiente tabla.

En la tabla anterior se registran las combinaciones de diferentes grupos de variables asociadas,

MODELOS Y GRUPOS DE VARIABLES ESTUDIADAS		
DESCRIPCIÓN DEL MODELO	INPUTS	OUTPUTS
Modelo 1F Formación	2 a 4	9 a 14 y 17
Modelo 2F Formación	2 a 4	9, 10, 17 , 18 a 21
Modelo 3F Formación	2 a 8	9 a 14 y 17

Tabla 2: Grupos de variables para modelos estadísticos

teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- El primer modelo 1F muestra las variables de Cantidad de Docentes, escalafones docentes y administrativos como variables de entrada (INPUT). En variables de salida (OUTPUT) tenemos estudiantes de primer semestre, total de estudiantes , resultados saber pro por cada competencia (Lenguaje, Matemáticas, sociales e Inglés) y cantidad de graduados. Para las variables de entrada se identifica en la anterior figura, los aportes por componente siendo 0.74 el aporte para la cantidad total de docentes (TCE), 0.88 para el aporte de la cantidad total de Administrativos por facultad y 0.92 el aporte más grande que corresponde a los docentes con escalafón 4 y 5. En los Output o variables de salida se identifica que las pruebas de saber pro en lenguaje es la variable que más aporta en la distribución de componentes con valor de 0.97.
- El segundo modelo 2F muestra las variables de Cantidad de Docentes, escalafones docentes y administrativos como variables de entrada (INPUT). En variables de salida (OUTPUT) tenemos estudiantes de primer semestre, total de estudiantes , graduados, y valor agregado en resultados saber pro por cada competencia (Lenguaje, Matemáticas, sociales Inglés). Para el segundo modelo se trabajan las mismas variables de entrada que el modelo 1, el cambio se identifica en las variables de salida donde el aporte significativo se evidencia en la cantidad de estudiantes matriculados por cada facultad con un valor de 0.97 en el primer componente, seguido del aporte en la cantidad de estudiantes graduados por facultad.
- El tercer modelo 3F muestra las variables de Cantidad de Docentes, escalafones docentes, administrativos y resultados en pruebas saber 11, como variables de entrada (INPUT). En variables de salida (OUTPUT) tenemos estudiantes de primer semestre, total de estudiantes , resultados saber pro por cada competencia (Lenguaje, Matemáticas, sociales Inglés) y cantidad de graduados. Para el tercer modelo se identifica que en las variables de entrada de mayor aporte se presenta la cantidad de Administrativos en cada Facultad, para los resultados de las variables de salida se identifica que los resultados de las pruebas saber en lenguaje son quienes tienen mayor aporte.

4. Resultados

4.1. Eficiencias en Modelos de Formación

Se presentan los resultados de eficiencia por facultad en el modelo 1F. Las facultades de Arquitectura y Derecho alcanzaron una eficiencia del 100 %, mientras que Administración de Empresas y Contaduría Pública obtuvieron eficiencias de 0.90190 y 0.99597, respectivamente.

RESULTADOS EFICIENCIA - FORMACIÓN - MODELO 1F			
FACULTAD	EFICIENCIA	FACULTAD	EFICIENCIA
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	0.90190	ARQUITECTURA	1.0
CONTADURÍA PÚBLICA	0.99597	DERECHO	1.0

Tabla 3: Eficiencia por Facultad

El análisis de slack indica áreas de mejora para las facultades. Por ejemplo, Administración de Empresas podría mejorar sus resultados en el examen SABER PRO en inglés, mientras que Contaduría Pública podría reducir la cantidad de docentes en ciertas categorías.

SLACK A MEJORAR O DISMINUIR POR FACULTAD - FORMACIÓN - MODELO 1F		
FACULTAD	AUMENTAR SABER PRO INGLÉS	DISMINUIR ESC
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	0.14767678	NO APLICA
CONTADURÍA PÚBLICA	0.09047844	0.43

Tabla 4: Slack modelo

En el modelo SFA, se identificó a Ingeniería Civil como la facultad más eficiente, seguida de Negocios Internacionales e Ingeniería de Sistemas. Ingeniería Electrónica fue la menos eficiente. La gráfica muestra la frontera de eficiencia y la ubicación de las facultades.

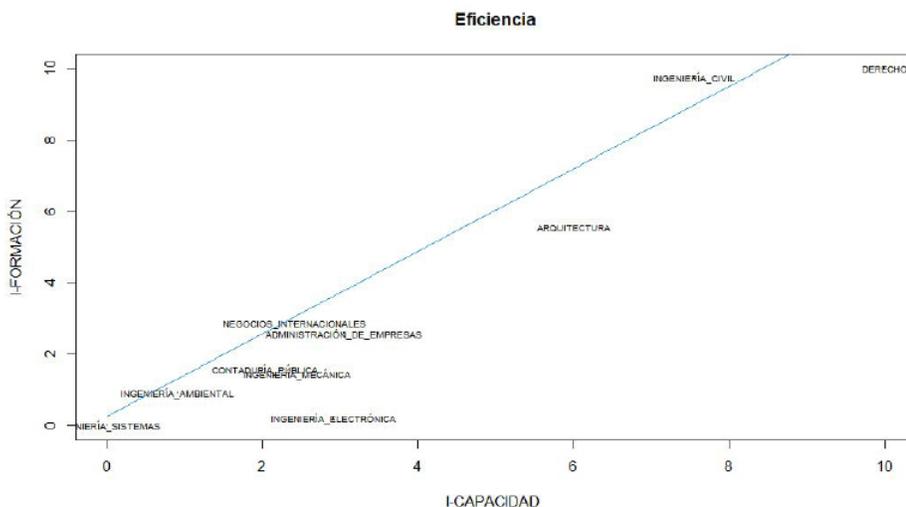


Figura 3: Eficiencia SFA modelo 1F

En el modelo 2F, las facultades de Ingeniería Electrónica y Ingeniería Mecánica obtuvieron eficiencias de 1.0 y 0.94118, respectivamente.

RESULTADOS EFICIENCIA - FORMACIÓN - MODELO 2F			
FACULTAD	EFICIENCIA	FACULTAD	EFICIENCIA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA	1.0	INGENIERÍA MECÁNICA	0.94118

Tabla 5: Eficiencia por Facultad - Modelo 2F

El análisis de slack indica que Ingeniería Mecánica podría mejorar sus resultados en los exámenes SABER PRO en los módulos de Sociales e Inglés.

SLACK A MEJORAR O DISMINUIR POR FACULTAD - FORMACIÓN - MODELO 2F		
FACULTAD	AUMENTAR SABER PRO SO- CIALES / SABER PRO INGLÉS	DISMINUIR
INGENIERÍA MECÁNICA	0.02956668 / 0.05183838	NO APLICA

Tabla 6: Slack modelo 2F

La gráfica muestra la frontera de eficiencia y la ubicación de las facultades en el Modelo 2F.

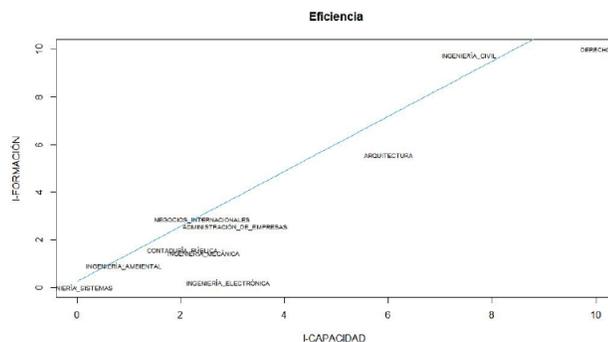


Figura 4: Eficiencia SFA modelo 2F

En el Modelo 3F, todas las facultades alcanzaron una eficiencia del 100%. La Ingeniería Civil fue identificada como la facultad más eficiente, seguida de Negocios Internacionales, Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Ambiental. Ingeniería Electrónica fue la menos eficiente.

4.2. Comparación de Eficiencias en Modelos de Formación

Se compararon las eficiencias de diferentes facultades a través de tres modelos de formación. La tabla a continuación muestra las eficiencias observadas:

COMPARACIÓN MODELOS - FORMACIÓN			
FACULTAD	EFICIENCIA MODELO 1F	EFICIENCIA MODELO 2F	EFICIENCIA MODELO 3F
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	0.9019	1.0	1.0
CONTADURÍA PÚBLICA	0.9959	1.0	1.0
INGENIERÍA MECÁNICA	1.0	0.94118	1.0

Tabla 7: Comparación Eficiencia por Facultad

El Modelo 1, basado en variables como cantidad de docentes, escalafones docentes, administrativos (INPUT) y estudiantes de primer semestre, total de estudiantes, resultados del examen SABER PRO y cantidad de graduados (OUTPUT), identificó áreas de mejora en eficiencia para las facultades de Administración de Empresas y Contaduría Pública. El Modelo 2 también señaló a Ingeniería Mecánica como una facultad con potencial de mejora. Sin embargo, el Modelo 3 no identificó ineficiencias, lo que sugiere que las variables consideradas en este modelo no eran tan relevantes para el análisis.

4.3. Resultados para el Eje de Investigación

Se analizaron diferentes modelos de investigación, considerando distintas variables de entrada y salida asociadas a la formación. La siguiente tabla compara las eficiencias observadas en dos modelos de investigación:

MODELOS Y GRUPOS DE VARIABLES ESTUDIADAS		
DESCRIPCIÓN DEL MODELO	INPUTS	OUTPUTS
Modelo 1I Investigación	2 a 4	15
Modelo 2I Investigación	2 a 8	15

Tabla 8: Grupos de variables para modelos estadísticos

- **Modelo 1I:** Utiliza variables como cantidad de docentes, escalafones docentes y administrativos (INPUT) y productos de investigación por facultad (OUTPUT).
- **Modelo 2I:** Incorpora, además de las variables del Modelo 1I, resultados en pruebas SABER 11 en diferentes competencias como INPUT.

El análisis del Modelo 1I reveló que solo las facultades de Arquitectura e Ingeniería de Sistemas alcanzaron eficiencias del 100 %. Las demás facultades, como Administración de Empresas (0.59981) y Contaduría Pública (0.69291), tienen margen de mejora. Según el modelo, estas facultades podrían mejorar su eficiencia ajustando el escalafón docente.

Para el Modelo 2I, las facultades de Arquitectura, Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Sistemas alcanzaron eficiencias del 100 %. Otras facultades, como Administración de Empresas (0.72630) y Contaduría Pública (0.84285), podrían mejorar su eficiencia si aumentan los resultados en las pruebas SABER PRO.

En general, las facultades con mayor eficiencia son Arquitectura, Ingeniería Electrónica y Negocios Internacionales. Las facultades de Ingeniería Civil y Derecho, aunque tienen buenos rendimientos, presentan eficiencias menores en comparación con las demás facultades.

Comparación de Modelos para la Dimensión de Investigación

Se compararon las eficiencias de diferentes facultades en dos modelos de investigación: Modelo 1I y Modelo 2I. Las facultades de Derecho y Administración de Empresas mostraron las eficiencias más bajas en ambos modelos, lo que sugiere que pueden mejorar en la presentación y disponibilidad de proyectos de investigación. Por otro lado, las facultades de Arquitectura e Ingeniería de Sistemas alcanzaron la máxima eficiencia en ambos modelos. La principal diferencia entre los dos modelos es la cantidad de variables de entrada, pero ambas utilizan la misma variable de salida: cantidad de productos de investigación por facultad.

COMPARACIÓN MODELOS - INVESTIGACIÓN		
FACULTAD	EFICIENCIA MO-DELO 1I	EFICIENCIA MO-DELO 2I
...		

Tabla 9: Eficiencia por modelo de Investigación

4.4. Resultados para Responsabilidad Social

Se analizaron dos modelos para evaluar la responsabilidad social de las facultades, considerando diferentes variables de entrada y salida relacionadas con la proyección:

MODELOS Y GRUPOS DE VARIABLES ESTUDIADAS		
DESCRIPCIÓN DEL MODELO	INPUTS	OUTPUTS
Modelo 1P Proyección social	2 a 4	16
Modelo 2P Proyección social	2 a 8	16

Tabla 10: Grupos de variables para modelos estadísticos

- **Modelo 1P:** Utiliza variables como cantidad de docentes, escalafones docentes y administrativos (INPUT) y productos de proyección social por facultad (OUTPUT).
- **Modelo 2P:** Incorpora, además de las variables del Modelo 1P, resultados en pruebas SABER 11 en diferentes competencias como INPUT.

Modelo 1P

- Se observaron resultados de eficiencia por facultad, donde las facultades de Arquitectura, Ingeniería Ambiental, Ingeniería de Sistemas y Negocios Internacionales alcanzaron una eficiencia del 100 %. Otras facultades, como Administración de Empresas y Derecho, mostraron eficiencias de 0.50 y 0.001, respectivamente.

Facultad	Eficiencia
Arquitectura	1.0
Ingeniería Ambiental	1.0
Ingeniería de Sistemas	1.0
Negocios Internacionales	1.0
Administración de Empresas	0.50
Derecho	0.001

Tabla 11: Eficiencia por Facultad - Modelo 1P

- Se identificaron áreas de mejora o disminución para algunas facultades. Por ejemplo, la Facultad de Ingeniería Electrónica podría mejorar su eficiencia reduciendo la cantidad de personal administrativo y disminuyendo la cantidad de docentes de escalafón 4 y 5.

- La Facultad de Derecho necesita incrementar la presentación de proyectos de Responsabilidad Social para mejorar su eficiencia.

Modelo 2P

- En este modelo, se observó que la Facultad de Contaduría Pública tiene una eficiencia de 0.45, mientras que la Facultad de Ingeniería Mecánica tiene una eficiencia de 0.93. La Facultad de Derecho, que no presentó proyectos, tiene una eficiencia de 0.

Facultad	Eficiencia
Contaduría Pública	0.45
Ingeniería Mecánica	0.93
Derecho	0.0

Tabla 12: Eficiencia por Facultad - Modelo 2P

- Se identificaron áreas de mejora para estas facultades. Por ejemplo, la Facultad de Contaduría Pública podría mejorar su eficiencia aumentando los resultados en pruebas saber pro y disminuyendo ciertas variables INPUT.
- Al igual que en el Modelo 1P, la Facultad de Derecho necesita revisar la presentación de proyectos de responsabilidad social para mejorar su eficiencia.

En general, se observa que mientras algunas facultades ya han alcanzado una eficiencia óptima, otras aún tienen áreas de mejora. Es esencial que estas facultades identifiquen y aborden estas áreas para alcanzar una eficiencia del 100 %.

Comparación de modelos para la dimensión de Proyección Social

En la siguiente tabla se presentan las diferentes Eficiencias observadas para cada uno de los modelos de Proyección social Universitaria.

COMPARACIÓN MODELOS - PROYECCIÓN SOCIAL		
FACULTAD	EFICIENCIA MO-DELO 1P	EFICIENCIA MO-DELO 2P
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS	0.50000	1.0
CONTADURÍA PÚBLICA	0.28000	0.45236
INGENIERÍA CIVIL	0.44444	1.0
INGENIERÍA ELECTRÓNICA	0.83333	1.0
INGENIERÍA MECÁNICA	0.45902	0.93238

Tabla 13: Eficiencia por modelo de Proyección social

En el Modelo 1P, cinco facultades, a saber, Administración de Empresas, Contaduría Pública, Ingeniería Civil, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecánica, no alcanzaron una eficiencia del 100 %. Por otro lado, en el Modelo 2P, solo dos facultades mostraron una eficiencia menor al 100 %. Es importante destacar que el Modelo 2P incorpora variables adicionales de las pruebas Saber 11, lo que podría influir en los resultados.

Una observación crucial es la eficiencia nula (0) de la Facultad de Derecho en ambos modelos, atribuida a la ausencia de proyectos de responsabilidad social durante el período evaluado. En general, el Modelo 1P sugiere que hay más espacio para mejorar la eficiencia técnica en varias facultades en comparación con el Modelo 2P.

La principal diferencia entre los dos modelos radica en las variables de entrada utilizadas, mientras que la variable de salida (cantidad de productos de responsabilidad social por Facultad) se mantiene constante en ambos modelos.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Este trabajo se presenta para comparar por medio de técnicas Estadísticas la aplicación de modelos que brinden información para la toma de decisiones en una organización y sirvan de fuente en la gestión de una institución u organización, siendo la misma replicable hacia cualquier unidad que distribuya su trabajo en entradas y productos de salida, se evidencia en el presente trabajo que por medio de los modelos descritos se puede comparar y verificar su correspondiente aplicación para aumentar o disminuir entradas o INPUTS y poder convertir en maximización de eficiencia la unidad de estudio.

Los modelos de eficiencia (DEA y SFA) como análisis de datos, permiten a una institución realizar estudios que favorezcan la toma de decisiones dentro de la organización, es así que en el presente estudio se logró realizar los respectivos análisis y formular posibles ajustes que permitan mejorar los procesos dentro de cada facultad y lograr la máxima eficiencia por cada una de ellas. La comparación realizada con diferentes combinaciones de variables para los modelos evaluados permite verificar cual de ellos se ajusta más a cada Facultad, información que al ser revisada por el responsable de cada proceso puede ser transformada y mejorada con el fin de lograr la eficiencia de su equipo de trabajo con los recursos disponibles, replicando este estudio en diferentes periodos de tiempo, logrando obtener una tendencia periódica para indicadores de la unidad de estudio. Se logró verificar los resultados de los análisis por modelo (DEA-SFA) e identificar las causas de los resultados de la Eficiencia por Facultad.

Se logró hacer una comparación entre dos modelos (DEA y SFA) donde se obtuvieron resultados muy similares de eficiencia, esto permite concluir que los modelos usados y comparados tienen muy buena confiabilidad, igualmente se resalta que las dos metodologías, permitieron hacer un complemento al análisis, de tal forma que con los resultados de DEA y SFA se logró analizar y en conjunto realizar sugerencias de mejora. Para cada eje misional se logró identificar por Facultad las estrategias a seguir para el cumplimiento de los objetivos, haciendo buen uso de los recursos con

que cuenta cada unidad para maximizar los resultados.

Con el desarrollo de los modelos aplicados, cada facultad puede tomar los resultados obtenidos y evidenciar en que se puede estar fallando y aumentar o reducir sus INPUTS par lograr las mejores salidas o eficiencias de la facultad. Existen algunas facultades que se encuentran con OUTPUTS iguales o menores a otras que se encuentran con menos INPUTS, esto significa que se deben replantear algunas directrices para lograr eficiencias iguales a otras facultades que tengan similares INPUT. De forma genérica los resultados de Eficiencia encontrados permiten evidenciar que las facultades están realizando un buen trabajo, se verificaron resultados de slacks donde se registran resultados menores a 0.3 en mejoras, lo que significa que los ajustes para llegar a la máxima eficiencia son fácilmente trabajables y de cumplimiento a corto tiempo.

Los modelos DEA y SFA presentan gran relevancia como aporte y apoyo para el campo de la Estadística aplicada, este tipo de análisis permite demostrar la importancia de los procesos estadísticos en cualquier disciplina. La aplicación de la Estadística a nivel global determinada por modelos como los trabajados, puede ser replicable a diferentes tipos de organizaciones y de apoyo para la toma de decisiones que permitan la mejora de las unidades de estudio, por ello es recomendable hacer este tipo de publicaciones para que sean visibles y conocidas por la comunidad en general.

Recibido: agosto 2022
Aceptado: diciembre 2022

Referencias

- D. Aigner, C. K. Lovell, and P. Schmidt. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of econometrics*, 6(1):21–37, 1977.
- J. Alberto Jaime. Formulaciones en el análisis envolvente de datos (dea). resolución de casos prácticos. 2016.
- A. Álvarez Pinilla. La medición de la eficiencia y la productividad. 2001.
- J. Bates, D. Baines, and D. Whynes. Measuring the efficiency of prescribing by general practitioners. *Journal of the Operational Research Society*, 47:1443–1451, 1996.
- G. E. Battese and T. J. Coelli. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in india. *Journal of productivity analysis*, 3:153–169, 1992.
- G. Bradley. Work participation and academic performance: A test of alternative propositions. *Journal of Education and Work*, 19(5):481–501, 2006.
- A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes. Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6):429–444, 1978.
- M. J. Farrell. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 120(3):253–281, 1957.

- J. G. García, F. B. Moya, J. S. Ibáñez, and J. G. Lozano. Estudio de la eficiencia de los centros de enseñanza secundaria de la ciudad de murcia a través del análisis envolvente de datos. *Revista de Investigación Educativa*, 21(1):113–133, 2003.
- A. F. Gómez Rico, C. D. Ceballos Vélez, et al. *Estimación de la eficiencia de la educación superior en Colombia*. PhD thesis, Universidad EAFIT, 2016.
- J. L. González Nuñez. *Economías de escala, eficiencia frontera y cambio técnico a partir de funciones de producción: una aplicación a las empresas del Mercado Único Europeo: panorama y evidencia empírica*. Universitat Autònoma de Barcelona,, 2010.
- R. A. González Parra. *Utilización del análisis envolvente de datos (DEA) en el desarrollo de una metodología para el establecimiento de costos eficientes de remuneración, en la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de distribución*. PhD thesis, 2010.
- E. Gutiérrez and S. Lozano. A dea approach to performance-based budgeting of formula one constructors. *Journal of Sports Economics*, 15(2):180–200, 2014.
- R. Martín. La medición de la eficiencia universitaria: una aplicación del análisis envolvente de datos. *Formación universitaria*, 1(2):17–26, 2008.
- M. C. Pérez Cárceles. Modelos de frontera estocástica. distribución de la ineficiencia. *Proyecto de investigación.*, 2013.
- L. M. Seiford and R. M. Thrall. Recent developments in dea: the mathematical programming approach to frontier analysis. *Journal of econometrics*, 46(1-2):7–38, 1990.
- USTA. Informe de autoevaluación. Technical report, Universidad Santo Tomás, 2004.