

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA EDUCACIÓN DE COLOMBIA:
UNA APLICACIÓN DEL MÉTODO STONED**

ALEXANDER ARÉVALO SOTO

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
DOCTORADO EN CIENCIAS ECONÓMICAS
SANTIAGO DE CALI
FEBRERO 29 DE 2024**

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA EDUCACIÓN DE COLOMBIA:
UNA APLICACIÓN DEL MÉTODO STONED**

ALEXANDER ARÉVALO SOTO

Tesis doctoral presentada como requisito parcial para optar por el título de
DOCTOR EN CIENCIAS ECONÓMICAS.

Directores de la tesis doctoral:

Doctor SEBASTIAN LÓPEZ ESTRADA

Profesor del departamento de Economía – PUJ Cali

Doctor VÍCTOR GIMÉNEZ GARCÍA

Profesor Asociado del departamento de Empresa – UAB

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
DOCTORADO EN CIENCIAS ECONÓMICAS

SANTIAGO DE CALI

FEBRERO 29 DE 2024

Santiago de Cali, 29 de febrero de 2024

Doctor:

Fabian Fernando Osorio

Decano

Facultad De Ciencias Económicas y Administrativas

Pontificia Universidad Javeriana

La Ciudad

Por medio de la presente entrego a usted la Tesis Doctoral cuyo título es “Análisis de la eficiencia en la educación de Colombia: Una aplicación del método StoNED”.

Espero que esta Tesis cumpla con los requisitos académicos exigidos y que alcance el propósito para el cual fue elaborado.

Atentamente

Alexander Arévalo Soto

C.C. 14637787 de Cali

Santiago de Cali, 29 de febrero de 2024

Doctor:

Fabian Fernando Osorio

Decano

Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Pontificia Universidad Javeriana

La Ciudad

Por medio de la presente me permito comunicarle, que en mi calidad de director de la tesis doctoral he leído detenidamente el informe final del estudio titulado “Análisis de la eficiencia en la educación de Colombia: Una aplicación del método StoNED”, realizado por el estudiante del Programa Doctorado en Ciencias Económicas de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas: Alexander Arévalo Soto con cédula de ciudadanía número 14637787, y considero que cumple con todos los requisitos requeridos para ser presentada a evaluación.

Atentamente

Sebastian López Estrada

Pontificia Universidad Javeriana – Cali

Director de la Tesis Doctoral

Victor Giménez García


Universidad Autónoma de Barcelona

Director de la Tesis Doctoral

ARTÍCULO 23 de la resolución N° 13 de julio 6 de 1946

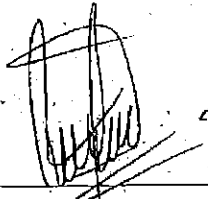
“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de Tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque la Tesis no contenga ataques o polémicas puramente personales; antes bien, se vea en ellas al anhelo de buscar la Verdad y la Justicia”.

"ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LA EDUCACIÓN DE COLOMBIA: UNA APLICACIÓN DEL MÉTODO STONED" Aprobado por el Comité de Trabajos de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana para optar por el título de Doctor en Ciencias Económicas

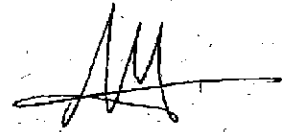


Fabián Fernando Osorio Tinoco
Decano

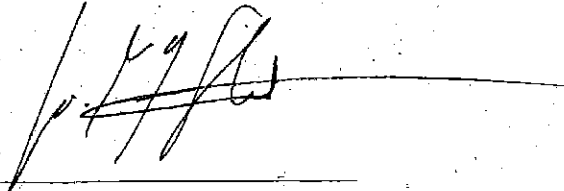
Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas



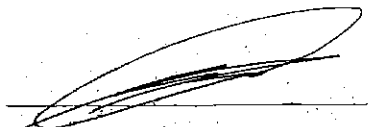
Julieth Emilsé Ospina Delgado
Directora Doctorado.



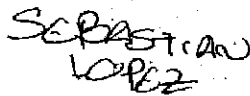
Luis Fernando Aguado
Jurado 1



Jose María Gómez Sancho
Jurado 2.



Francisco Javier Ayvar
Jurado 3



Sebastian Lopez Estrada
Director.

VICTOR MANUEL
GIMENEZ GARCIA -
DNI 35120324Z

Firmado digitalmente por VICTOR
MANUEL GIMENEZ GARCIA - DNI
35120324Z
Fecha: 2024.06.20 20:05:08 +02'00'

Víctor Giménez García
Co-director

Santiago de Cali, 20 de junio de 2024.

AGRADECIMIENTOS

Al mirar hacia atrás son muchas las personas que han pasado por mi vida, con las que debería detenerme y darle las gracias de corazón por múltiples motivos, algunos más sencillos o fuertes que otros, pero a todas ellas les debo un gran agradecimiento. Pero en estas líneas quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de alguna manera en la realización de este documento. Sin su apoyo, orientación y aliento, este logro no habría sido posible.

En primer lugar, deseo agradecer a mis distinguidos y muy apreciados maestros, el profesor Víctor y el profesor Diego, por su invaluable guía, paciencia y sabios consejos a lo largo de este arduo proceso. Su experiencia y dedicación, sin obligación alguna, fueron fundamentales en cada etapa de esta investigación. Así mismo, al profesor Sebastián a quién afortunada o desafortunadamente conocí en la parte final de esta travesía, pero que en el poco tiempo que pude compartir con él me dejó grandes y valiosas enseñanzas.

Quiero expresar mi profunda gratitud a mi estimado jefe en la UNICAMACHO, el profesor Víctor Manuel, por su constante apoyo y comprensión. Su enorme colaboración y flexibilidad fueron un gran respaldo durante los momentos más desafiantes y oportunos.

A mi familia, mi eterna fuente de inspiración y motivación, les debo un agradecimiento especial. A mis padres, Hernando y Rosalba, por inculcarme valores de perseverancia y dedicación desde mi infancia. A mi madre gracias por todo su apoyo incondicional en todos

los aspectos y a mi padre, en la inmensidad, que inició conmigo este camino, y aunque no lo pudo ver culminado, también muchas gracias.

A mi hermosa esposa Diana Carolina, como profesional y como compañera de vida, le agradezco por su amor incondicional, paciencia infinita y sacrificios que hicieron posible que dedicara tiempo y energía a este proyecto. Su presencia fue mi mayor fuente de fortaleza y motivación. A mi precioso hijo Alejandro, por brindarme tiempo de juego y de disfrute con él para dedicarme a este proyecto, y especialmente por enseñarme con su actuar a ver que los sueños son posibles de alcanzar, a creer que se pueden obtener las cosas que deseamos y a confiar que se puede lograr llegar a la meta.

A todos mis amigos, compañeros y colegas que brindaron su colaboración y aliento en momentos clave de este proceso, de una y otra forma, les estoy profundamente agradecido. A la UNICAMACHO, mi segundo hogar, agradezco por su financiamiento en esta investigación, cuyo apoyo fue fundamental para llevar a cabo este proyecto. Así mismo a la Pontificia Universidad Javeriana de Cali y a todos sus profesores, por ser parte de mi crecimiento académico y profesional.

Este logro no es solo mío, sino el resultado del esfuerzo colectivo de todos aquellos que han contribuido en mi camino académico, profesional y personal, a todos les estoy eternamente agradecido.

Y al final, pero no de último, a mi fortaleza, mi escudo, mi benefactor, Adonay.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	9
Listado de tablas	13
Análisis de la eficiencia en la educación de Colombia:	14
1. Introducción	15
1.1. Motivación.....	15
1.2. Revisión general de literatura	21
1.2.1. Eficiencia en el sector educativo	21
1.2.2. Metodologías en la medición de eficiencia	24
1.2.3. Eficiencia en educación y la relación con los procesos gubernamentales.....	27
1.3. Objetivos de la investigación.....	30
1.4. Bases de datos.....	32
1.5. Contribuciones esperadas	34
1.6. Organización del documento	36
2. Análisis de eficiencia en educación: Una aplicación del método StoNED	38
2.1. Resumen	38
2.2. Introducción.....	39
2.3. Revisión de literatura.....	44
2.3.1. Desarrollo de la eficiencia en la educación	45
2.3.2. Metodologías utilizadas para la medición de eficiencia.....	50

	10
2.3.3. Antecedentes del método a desarrollar.....	52
2.4. Método y datos	56
2.4.1. Desarrollo metodológico	56
2.4.2. Datos y variables	59
2.5. Resultados y discusión.....	63
2.5.1. Resultados.....	64
2.5.2. Discusión	68
2.6. Conclusiones, limitaciones y líneas futuras.....	74
2.6.1. Conclusiones.....	74
2.6.2. Limitaciones	78
2.6.3. Líneas futuras de investigación	79
3. Eficiencia productiva en las instituciones educativas de Colombia (2016 – 2019)	80
3.1. Resumen	80
3.2. Introducción.....	81
3.3. Revisión de literatura.....	87
3.3.1. Eficiencia educativa.....	87
3.3.2. Variables de entorno en la educación	89
3.3.3. Estimador semiparamétrico StoNEZD	93
3.4. Método y datos	97
3.4.1. Modelo StoNEZD.....	97
3.4.2. Modelo orden m	101
3.4.3. Datos y variables	102

	11
3.5. Resultados y discusión.....	113
3.5.1. Resultados.....	113
3.5.2. Discusión	118
3.6. Conclusiones, limitaciones y líneas futuras.....	124
3.6.1. Conclusiones.....	124
3.6.2. Limitaciones	127
3.6.3. Líneas futuras de investigación	127
4. Evolución del desempeño de las instituciones educativas de Colombia	129
4.1. Resumen	129
4.2. Introducción.....	130
4.3. Revisión de literatura.....	134
4.3.1. Abordando la eficiencia con panel de datos	134
4.3.2. Análisis de eficiencia en la educación con desarrollo temporal	140
4.3.3. Relación entre procesos gubernamentales y eficiencia en educación	143
4.4. Método y datos	158
4.4.1. Planteamiento metodológico	158
4.4.2. Datos y variables	162
4.5. Resultados y discusión.....	167
4.5.1. Resultados.....	168
4.5.2. Discusión	174
4.6. Conclusiones, limitaciones y líneas futuras.....	183
4.6.1. Conclusiones.....	183

	12
4.6.2. Limitaciones	186
4.6.3. Líneas futuras de investigación	186
5. Conclusiones generales.....	188
5.1. Principales hallazgos	188
5.2. Contribuciones realizadas.....	191
5.3. Limitaciones	194
5.4. Futuras investigaciones.....	196
Bibliografía.....	199

Listado de tablas

Tabla 1. Estudios de eficiencia técnica en educación.	Pág. 22
Tabla 2. Estudios de eficiencia en educación en relación con procesos gubernamentales.	Pág. 28
Tabla 3. Relación de capítulos.	Pág. 37
Tabla 4. <i>Inputs</i> en la literatura de eficiencia educativa.	Pág. 62
Tabla 5. Estimaciones de parámetros.	Pág. 65
Tabla 6. Porcentajes de instituciones por departamentos.	Pág. 70
Tabla 7. Estudios de eficiencia utilizando el modelo StoNED.	Pág. 94
Tabla 8. Índice socioeconómico y cultural del estudiante.	Pág. 109
Tabla 9. Índice socioeconómico y cultural de la institución.	Pág. 109
Tabla 10. Estadísticas descriptivas de las variables en mención.	Pág. 111
Tabla 11. Estimación de parámetros por año.	Pág. 113
Tabla 12. Porcentajes de instituciones por departamento.	Pág. 117
Tabla 13. Índices de eficiencia de las instituciones educativas en Colombia por año.	Pág. 168
Tabla 14. Variación porcentual de la eficiencia año a año, tomando como base 2016.	Pág. 170
Tabla 15. Determinantes de eficiencia institucional.	Pág. 173
Tabla 16. Partidos políticos y declaración política de gobernadores.	Pág. 179

Análisis de la eficiencia en la educación de Colombia: Una aplicación del método StoNED

Resumen

En el contexto colombiano, se reconoce la importancia de evaluar el rendimiento académico en instituciones de educación media, por medio del Ministerio de Educación Nacional y las orientaciones del Plan Nacional de Desarrollo del Gobierno Nacional. En este sentido, este estudio busca analizar la eficiencia del sistema educativo de las instituciones educativas en Colombia y se realiza un análisis entre dicha eficiencia y la gestión departamental. El estudio se realiza entre los años de 2016 y 2019, periodo de tiempo que coincide con el periodo administrativo de los gobiernos locales. Se implementa un innovador método, conocido como Análisis Envolvente de Datos Estocástico no Paramétrico (StoNED), haciendo una medición orientada al output, usando las pruebas SABER 11. Se evalúa la eficiencia de las instituciones de educación media, año a año para analizar de su variación transversal y luego con un enfoque de panel para el análisis de su evolución temporal. Se trabaja con el método StoNED que es un método estable y consistente para medir la eficiencia educativa bajo las condiciones establecidas. Se logra identificar una ligera diferencia en la proporción de instituciones con eficiencia técnica, destacando que la mayoría de las instituciones que presentan ineficiencia son instituciones oficiales y ubicadas en zonas rurales. También se observa una variabilidad en la eficiencia de las instituciones a lo largo de los años, con una tendencia de crecimiento moderado, así como un progreso limitado en los indicadores de eficiencia, lo que sugiere un comportamiento poco óptimo en la eficiencia, mostrando una gran posibilidad de mejora en la gestión.

Palabras claves: Eficiencia, StoNED, Educación, Política, Saber 11.

Keywords: Efficiency, StoNED, Education, Policy, Saber 11.

1. Introducción

1.1. Motivación

Diversos estudios argumentan el porqué de ciertos resultados obtenidos por los estudiantes en determinadas pruebas que les aplican, generalmente luego de cumplir un ciclo en la academia (Sosa et al., 2010). Así mismo, hay estudios que plantean que los resultados no deben interpretarse por sí solos, sin tener en cuenta una serie de factores de entorno que intervienen en el ecosistema llamado academia (Velez et al., 2006; Canales y De los Ríos, 2007). Con el pasar del tiempo y a causa de todo el desarrollo pedagógico, logístico, estructural, político y tecnológico que se viene dando en los últimos años, cada Gobierno Nacional y Departamental propone enfoques particulares con el ánimo de avanzar en este tema.

Sin embargo, el importante papel que juegan las políticas gubernamentales en los procesos académicos de enseñanza – aprendizaje y de desarrollo de las instituciones educativas no han sido las mejores en la región latinoamericana (UNESCO, 2015; Castro et al., 2018; King, 2019). Esto principalmente debido a razones tales como falta de direccionamiento de las propuestas de políticas educativas, poco seguimiento a la educación en cuanto a eficacia y eficiencia, poca inversión en infraestructura, tecnología y capacitación del personal, entre otros (Perovic y Kosor, 2020).

La reglamentación del Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN) en el Normograma, el cual indica que el sistema educativo colombiano lo conforman: la educación

inicial, la educación preescolar (atención integral a la primera infancia), la educación básica (primaria cinco grados y secundaria cuatro grados), la educación media (dos grados y culmina con el título de bachiller) y la educación superior (dada por los estudios técnicos, tecnológicos y profesionales) (MEN, 2016). De forma general, para evaluar el sistema educativo en Colombia se aplican distintos tipos de pruebas de Estado, en distintos niveles de educación formal; a saber, Pruebas SABER 3, 5, 7, 9, 11, TyT y Pro.

Para el caso de la educación media, la prueba que se aplica se conoce actualmente como las Pruebas SABER 11, la cual realiza el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES); que es una organización estatal de carácter social y naturaleza especial, vinculada al MEN, que ofrece los servicios de evaluación de la educación en todos sus niveles (ICFES, 2016). Adicionalmente, Colombia participa en diferentes evaluaciones internacionales de desempeño escolar, aplicadas en los distintos niveles educativos y enfocadas a evaluar los distintos tipos de competencias académicas y sociales; tales como el *Programme for International Student Assessment* (PISA), el Segundo Estudio Regional Comparativo y Explicativo (SERCE) y el *Trends in International Mathematics and Science Study* (TIMSS) (MEN, 2006).

Los resultados de las pruebas previamente mencionadas han sido empleados como fuente de datos en varios estudios e investigaciones que han utilizado diversas metodologías para obtener diferentes tipos de información o enfoques. Algunos ejemplos incluyen la identificación de factores asociados al desempeño académico (Ayala et al., 2011; Sánchez, 2011; Castro et al., 2018), la estimación de brechas educativas (Cárcamo y Mola, 2012; Castro et al., 2017), estudios de eficiencia (OCDE, 2016), y como base fundamental para el

cálculo del Índice Sintético de Calidad Educativa (ISCE) y el Índice de Gestión para la Calidad Educativa (IGCE), desarrollados por el ICFES. Estos índices se utilizan para clasificar las instituciones educativas en Colombia (MEN, 2014). Es importante señalar que, en Colombia, los índices de calidad y eficiencia se enfocan más en medir la eficacia que la eficiencia. Por lo tanto, estos indicadores permiten determinar si se están alcanzando los objetivos propuestos, pero no ofrecen información sobre si se están logrando de manera óptima.

De acuerdo con lo mencionado, se evidencia literatura que aborda la economía de la educación, y particularmente la calidad educativa, se centra en el análisis del rendimiento de los estudiantes, en sus contextos personales, sociales y de institución, mas no suelen tener en cuenta el papel que desempeñan las instituciones educativas en relación con el aprovechamiento de los recursos que conducen a la eficiencia de la producción educativa y las directrices de los gobiernos de cada región.

Para Colombia, el decreto 1075 del 26 de mayo de 2015, del Decreto Único Reglamentario del Sector Educación, establece en uno de sus artículos que el MEN es la entidad cabeza del sector educativo el cual tiene como objetivos, entre otros, los siguientes:

- Generar directrices, efectuar seguimiento y apoyar a las entidades territoriales para una adecuada gestión de los recursos humanos del sector educativo, en función de las políticas nacionales de ampliación de cobertura, mejoramiento de la calidad y la eficiencia del servicio educativo y la pertinencia.

- Implementar mecanismos de descentralización, dotando al sector de los elementos que apoyen la ejecución de las estrategias y metas de cobertura, calidad, pertinencia y eficiencia.
- Establecer e implementar el Sistema Integrado de Gestión de Calidad – SIG, articulando los procesos y servicios del MEN, de manera armónica y complementaria con los distintos componentes de los sistemas de gestión de la calidad, de control interno y de desarrollo administrativo, con el fin de garantizar la eficiencia, eficacia, transparencia y efectividad en el cumplimiento de los objetivos y fines sociales de la educación.

Así mismo, en otro de sus artículos, el decreto mencionado anteriormente establece, particularmente, que:

- El municipio deberá presentar el plan de desarrollo municipal, el cual debe contener lo concerniente al servicio educativo en el que se prevean los programas, proyectos, metas e indicadores en cobertura, calidad y eficiencia, así como la programación plurianual de inversiones. Dicho Plan deberá guardar coherencia con las políticas educativas nacionales y departamentales.
- Igualmente, si en la misma fecha se están desarrollando en el municipio proyectos de inversión en el sector educativo con participación del departamento, conjuntamente las dos entidades territoriales establecerán en un acta los acuerdos para asegurar la continuidad de dichos proyectos hasta su culminación.

Adicionalmente, la directriz de “Educación de calidad” estipulada en el “Pacto por la equidad” del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018 – 2022 del Gobierno Nacional (correspondiente al periodo de estudio), entre sus objetivos, metas y estrategias para la educación menciona que busca:

- Proporcionar una educación media con calidad y pertinencia para los jóvenes colombianos.
- Brindar una educación con calidad y fomentar la permanencia en la educación inicial, preescolar, básica y media.
- Aumentar el acceso y mejorar la calidad de la educación rural.
- Aumentar la participación de los colegios oficiales en categorías superiores de las pruebas Saber 11.
- Fortalecer la educación media, con intervenciones y currículos pertinentes para las necesidades y realidades de los jóvenes.
- Actuar bajo los principios de una gestión moderna y eficiente a nivel del MEN y generar capacidades en las secretarías y otras entidades del sector.

De manera adicional, la educación, como pilar crucial para el progreso social y económico, requiere enfoques modernos para ampliar la importancia de su impacto. El avance tecnológico, el desarrollo docente y las mejoras estructurales contribuyen al proceso institucional, permitiendo a los estudiantes mejorar sus conocimientos, habilidades y aprendizajes. A medida que el tiempo avanza, es esencial prestar atención continua a la evaluación y mejora de las instituciones educativas, especialmente en un contexto de recursos

económicos limitados y crecientes demandas educativas. La comprensión de cómo estas instituciones están aprovechando sus recursos para ser más eficientes y cómo estos esfuerzos se traducen en logros académicos se vuelve crucial.

Es así como, en un mundo en constante transformación, donde la educación desempeña un papel fundamental en el desarrollo social y económico (Agasisti et al., 2020), la medición y comprensión de la eficiencia en las instituciones educativas son aspectos esenciales. Esto permite establecer y verificar un uso adecuado de los recursos disponibles y contribuye a la mejora continua de la calidad educativa (De Witte y López-Torres, 2017). En la constante búsqueda de mejorar la calidad educativa, la eficiencia se erige como un concepto fundamental en la evaluación de sistemas e instituciones educativas. La evaluación de la eficiencia se convierte, en este sentido, en una herramienta esencial para identificar tanto las prácticas exitosas como las áreas donde se pueden realizar mejoras en el ámbito educativo (Chen et al., 2021).

De acuerdo con el enfoque mencionado en la literatura, la normativa del MEN en Colombia, los artículos del decreto mencionado, la directriz del PND del Gobierno Nacional la evaluación del sistema educativo de Colombia y el planteamiento de la importancia de la evaluación de la eficiencia a lo largo del tiempo, cobra sentido realizar la medición del desempeño académico en las instituciones educativas que trabajan con la educación media, un análisis de este y una exploración de la relación con los entes gubernamentales locales. Esta medición permitiría identificar si las instituciones están siendo eficientes en la búsqueda de sus objetivos y, así, referenciar si las directrices de las autoridades influyen en la eficiencia de los procesos académicos y la gestión de las instituciones educativas.

1.2. Revisión general de literatura

Se presenta una revisión de literatura sistemática, enfocada en la eficiencia técnica en la educación, la cual se basó en una búsqueda inicial en la base de datos Web of Science haciendo uso de los campos: título, palabras clave y resumen, introduciendo: “*efficiency + educat*¹ or frontier models or govern**”. Posteriormente se realizaron dos filtros; uno, por tipo de documento (*article*) y, dos, por categorías (*economics, education educational research, education scientific disciplines, management y operations research management science*). Con los resultados obtenidos, se realizó una lectura clasificatoria de los resúmenes, introducción y conclusiones de estos, para categorizar y definir con cuales trabajar.

Finalmente, se identifican artículos de importancia que, por el año de publicación, no se encontraban en *Web of Science*; por lo que se hizo una búsqueda secundaria de manera manual en *Google Scholar* y *Scopus*. Básicamente, el contexto de la revisión de bibliografía se enfoca en tres áreas: la eficiencia en la educación, las metodologías utilizadas para medir eficiencia y la relación con los procesos gubernamentales.

1.2.1. Eficiencia en el sector educativo

En lo que respecta a la teoría de la producción, Hanushek (1979) ha explorado extensamente la conexión entre el comportamiento de esta teoría y el rendimiento educativo, destacando tanto el rendimiento individual (Hanushek, 1997) como el grupal (Hanushek, 2002;

¹ El asterisco (*) representa a cualquier grupo de caracteres e incluso ningún carácter.

Hanushek y Luque, 2003). Estos estudios analizan la relación entre diversas entradas en el proceso educativo y los resultados correspondientes tanto a nivel individual de los estudiantes como a nivel institucional, según lo establecido en cada caso. Este desarrollo abre el camino en el estudio de la eficiencia educativa en los diferentes aspectos o enfoques, de cara a analizar las evaluaciones a las que se someten las instituciones educativas con el propósito de definir, cuantificar y mejorar su eficiencia. Posteriormente, las afirmaciones presentadas en el Informe Coleman (Coleman et al., 1966) desencadenaron debates que estimularon la realización de investigaciones en esta área, debido al impacto y la relevancia de estos estudios.

De esta manera, en la Tabla 1 se realiza una síntesis de una serie de estudios relevantes en cuanto a eficiencia técnica en la educación, los cuales se seleccionan teniendo en cuenta la línea de investigación propuesta por los autores y la relación con la temática planteada para desarrollar en este estudio, de acuerdo con su relevancia en el contexto global y local. El diseño de esta síntesis se realiza teniendo en cuenta los autores que llevaron a cabo el estudio, el año que se publicó el artículo de investigación y el lugar donde se desarrolló el estudio.

Tabla 1: Estudios de eficiencia técnica en educación.

Autores	Año	Lugar
Hanushek	1979	Estados Unidos
Bessent y Bessent	1980	Estados Unidos
Bessent, Bessent, Kennington y Reagan	1982	Estados Unidos
Hanushek	1997	Estados Unidos
Portela y Thanassoulis	2001	Reino Unido
Teddlie y Reynolds	2001	Internacional*

Autores	Año	Lugar
Worthington	2001	Internacional*
Hanushek	2002	Estados Unidos
Thanassoulis y Portela	2002	Reino Unido
Hanushek y Luque	2003	Estados Unidos
Miranda y Araya	2003	Chile
Fertig y Wright	2005	Internacional*
Giménez, Prior y Thieme	2007	Internacional*
Agasisti y Dal Bianco	2009	Italia
De Witte, Thanassoulis, Simpson, Battisti y Charlesworth-May	2010	Reino Unido
Agasisti y Pérez-Esparrells	2010	Italia y España
Mendoza	2011	Colombia
Thanassoulis, Kortelainen, Johnes y Johnes	2011	Reino Unido
Thieme, Prior, Giménez y Tortosa-Ausina	2011	España
Becerril-Torres, Álvarez-Ayuso y Nava-Rogel	2012	México
Thieme, Prior y Tortosa-Ausina	2013	Chile
Johnes	2014	Reino Unido
Rodríguez-Murillo	2014	Colombia
Agasisti	2014	Unión Europea
Morales	2016	Estados Unidos
Ibáñez-Martín, Morresi y Delbianco	2017	Argentina
Melo-Becerra, Ramos-Forero y Hernández-Santamaría	2017	Colombia
Visbal-Cadavid	2017	Colombia
Giménez, Thieme, Prior y Tortosa-Ausina	2017	Internacional*
Giménez, Thieme, Prior y Tortosa-Ausina	2019	Internacional*
Agasisti, Egorov, Zinchenko y Leshukov	2020	Rusia
Arbona, Giménez, López-Estrada y Prior	2022	Colombia

* Hace referencia a que el estudio se realizó en múltiples países.

Elaboración propia.

1.2.2. Metodologías en la medición de eficiencia

El inicio de la historia reciente en la medición de la eficiencia microeconómica se remonta a los trabajos de Debreu (1951) y Farrell (1957). Este último propuso una medida sencilla de la eficiencia empresarial que podría abordar diversas variables en el marco de la eficiencia técnica, de asignación y productiva. En su concepción inicial, respalda la idea de que la eficiencia de las empresas está compuesta por dos elementos a saber, (i) la eficiencia técnica, que indica la habilidad de las organizaciones para obtener un rendimiento superior a partir de un conjunto específico de insumos, y (ii) la relación de eficiencia, que denota la capacidad de las organizaciones para emplear insumos en proporciones que conduzcan a la rentabilidad y eficiencia tecnológica.

Posteriormente, Kumbhakar (1987) presenta un enfoque alternativo que incorpora una restricción estocástica, descomponiendo la eficiencia de las ganancias en tres componentes distintos: la eficiencia de distribución de entrada, la eficiencia de distribución de la productividad y la eficiencia técnica de los insumos.

Más recientemente, Lovell (1993) argumenta que hay dos razones primordiales para evaluar la eficiencia: (i) como un indicador de éxito, una medida de rendimiento para evaluar unidades productivas y (ii) solo mediante la medición de la eficiencia y la separación de sus efectos de los del entorno productivo, se pueden explorar hipótesis relacionadas con las causas de la variación en la eficiencia. Identificar estas causas es crucial para implementar políticas dirigidas a mejorar tanto el desempeño como la asignación de recursos.

Aunque hay diversas metodologías empleadas para medir y analizar la eficiencia productiva, estas se pueden clasificar en dos grandes categorías: los métodos de no frontera y los métodos de frontera (Worthington, 2001). Por un lado, los métodos de no frontera no requieren la estimación de una frontera de posibilidades de producción, ya que evalúan el rendimiento de manera absoluta, prescindiendo de la comparación con otras unidades productivas (Peretto, 2016).

Entre estos métodos, destacan: (i) Los indicadores financieros, utilizados para evaluar la eficiencia económica y el rendimiento operativo de las empresas. (ii) El índice de productividad global, que muestra la cantidad de producto obtenido en relación con las unidades de factor empleadas, medido en unidades físicas y considerando todos los factores de producción utilizados. (iii) La función de producción promedio, que estima el valor medio de la variable dependiente (producto) en función de las variables independientes (insumos) mediante un análisis de regresión, para contextualizar las mediciones realizadas.

Por otro lado, se encuentran los métodos de frontera, los cuales han sido establecidos como enfoques confiables al derivar una función de producción que relaciona los productos obtenidos y los insumos de las unidades productivas evaluadas. Esta función determina el límite de las posibilidades de producción, de manera que, bajo estos métodos, la eficiencia de una unidad productiva se mide por la distancia que la separa de dicha frontera.

Un atributo esencial de estas funciones es la optimización, en el sentido de Pareto, ya que todas especifican el valor óptimo de la función que puede ser alcanzado bajo ciertas condiciones impuestas por los precios y la tecnología; es decir, una frontera (Cooper et al.,

2006). Si el óptimo está definido por la función de producción, la medida de eficiencia obtenida se denomina eficiencia técnica. En caso de que la comparación se realice considerando un óptimo definido en términos de un objetivo económico específico, la medida de eficiencia obtenida se denomina eficiencia económica (Lovell et al., 1994).

En los procesos de estimación, por medio de los métodos de frontera, se realizan generalmente mediante dos tipos de técnicas básicas (Worthington, 2001; Murillo-Melchor et al., 2005; Dong et al., 2014; Caiazza et al., 2016; Greco et al., 2018). Una de ellas es la paramétrica, que son las técnicas que especifican la tecnología mediante una forma funcional conocida.

Así, según sea la modelización de la naturaleza de la perturbación aleatoria, la frontera sería (i) determinística si la perturbación aleatoria del modelo incorpora únicamente las desviaciones de la ineficiencia, sin considerar los posibles errores de medida introducidos en los datos y (ii) estocástica si la perturbación aleatoria del modelo incluye las posibles ineficiencias de las unidades y los posibles errores de medición de los datos o factores exógenos no controlables por las mismas.

El otro tipo sería la no paramétricas, que son las que formulan las características de la tecnología mediante supuestos sobre el conjunto de producción. La frontera estimada es más flexible y está formada por las unidades que producen la mayor cantidad de outputs con la menor cantidad de *inputs*. Para estos desarrollos se utilizan técnicas de programación lineal para su estimación y según el tipo de datos utilizados se desarrollaron diferentes métodos (Emrouznejad et al., 2008). Los más trabajados son los datos de corte transversal (como el

DEA y extensiones tales como Free Disposal Hull (FDH)) y el panel de datos (que corresponden a fronteras secuenciales e inter temporales y extensiones del DEA como el índice de Malmquist, índice global de Malmquist-Luenberger y el índice de Metafrontera Malmquist-Luenberger).

Es así como, para el desarrollo de este estudio se plantea la utilización de un método de medición de eficiencia semiparamétrico adoptado en Finlandia desde 2012 y desarrollado por Kuosmanen y Kortelainen (2012), conocido como Análisis Envolvente de Datos Estocástico no Paramétrico (StoNED), el cual se plantea en cuatro etapas. Esta metodología trata de un modelo de frontera semiparamétrico que combina la frontera no paramétrica tipo DEA, satisfaciendo la monotonicidad y la concavidad, con el término de error compuesto homocedástico estocástico logrado en los modelos paramétricos tipo SFA.

1.2.3. Eficiencia en educación y la relación con los procesos gubernamentales

Cuando se explora la conexión entre la eficiencia educativa y el gobierno, es esencial reconocer las diversas perspectivas presentadas por los investigadores en este contexto. Esto se debe a que la evaluación de la eficiencia en la educación puede tener varias implicaciones en el ámbito gubernamental, siendo utilizada como un instrumento aplicable o argumentativo en las acciones y decisiones gubernamentales. En este orden de ideas, en la Tabla 2 se establecen cuatro enfoques discutidos en cuanto a esta relación: instrumentos de desarrollo social, ajuste financiero, legislación política y, por último, competitividad, categorización y profesorado. Se identifican el tipo de relación, los autores que realizaron el estudio, la región en la que se centró el estudio y el año de publicación del artículo de investigación.

Tabla 2: Estudios de eficiencia en educación en relación con procesos gubernamentales.

Enfoque	Autores	Año	Lugar	Relación
Impacto socioeconómico	Chakraborty y Harper	2017	Australia	Productividad de las escuelas vs factores socioeconómicos en la región
	Koçak, Türe y Atan	2019	Letonia, Eslovenia y Corea	Educación vs con estilo de vida y nivel de desarrollo social
	Mazurek y Mielcová	2019	Internacional*	Resultados PISA vs PIB y gasto público
	Johnes y Virmani	2019	Etiopía, India, Perú y Vietnam	Sistemas educativos vs análisis socioeconómicos y políticos
	Nix, Jones, Brower y Hu	2020	Estados Unidos	Desarrollo académico vs reforma educativa
	Rymarzak y Marmot	2020	Reino Unido y Polonia	Autonomía institucional vs activos y propiedades
	Agasisti, Egorov, Zinchenko y Leshukov	2020	Rusia	Sistemas regionales de educación superior vs desarrollo económico regional
	Padilla, Cachanosky y Beck	2020	Estados Unidos	Educación de emigrantes vs libertad económica
Ajuste financiero	Sexton, Comunale y Gara	2012	Estados Unidos	Colegios y universidades públicas vs financiación
	Kovernuk	2016	Ucrania	Prácticas de formación profesional vs recursos financieros del gobierno
	Haug y Blackburn	2017	Australia	Número de estudiantes vs profesorado y fondos
	Wang	2019	China	Rendimiento educativo vs asignación de fondos
	Andrejević-Panić y Lozanov-Crvenković	2019	Europa Central y Oriental	Educación vs gastos de gobierno

Enfoque	Autores	Año	Lugar	Relación
Legislación política	Sengupta y Sfeir	1986	Estados Unidos	Exámenes centralizados vs proceso legislativo
	Peña-López y Sánchez-Santos	2017	Unión Europea	Asignación de clases vs sistemas educativos y recursos
	Teremetskyi, Grynko y Karmaza	2017	Ucrania y Polonia	Reforma y disposiciones de ley vs innovaciones y mejoras en la educación
	Salinas y Solé-Ollé	2018	España	Reforma de descentralización vs resultados educativos
	Sulis, Giambona y Porcu	2020	Unión Europea	Competencias de los estudiantes vs implicaciones políticas y legislativas
	Du Plessis	2020	Sudáfrica	Desigualdades de la dispensación educativa vs segregación y participación racial
Competitividad, categorización y profesorado	Teddlie y Reynolds	2001	Internacional*	Educación vs competitividad nacional y desarrollo
	De Witte y Rogge	2011	Bélgica	Evaluación docente vs enseñanza académica
	Liu y Xu	2017	Asia	Recursos educativos vs competitividad nacional
	Kumar y Thakur	2019	India	Impacto social vs rendimientos y clasificación
	Silander y Stigmar	2019	Suecia	Práctica docente y enseñanza estudiantil vs formación docente
	Salas-Velasco	2020	España	Rendimiento en escuelas públicas vs restricciones burocráticas
	Moncayo-Martínez, Ramírez-Nafarrate y Hernández-Balderrama	2020	México	Desempeño institucional vs enseñanza, investigación y difusión del conocimiento
	Brzezicki, Pietrzak y Cieciora	2022	Polonia	Evaluación docente vs actividad docente total realizada

* Hace referencia a que el estudio se realizó en múltiples países.

Elaboración propia.

De esta manera, para analizar una posible relación entre eficiencia educativa y el gobierno, se deben identificar los distintos puntos de vista que han dado los investigadores en dicho contexto. Así, la medición de la eficiencia en la educación puede connotar distintos efectos en el ámbito gubernamental, haciendo uso de dicha medida como un instrumento aplicable o argumentativo en las acciones y decisiones gubernamentales.

1.3. Objetivos de la investigación

Con el propósito de elaborar esta investigación, se formula una serie de objetivos, los cuales se van abordando en cada uno de los tres capítulos empíricos que se plantean como cuerpo de este documento. La temática principal que permite seguir el hilo conductor que se desarrolla a lo largo de los capítulos presentados, consiste en realizar una medición de la eficiencia en las instituciones educativas, haciendo uso de un método innovador en este campo y analizando una relación existente entre los resultados de la medición encontrada con las directrices dadas por las autoridades gubernamentales de cada departamento en Colombia. A continuación, se especifican los objetivos trabajados en cada uno de los capítulos presentados:

En el segundo capítulo, se plantea como objetivo la medición de la eficiencia del sistema educativo colombiano, a nivel de la educación media, con un método que ha venido tomando fuerza en esta línea de trabajo. Se evaluará a las instituciones por medio de los puntajes obtenidos por los estudiantes en las pruebas SABER 11 del año 2016, buscando establecer un punto de partida para el periodo 2016 y 2019. Adicionalmente, se contemplará el posible sesgo de selección existente por parte de las directivas de las instituciones como consecuencia

de la elección de los estudiantes que se presentan, en su representación, a la prueba en mención.

En el tercer capítulo, se establece como objetivo la medición de la eficiencia con variables de entorno del sistema educativo, en las instituciones educativas que trabajan con la educación media, enfocando en el proceso realizado durante el periodo de vigencia de los gobiernos locales, lo cual corresponde entre los años 2016 y 2019. Este desarrollo se realizará teniendo en cuenta factores de entorno tales como los niveles socioeconómicos de los estudiantes y de la institución educativa. Esto permitirá realizar un análisis transversal, año a año, en las mediciones del desempeño de las instituciones educativas en relación con la eficiencia. Adicionalmente, se busca implementar un proceso metodológico innovador con el ánimo de robustecer el método StoNED.

En el cuarto capítulo, finalmente se tiene como objetivo analizar la eficiencia de las instituciones educativas en Colombia, utilizando una perspectiva que se basa en la medición de la eficiencia, pero con un conjunto de datos tomados en el periodo de tiempo entre 2016 y 2019, por medio de un panel de datos. De manera subyacente se busca analizar la posible conexión existente entre las directrices dadas por las autoridades gubernamentales y la eficiencia de las instituciones de cada departamento, para lo cual se emplearán los resultados de las pruebas SABER 11 que abarcan el periodo de tiempo correspondiente a la última administración de los gobiernos locales en Colombia, tiempo comprendido entre los años 2016 y 2019.

1.4. Bases de datos

En este estudio se plantea estimar la eficiencia de las instituciones educativas en Colombia, bajo ciertas características puntuales de las instituciones educativas, de los métodos a utilizar y buscando referenciar si la gestión gubernamental y la afinidad política de cada dirigente del departamento muestra un carácter diferenciador en términos de la eficiencia. De acuerdo con esta idea, este estudio se diseña haciendo uso de los resultados de las pruebas SABER 11, entre el año 2016 y el año 2019², de los estudiantes de las instituciones educativas.

Por tanto, de los cerca de 574.000 estudiantes por año de las aproximadas 9.700 instituciones educativas de Colombia (tanto públicas como privadas), este estudio emplea los datos de 498.000 estudiantes de 8.562 instituciones educativas (5.945 públicas y 2.617 privadas) de 1.092 municipios repartidos en los 33 departamentos³ de Colombia. La decisión de emplear estos datos corresponde a las instituciones educativas de las cuales se logró encontrar la información pertinente y necesaria para todas las variables que se han de tener en cuenta en los modelos.

La información mencionada sobre las instituciones, utilizada para este estudio, se obtuvo de dos fuentes. En primer lugar, de la base de datos del ICFES⁴ correspondiente a las pruebas Saber 11 en el repositorio correspondiente a investigadores y divulgación. Esta base de datos

² Periodo de tiempo de la última administración de gobiernos locales en Colombia, esto con el fin de identificar la posible relación de la gestión administrativa con la eficiencia hallada.

³ Administrativamente, Colombia está dividida en 32 departamentos, por lo que Santa Fe de Bogotá D.C. se tomará como un departamento, por su condición de distrito capital.

⁴ ICFES <https://www2.icfes.gov.co/investigadores-y-estudiantes-posgrado/acceso-a-bases-de-datos>

contiene información acerca del estudiante, de su familia y de la institución educativa relacionada durante el periodo estudiado; haciendo énfasis en la información coordinada con el desarrollo académico del estudiante e institución.

En segundo lugar, de la base de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE)⁵ en su catálogo de microdatos del Archivo Nacional de Datos (ANDA) sobre educación formal. Esta base de datos contiene distintos módulos de información relacionada con las instituciones educativas del país, donde se exponen particularidades más detalladas sobre los estudiantes, los docentes, los administrativos y las instituciones; así como las condiciones de su entorno familiar y social. De esta forma se logra identificar factores que afectan la convivencia escolar en los estudiantes y genera información para la caracterización de la población escolarizada en relación con sus actividades, relaciones familiares, comportamientos y actitudes sexuales.

Finalmente, cabe precisar dos situaciones con respecto a los datos con que se llevará a cabo esta investigación. Por un lado, la duración tomada para el estudio se fundamenta en relación con el análisis específico que se llevará a cabo en esta investigación, el cual está alineado con uno de los objetivos previamente establecidos. De otro lado, se realizan dos niveles de agregación. Uno, por institución educativa, ya que corresponde a la unidad de toma de decisión que se ha establecido para analizar en este documento. Dos, por departamentos, dado que posibilita una evaluación uniforme y estandarizada del rendimiento en eficiencia en entornos similares, lo cual sería difícil de lograr si se analizaran únicamente ubicaciones

⁵ DANE http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/MICRODATOS/about_collection/25/2

específicas en algunos casos. Es de resaltar que ambos niveles de agregación son soportados en la literatura y han sido aceptados por la academia, puesto que fueron presentados y relacionados en un artículo sometido a pares editoriales, el cual corresponde al segundo capítulo de este documento (Arévalo et al, 2022).

1.5. Contribuciones esperadas

Con la realización de esta investigación se contribuye a la literatura académica e investigativa en enfoques dados por desarrollos empíricos, por medio de metodologías innovadoras y conclusiones económicas fundamentadas que pueden llevar a mejorar situaciones particulares de las localidades y las instituciones educativas en Colombia.

En primer lugar, con el segundo capítulo, se busca contribuir en dos frentes. Desde la perspectiva de la política educativa, se realiza una medición de la eficiencia productiva de las instituciones en Colombia para el año 2016, según lo estipulado por el MEN. Además, de forma empírica, se busca introducir una reflexión sobre el posible sesgo de selección que algunas instituciones podrían tener al elegir estudiantes para participar en las pruebas. Desde la perspectiva de la contribución a la literatura, se destaca la aplicación por primera vez, según nuestro conocimiento, del método StoNED en la evaluación de la eficiencia en el sector educativo.

En segundo lugar, con el tercer capítulo, se aporta al actual panorama de investigación, tanto en términos metodológicos como aplicados. Se incorporan dos métodos fusionados de manera innovadora, el enfoque StoNEZD y el orden m , con el propósito de fortalecer la

metodología ya existente en la línea de eficiencia en educación. Esto ofrece una herramienta destinada a cumplir con el objetivo de medir la eficiencia y evaluar las instituciones educativas, teniendo en cuenta las variables de entorno.

Aunque estos métodos han sido empleados en otras áreas de investigación, hasta donde sabemos, este estudio empírico es pionero en su aplicación para evaluar el rendimiento de instituciones educativas. Por otro lado, se busca establecer la eficiencia productiva de las instituciones educativas en Colombia durante el período de 2016 a 2019, analizando la variación año tras año. Con esto, se explora empíricamente la influencia de las variables del entorno en la medición de la eficiencia de las instituciones educativas en Colombia.

En tercer lugar, con el cuarto capítulo, el propósito es realizar una contribución destacada en tres áreas clave. Para iniciar, se busca potenciar una metodología transformadora en el ámbito de los estudios de eficiencia en educación, aplicando el método StoNED a una estructura de panel de datos. Esta metodología permite realizar un análisis temporal a través del modelo StoNED dentro de un contexto educativo.

Por otro lado, se determina la eficiencia productiva de las instituciones educativas en Colombia durante el período de 2016 a 2019, evaluando la evolución de la eficiencia a lo largo de este periodo de tiempo. Final y principalmente, de manera empírica, se analiza una posible conexión entre las directrices de los gobiernos locales y la gestión eficiente de las instituciones educativas en los diversos departamentos de Colombia.

1.6. Organización del documento

Este documento está esquematizado con cinco secciones, relacionadas a continuación.

- El primer capítulo corresponde a la presente sección de introducción, en la cual se sintetizan y exponen de manera general los puntos más relevantes de cada planteamiento abordado a lo largo de los capítulos siguientes.
- El segundo capítulo corresponde al primer artículo de la investigación. Cabe resaltar que el primer artículo ya fue publicado⁶ y se distingue por la implementación en la literatura y por la reflexión de los posibles sesgos de selección de las instituciones con sus estudiantes.
- El tercer capítulo corresponde al segundo artículo de la investigación. Este artículo tiene un carácter diferenciador por el uso de las variables de entorno en la medición de eficiencia de manera transversal año a año.
- El cuarto capítulo corresponde al tercer artículo de la investigación. Este artículo se distingue por la exploración de la relación de la medición de eficiencia, trabajada longitudinalmente, con la afinidad política de sus dirigentes.
- El quinto capítulo corresponde a la sección donde se detallan los principales hallazgos, las contribuciones realizadas, las limitaciones y las futuras investigaciones que se pueden dar a partir de esta investigación.

⁶ Publicación realizada en la revista Desarrollo y Sociedad, de la Universidad de los Andes en Colombia, categorizada como A2 en Publindex y como Q3 en Scimago Journal Rank. Esta publicación se realizó en cooperación con Víctor Giménez García y Diego Prior Jiménez, docentes e investigadores de la UAB.

Finalmente se presenta la respectiva bibliografía, donde se relacionan todos los artículos referenciados y citados, bajo las normas APA, en esta investigación. A continuación, en la Tabla 3 se presenta un resumen que relaciona cada uno de los capítulos a tratar en la investigación, con su respectivo enfoque y detalle.

Tabla 3: Relación de capítulos.

Capítulo	Enfoque	Detalle
Uno	Introducción	Se establece el contexto general del estudio, para dar seguimiento al desarrollo del mismo.
Dos	Método StoNED (caso empírico)	Se plantea el método para la línea de educación y se hace un estudio para el año 2016, analizando el posible sesgo de selección.
Tres	Análisis transversal	Se analiza año a año la eficiencia del sistema educativo durante el periodo, teniendo en cuenta variables de entorno.
Cuatro	Análisis longitudinal	Se examina la evolución de la eficiencia del sistema educativo en el periodo, analizando la relación con la afinidad política de los dirigentes.
Quinto	Conclusiones de cierre	Se aclaran los detalles finales de la investigación, con sus contribuciones y líneas para dar continuidad al estudio.

Elaboración propia.

2. Análisis de eficiencia en educación: Una aplicación del método StoNED

2.1. Resumen

En Colombia, se implementan diversos métodos para medir la eficacia de las instituciones de educación media, pero no se ha trabajado mucho en la eficiencia. En este estudio se busca establecer la eficiencia de estas instituciones, utilizando una metodología innovadora conocida como Análisis Envolvente de Datos Estocástico no Paramétrico (StoNED) haciendo una medición orientada al *output*. Se plantea una exploración entre la relación de la eficiencia con la gestión de las secretarías de educación por departamento, teniendo en cuenta un posible sesgo de selección hallado en los datos. Se toman como unidades de decisión las instituciones, por medio de los resultados estudiantiles de las pruebas SABER 11; teniendo en cuenta dos niveles de agregación, por institución y por departamentos. Se concluye que el método StoNED presenta un desempeño estable y consistente en la medición de eficiencia de instituciones educativas bajo las condiciones descritas en este documento. De otro lado, se logra encontrar una ligera diferencia en la proporción de instituciones que presentan una eficiencia técnica con respecto a las que no la presentan. Más aún, se identifica que la mayoría de las instituciones que no presentan eficiencia técnica son aquellas de naturaleza oficial, así como las ubicadas en zona rural.

2.2. Introducción

Una de las líneas de desarrollo socioeconómico más importante en un país es el impacto relacionado con la efectividad en los sistemas educativos internos, bajo la premisa que la educación es el núcleo de los factores que mejoran el estilo de vida de las personas y aumenta el nivel de desarrollo de la comunidad (Koçak et al., 2019). En ese sentido, la educación de calidad, equidad y eficiencia es uno de los objetivos más importantes de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)⁷.

La relación entre rendimiento académico y desarrollo socioeconómico ha sido analizada tanto por la academia (Chakraborty y Harper, 2017; Agasisti et al. 2020; Rymarzak y Marmot, 2020), como por organizaciones internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (OECD/UNESCO, 2016; Mazurek y Mielcová, 2019).

En este último caso, se exploró la relación entre los resultados obtenidos del estudio internacional PISA y un conjunto de indicadores socioeconómicos de 71 países, de los cuales 34 países pertenecían a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y 37 no pertenecientes a la OCDE. Uno de los resultados de este fue que los puntajes

⁷ Red global de desarrollo de las Naciones Unidas, a la cual pertenece Colombia, que aboga por cambiar y conectar a los países al conocimiento, la experiencia y los recursos para ayudar a las personas a construir una vida mejor (<https://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/sustainable-development-goals.html>).

de PISA estaban positivamente relacionados con el PIB nacional per cápita, los gastos de los gobiernos en educación primaria y el índice de democracia (Mazurek y Mielcová, 2019).

Diversos trabajos han analizado los resultados obtenidos por los estudiantes en determinadas pruebas que les aplican, generalmente al finalizar algún ciclo educativo (Sosa et al., 2010; Soria-Barreto y Zúñiga-Jara, 2014; Gallegos et al., 2018). Otros trabajos han planteado que los resultados no deben interpretarse por sí solos, sin tener en cuenta una serie de factores de entorno que intervienen en el ecosistema educativo (Vélez et al., 2006; Canales y De los Ríos, 2007; García-Robelo et al., 2020).

Distintos autores, desde diferentes líneas de investigación, han estudiado los factores que contribuyen a obtener resultados académicos tan negativos que provocan la deserción académica (Tinto, 1975; Cabrera et al., 1993; Vries et al., 2011; Herrero et al., 2018). Algunos de estos factores se pueden categorizar como personales, familiares, sociales, académicos e institucionales (Hanushek, 1979; Alvarez et al., 2017). Los dos últimos destacan el importante papel que juegan las instituciones educativas y las políticas gubernamentales en los procesos académicos de enseñanza–aprendizaje y, por tanto, desarrollo de un país (Baskaran, 2017; King, 2019).

En Colombia se ha establecido al Ministerio de Educación Nacional (MEN) como entidad responsable del sector educativo⁸. Entre las metas y estrategias para la educación, el MEN plantea diferentes objetivos entre los que destacan el apoyo a los departamentos territoriales

⁸ Por el decreto 1075 del 26 de mayo de 2015, del Decreto Único Reglamentario del Sector Educación en Colombia.

(en los que se organiza administrativamente Colombia), la calidad y eficiencia del servicio educativo, el fomento de la permanencia en la educación, la mejora en el acceso y la calidad de la educación rural, así como la participación de las instituciones oficiales (del estado) en pruebas nacionales e internacionales.

En cuanto a las evaluaciones en el territorio nacional se encuentran las pruebas SABER 11 que aplica el estado colombiano para evaluar el sistema educativo a través del Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES). Los resultados de estas pruebas han servido como fuente de datos para estudios y trabajos de investigación mediante el uso de diversas metodologías, de cara a la obtención de distintos tipos de información o enfoques.

Entre estos, la identificación de factores asociados al desempeño académico (Ayala et al., 2011; Sánchez, 2011; Castro et al., 2018), la estimación de brechas educativas (Cárcamo y Mola, 2012; Castro et al., 2017), estudios de desempeño (OCDE, 2016; Giménez et al., 2017) e incluso como base principal para el cálculo del Índice Sintético de Calidad Educativa (ISCE) y el Índice de Gestión para la Calidad Educativa (IGCE), construido por el ICFES; índices utilizados para la clasificación de instituciones en Colombia (Ministerio de Educación Nacional, 2014).

Sin embargo, es preciso aclarar que, ambos índices se centran en medir si se alcanzan o no las metas establecidas (eficacia) y no plantean la medición de si están logrando las metas establecidas haciendo uso de la menor cantidad de recursos disponibles o si se están logrando los mejores resultados haciendo uso de los recursos disponibles (eficiencia). Por tanto, para

el caso colombiano, no se está logrando uno de los objetivos trazados por el MEN de medir los niveles de eficiencia del sistema educativo.

Es así como siguiendo esta línea de estudios centrados en resultados de pruebas, se evidencia literatura que aborda la economía de la educación que se centra, particularmente en Colombia, en el análisis del rendimiento de los estudiantes y en sus contextos personales, sociales y de institución. No obstante, no suelen tener en cuenta el papel que desempeñan las instituciones educativas en relación con su gestión y con el aprovechamiento de los recursos que conducen a la eficiencia de la producción educativa.

De este modo, se plantea como objetivo la medición de la eficiencia del sistema educativo colombiano. Se pretende complementar los índices actualmente empleados, dando cumplimiento a los objetivos del MEN, contribuyendo al diseño de políticas educativas. Además, como es de interés nacional obtener los mejores resultados posibles dados los recursos públicos aportados y las directrices definidas por el MEN a las instituciones en Colombia, se evaluará a los colegios por medio de los puntajes obtenidos por los estudiantes en las pruebas SABER 11; teniendo en cuenta dos niveles de agregación: por institución educativa y por departamentos.

Adicionalmente, se contemplará el posible sesgo de selección existente por parte de las directivas de las instituciones como consecuencia de la posible elección de los estudiantes que se presentan, en su representación, a la prueba en mención. Es preciso aclarar que este es uno de los enfoques principales del estudio que se trabajará, planteado como uno de los objetivos de este.

El análisis de eficiencia del sistema educativo que se plantea se realizará con los puntajes de 552.673 estudiantes, pertenecientes a 9.212 instituciones educativas (5.834 de naturaleza oficial y 3.378 de naturaleza no oficial) de los 33 departamentos en los que se organiza administrativamente Colombia. El *output* establecido será el puntaje global de los estudiantes (Sagarra, et al., 2017; Giménez et al., 2019) y los *inputs* dados serán cantidad de docentes, cantidad de alumnos, equipos electrónicos y un índice socioeconómico (Portela et al., 2013; Agasisti, 2014).

Las metodologías más utilizadas en la literatura para analizar la eficiencia en el ámbito educativo son dos (Peretto, 2016; Caiazza et al., 2016; Greco et al., 2018), los modelos no paramétricos y los modelos paramétricos. No obstante, en este estudio se plantea hacer uso de una metodología innovadora en el sector educativo, denominada *Stochastic Non-smooth Envelopment of Data* (StoNED) desarrollada por Kuosmanen y Kortelainen (2012).

Se trata de un modelo de frontera semiparamétrico que combina la frontera no paramétrica tipo *Data Envelopment Analysis* (DEA) (Charnes et al., 1978), que satisface la monotonicidad y la concavidad, con el término de error compuesto homocedástico estocástico obtenido en los modelos paramétricos tipo *Stochastic Frontier Analysis* (SFA) (Aigner et al., 1977).

La contribución de este trabajo está dada en dos enfoques. Uno, desde el punto de vista de política educativa, al cuantificar la eficiencia productiva de las instituciones en Colombia para el año 2016, ofreciendo una herramienta para lograr el objetivo de medida de la eficiencia y evaluación de las instituciones educativas, como lo determina el MEN.

Adicionalmente, de forma empírica, se plantea la discusión relacionada con el posible sesgo de selección que existe por parte de algunas instituciones al elegir estudiantes para presentar las pruebas. Dos, desde el punto de vista de la contribución a la literatura ya que se aplica por primera vez, según nuestro conocimiento, el método StoNED a la evaluación de la eficiencia en el sector educativo.

El capítulo se desarrollará en cinco secciones. La presente sección de introducción, seguido de la revisión sistemática de la literatura trabajada hasta el momento. A continuación, se describen los aspectos metodológicos del modelo a implementar, con los datos y las variables a utilizar. Posteriormente se muestran los principales resultados y se realiza una discusión de estos. Finalmente, se detallan las principales conclusiones, las limitaciones y las futuras investigaciones del estudio.

2.3. Revisión de literatura

Esta revisión de literatura se enfoca en tres aspectos. En primer lugar, el progreso documentado de la línea de investigación, por medio de artículos de investigación relacionados con eficiencia educativa (Worthington, 2001). En segundo lugar, los planteamientos metodológicos que se han llevado a cabo en la medición de eficiencia, principalmente los modelos de frontera (Peretto, 2016). Finalmente, la presentación de los estudios de investigación realizados hasta el momento haciendo uso del método StoNED, método que se utilizará en el desarrollo de metodológico de este estudio.

2.3.1. Desarrollo de la eficiencia en la educación

En cuanto a la teoría de la producción, Hanushek ha establecido ampliamente la relación existente entre el comportamiento de la teoría de la producción y el desempeño en la educación, haciendo énfasis en el desempeño individual (del estudiante) (Hanushek, 1979; 1987; 1997) y grupal (de la institución) (Hanushek, 2002; Hanushek y Luque, 2003). Dichos estudios esbozan las funciones de producción educativa y examinan la relación entre las diferentes entradas al proceso educativo y los resultados de dicho proceso, según sea el caso establecido.

Las instituciones educativas son objeto de análisis destinados a definir, medir y mejorar la eficiencia; por ello, para referirse a los estudios realizados sobre instituciones educativas desde el enfoque de la eficiencia, se debe mencionar el Informe Coleman (Morales, 2016). Las afirmaciones realizadas en el Informe Coleman (Coleman et al., 1966) generaron una serie de discusiones que motivaron el desarrollo de investigaciones en esta línea, a causa del impacto y trascendencia en términos del desarrollo socioeconómico.

Desde entonces, la línea de investigación se ha trabajado desde dos perspectivas (Thieme et al., 2011). La primera perspectiva es en relación con la educación y la psicología, la cual se enfoca en las connotaciones directas e indirectas de los procesos de enseñanza-aprendizaje de la academia (Teddlie y Reynolds, 2001). La segunda perspectiva es en relación con la economía pública, haciendo énfasis en la eficiencia técnica; analizando unidades de decisión evaluadas según los diferentes factores y recursos (*inputs*) en correspondencia con los resultados (*outputs*) obtenidos por estos.

Este estudio hace referencia a la eficiencia de las instituciones educativas desde la perspectiva de la eficiencia técnica relacionada con la economía pública. En este sentido, se relaciona la revisión de literatura realizada por Worthington (2001) en la cual lista una serie de trabajos mencionados hasta 1998. Entre estos, están aquellos autores que hicieron uso del modelo SFA, como Sengupta (1987), Barrow (1991), Deller y Rudnicki (1993), Cubbin y Zamani (1996) y Bates (1997); y de otro lado, los que usaron el modelo DEA, como Charnes, Cooper y Rhodes (1978, 1981), Sengupta y Sfeir (1986, 1988), Ganley y Cubbin (1992), Beasley (1995) y Haksever y Muragishi (1998).

El enfoque de la economía pública define un suministro eficiente cuando se utilizan los recursos de la mejor forma posible. Es decir, un sistema educativo presenta ineficiencias (o falta de eficiencia) cuando se pueden lograr mejoras en el nivel de resultados obtenidos, haciendo uso del mismo nivel dado de insumos (orientado al *output*); o si para el mismo nivel de resultados dado se logra disminuir el nivel de insumos (orientado al *input*) (Bessent y Bessent, 1980). El estudio de Sengupta y Sfeir (1986) establece un punto de partida, en educación, para el estudio de las técnicas de medición de la eficiencia en la frontera al realizar un estudio con un conjunto de datos utilizando el enfoque de frontera SFA y DEA.

En cuanto a Latinoamérica, el estudio de Miranda y Araya (2003) muestra la eficiencia del programa para el mejoramiento de la calidad y el cubrimiento de la educación, en el área austral de Chile. Ibáñez-Martín y otros (2017) analiza el rendimiento académico de los estudiantes mediante la estimación de fronteras de eficiencia, método que permite distinguir el efecto de características del alumno y su entorno en Argentina. En México, Becerril-Torres

y otros (2012) estiman una frontera de producción a través del método DEA, mostrando que la eficiencia promedio de la educación en México está cerca al 70%.

Para Colombia, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) estimó una frontera de producción departamental a través del DEA. En ella, establece cómo la inversión en educación, los contratos privados y el número de docentes debe fomentar alumnos con mejores calificaciones. El estudio fue realizado para la educación media, en el que se demostraron resultados contrarios en materia de eficiencia para los departamentos. Entre las debilidades de este estudio se encuentra que el método utilizado no tiene en cuenta los errores estocásticos que se presentan en el proceso de aprendizaje (Rodríguez-Murillo, 2014).

De otro lado, el estudio de Melo-Becerra et al. (2017) evalúa el desempeño de las Instituciones de Educación Superior de Colombia, mediante la estimación de una frontera de posibilidades de producción, que permite evaluar la eficiencia relativa y sus determinantes; midiendo los factores externos que pueden influir en la calidad de la educación en Colombia.

Posteriormente, Visbal-Cadavid y otros (2017) presentan los resultados de un estudio de eficiencia de universidades públicas colombianas en 2012, realizado con el método DEA. Dichos resultados muestran hasta qué punto los resultados de las instituciones de educación superior ineficientes, podrían mejorarse y la posible causa de esta ineficiencia, analizando el cambio en la productividad de 2011 a 2012, aplicando el índice Malmquist.

Por último, pero no menos importante, está la disyuntiva en realizar un análisis donde el sistema de agregación puede traer valor agregado e implicaciones notorias sobre el

planteamiento inicial. Para el caso educativo, aunque los componentes particulares cambien, el análisis de la asociación entre variables de los niveles de agregación puede ser de consideración (Fertig y Wright, 2005).

Para Johnes (2014), los resultados sugieren que, los DEA de nivel agregado proporcionan puntajes de eficiencia que reflejan los esfuerzos y las características tanto de los estudiantes, como de la institución y departamento. Así, en cuanto a la eficiencia en el campo de la educación existe una progresiva cantidad de estudios que están aplicando esta técnica para evaluar los diferentes aspectos relacionados con la eficiencia de los centros de educación (Portela y Thanassoulis, 2001; Thanassoulis et al., 2011; Giménez et al., 2017; Giménez et al., 2019).

Se pueden identificar situaciones en que los niveles de efectividad escolar de un alumno están representados en su mayor parte por el margen de rendimiento de las escuelas. Así mismo, se relacionan los niveles de logros de las instituciones en la medida en que los logros de esos objetivos estén dados por el alumno (Thanassoulis y Portela, 2002). Esto muestra, la relación directa que existe entre el desempeño del estudiante versus la institución.

Finalmente, se plantea un asunto de considerable relevancia al examinar los contextos de evaluación en los procesos académicos, el concepto de sesgo de selección. Este tema está relacionado con la práctica de algunas instituciones educativas en seleccionar, bajo algún criterio particular, a algunos estudiantes con el ánimo de que sean quienes representen a la institución en algún tipo de prueba. Este tipo de situaciones podría limitar la capacidad de

realizar inferencias causales sólidas que puedan informar de manera efectiva la formulación de políticas, la investigación y la práctica educativa (Stuart, 2010).

Uno de los principales desafíos para establecer relaciones causales entre las disparidades en el desempeño en las pruebas con estudiantes, es el sesgo de selección. Este sesgo puede tener al menos dos orígenes, en primer lugar, los alumnos se autoeligen en las diferentes instancias (en relación con sus capacidades); y en segundo lugar, los que elige la institución por algún criterio individual que pueda favorecer (talento, físico, relaciones, entre otras).

Un ejemplo de esto, son los métodos de selección utilizados para el ingreso a la educación superior, los cuales exhiben ciertos sesgos socioeconómicos que favorecen a los estudiantes provenientes de establecimientos privados pagados. Este fenómeno resalta la disparidad en las oportunidades de acceso a la educación superior entre diferentes grupos socioeconómicos, lo que puede perpetuar la desigualdad educativa y social en la sociedad, favoreciendo a las instituciones (Eyzaguirre et al., 2022).

Un análisis comparativo realizado por la OCDE en 2005, utilizando datos de PISA 2000 de varios países, reveló que los estudiantes de educación técnico-profesional obtuvieron puntajes considerablemente más bajos en la mayoría de los países en comparación con los estudiantes de la educación humanista-científica. Las comparaciones de los resultados de las pruebas indican diferencias estadísticamente significativas entre aquellos que se presentan a las pruebas por los programas académicos y aquellos que lo hacen por programas técnicos (Farías y Carrasco, 2012).

Este tipo de análisis cobra tal importancia, que algunos autores tratan de elaborar procesos y enfoques que lleven a mitigar este tipo de sesgos de selección. Por ejemplo, plantean análisis de puntaje de propensión en un conjunto de datos representativo a nivel nacional para indagar si la participación de los estudiantes en cursos y pruebas en la escuela tiene un efecto causal en la exclusión de otros estudiantes. Así mismo, se ha propuesto emplear una mayor cantidad de información sobre las características personales y familiares de los estudiantes en comparación con otros estudios previos, para evitar la exclusión de participantes (Showalter y Mullet, 2017; Fernández-Mellizo, 2022).

2.3.2. Metodologías utilizadas para la medición de eficiencia

Aunque existen distintas metodologías utilizadas para medir y analizar la eficiencia productiva, se presenta en este documento un enfoque a los métodos de frontera. Estos métodos se han establecido como métodos fiables, puesto que obtienen una función de producción relacionando los productos obtenidos y los insumos de las unidades productivas consideradas en la evaluación. Dicha función determina el límite de posibilidades de producción, por lo cual la eficiencia de una unidad productiva viene dada por la distancia que la separa de la mencionada frontera.

Una característica fundamental de estas funciones es la optimización, en el sentido de Pareto, pues todas ellas especifican el valor óptimo de la función que puede ser logrado bajo ciertas condiciones impuestas; es decir, una frontera (Cooper et al., 2006). Cuando el óptimo está definido por la función de producción, la medida de eficiencia obtenida se denomina eficiencia técnica. Si la comparación se realiza considerando un óptimo definido en términos

de un objetivo económico determinado, la medida de eficiencia obtenida se denomina eficiencia económica (Lovell et al., 1994).

En los procesos de estimación, por medio de los métodos de frontera, se realizan generalmente mediante dos tipos de técnicas básicas (Murillo-Melchor, 1999; Dong et al., 2014) paramétricas (técnicas que especifican la tecnología mediante una forma funcional conocida) y no paramétricas (técnicas que formulan las características de la tecnología mediante supuestos sobre el conjunto de producción). Hay dos grandes modelos dentro de los métodos de frontera (Prior, 1992; Caiazza et al., 2016; Greco et al., 2018):

- Un modelo de frontera paramétrico fundamentado en el SFA, el cual permite capturar los errores estocásticos en la estimación (Aigner et al., 1977; Manski, 2000; Rodríguez-Murillo, 2014; Melo-Becerra et al., 2017), atribuidos a la ineficiencia y a factores externos.
- Un modelo de frontera no paramétrico fundamentado en el DEA, el cual estima la frontera mediante técnicas de programación matemática, con la ventaja de no suponer a priori una forma funcional para la función de producción (Charnes et al., 1978; Charnes et al., 1997; Greene, 2008; López-Torres y Prior, 2016; Giménez et al., 2019). Este modelo se puede trabajar con el Índice de *Malmquist* (Färe et al., 1994, Lovell, 2003; Thanassoulis et al., 2011; Johnson y Ruggiero, 2014; Giménez et al., 2017) y el índice de Metafrontera *Malmquist Luenberger* (*Metafrontier Malmquist Luenberger*, MML) (Oh, 2010; Thieme, Prior, y Tortosa-Ausina, 2013; Cordero, et al., 2016).

Ambos modelos de frontera tienen sus propios méritos y limitaciones. Una de las ventajas de aplicar análisis de frontera con respecto a las técnicas econométricas tradicionales es que provee medidas específicas de ineficiencia, que no siempre son el resultado del comportamiento directo de la unidad de producción. Así, las desviaciones pueden estar originadas en eventos que se encuentran bajo o fuera del control de dichas unidades (Melo-Becerra et al., 2005).

2.3.3. Antecedentes del método a desarrollar

En este estudio se plantea un método que, aparte de ser catalogado en la literatura como novedoso y una alternativa prometedora ya que es estocástico, semiparamétrico y no requiere una suposición explícita a priori sobre la forma funcional de la función de producción (Andor y Hesse, 2014), ataca uno de los objetivos de investigación más importantes en este campo, como lo es cerrar la brecha entre el SFA y el DEA (Johnson y Kuosmanen, 2011). Este método ha venido ganando protagonismo en la literatura correspondiente a medición de eficiencia; abriendo camino en la medición de eficiencia en la educación.

Hay dos diferencias importantes a resaltar cuando se plantea la comparación entre los modelos SFA y DEA con el método StoNED (Kuosmanen et al., 2015). En primer lugar, los métodos de estimación de eficiencia buscan estimar la función de producción subyacente; así, mientras que el SFA (paramétrica) requiere una suposición sobre la forma funcional de la función de producción, en el DEA (no paramétrica) la construcción de la frontera solo está restringida a través de su base axiomática (concavidad, monotonicidad, ineficiencia y no limitación de ruido), siendo esta la principal desventaja de SFA frente al DEA. El método

StoNED (semiparamétrico) evita esta deficiencia mediante el uso de mínimos cuadrados convexos no paramétricos (*convex nonparametric least squares*, CNLS); los cuales no suponen una forma funcional particular, sino que eligen una función de la familia de funciones cóncavas continuas crecientes de manera monótona que mejor se ajusten a los datos. Por lo tanto, estos supuestos son comparables con los del DEA, pero son menos restrictivos que los del SFA.

En segundo lugar, está el supuesto sobre la composición del factor de error. Mientras que el método determinista (DEA) supone que toda la desviación es atribuida a la ineficiencia, los métodos estocásticos (SFA y StoNED) estiman la eficiencia técnica, al tiempo que admiten que podría haber ruido aleatorio en los datos, mediante el método de momentos (Aigner et al., 1977), la técnica de máxima verosimilitud o pseudo-máxima verosimilitud (Fan et al., 1996). En la determinación de la eficiencia técnica para cada unidad, los métodos estocásticos, utilizando las estimaciones previas (el término de error, la relación de ruido e ineficiencia) pueden estimar la eficiencia individual. El método determinista no considera el ruido aleatorio y la eficiencia técnica en la desviación completa de la frontera estimada.

En este sentido, Johnson y Kuosmanen (2011) establecen que al construir un estimador basado en el método StoNED (que combina la frontera axiomática, no paramétrica, estilo DEA, con el tratamiento probabilístico, estilo SFA, de ineficiencia y ruido) se tienen varias ventajas para estimar los efectos de las variables de entorno. Cabe destacar que este estimador de frontera es insesgado y estadísticamente consistente bajo supuestos más generales que los requeridos por otros métodos; de hecho, permanece constante incluso cuando el término de ruido no tiene límites y las variables están correlacionadas con las entradas.

Así, las características mencionadas anteriormente solventan el problema de la endogeneidad que se produce cuando la variable explicativa se correlaciona con el término de error en una regresión, lo cual implica que el coeficiente de regresión va a estar sesgado (Johnson y Kuosmanen, 2011; Kuosmanen y Johnson, 2017); algo común en estudios de esta línea de investigación.

Posteriormente, Afsharian (2017) plantea cómo el método StoNED puede extenderse como un estimador en el análisis de eficiencia de metafronteras. Igualmente, este método permite la estimación de tecnologías de producción conjunta que implican múltiples productos (Kuosmanen y Johnson, 2017); así, en comparación con el SFA y el DEA, al analizar la medida en que se puede aplicar una función de producción para modelar tecnologías con entrada y salida multidimensional para StoNED, este conduce a resultados plausibles, aunque algo complicados (Schaefer y Clermont, 2018).

Este método ha sido utilizado en estudios de análisis de eficiencia en regulación y rentabilidad de energía eléctrica en distintos países (como China, Finlandia y Noruega) (Kuosmanen et al., 2013; Li et al., 2016; Kuosmanen, 2012; Cheng et al., 2014; Dai y Kuosmanen, 2014). También hay estudios en los que hacen uso de este método aplicado a eficiencia de precios y elasticidades de la demanda agrícola (Shen y Lin, 2017), eficiencia en la producción maíz (Chaovanapoonphol y Somyana, 2018), eficiencia inter temporal de los equipos de ventas en bancos (Eskelinen y Kuosmanen, 2013) y eficiencia de la administración tributaria (Nguyen et al., 2020).

Hay un estudio por Louca y Demosthenous (2015), en el que, por medio del método StoNED como método de análisis de eficiencia productiva, sustentan la discusión en torno a las teorías en medición de la eficiencia en la educación, dimensiones sociales, económicas y culturales, como contribución al crecimiento económico sostenible, aplicado en la agricultura. Adicionalmente, sugieren que la eficiencia en la educación debe medirse para lograr un crecimiento económico sostenible y proponen hacer uso de StoNED como una herramienta en la medición de la eficiencia en la educación.

Lo presentado anteriormente, establece una serie de estudios enfocados al análisis de eficiencia, que hacen uso del método StoNED; indicando con esto dos situaciones. Uno, que es novedoso, relevante y útil para la medición de eficiencia, a pesar de ser un método nuevo. Dos, que en el ámbito académico no hay evidencia que se haya realizado un trabajo de análisis de eficiencia en relación con instituciones educativas; aunque se plantea la posibilidad de hacer uso de este método para realizar dicho análisis. De esta manera, lo mencionado, abre una brecha de investigación correspondiente a la medición de la eficiencia de la productividad de las instituciones educativas; planteamiento que se desarrolla en este documento.

Por último, en el sentido de contextos educativos, se hace precisión sobre posibles aspectos favorables y desfavorables que pueden existir al utilizar el método StoNED para este análisis. Como ventajas, se debe tener en cuenta que el análisis de ineficiencia es más fuerte que el que plantea un SFA, pero menos severo que el que plantea un DEA; siendo un punto medio útil en el planteamiento educativo por los factores externos que se pueden presentar y ser parte del estudio (Kuosmanen y Kortelainen, 2012). De otro lado, como inconveniente, se

debe tener en cuenta que en el contexto educativo es útil hacer uso de varios *outputs* dependiendo del análisis que se desee trabajar y, en este caso, el método StoNED presenta complicaciones y no es fácil el proceso para este análisis (Kuosmanen y Johnson, 2017).

2.4. Método y datos

Esta sección se compone de dos partes. En la primera parte se presentará en qué consiste el desarrollo metodológico de este estudio, aclarando el modelo conocido como Análisis Envolvente de Datos Estocástico no Paramétrico (StoNED) introducida por Johnson y Kuosmanen (2010). En la segunda parte, se describen los datos y fuentes que se utilizan en el modelo, identificando las respectivas variables utilizadas, como *outputs* e *inputs*.

2.4.1. Desarrollo metodológico

El método conocido como Análisis Envolvente de Datos Estocástico no Paramétrico (StoNED), difiere de los tratamientos paramétricos del SFA en que no se hacen suposiciones sobre la forma funcional, sino que se construye sobre las restricciones de forma global (monotonicidad y concavidad). Estas restricciones son equivalentes a los axiomas de libre disposición y convexidad del DEA. De otro lado, el método StoNED difiere en su tratamiento de la ineficiencia y del ruido (Kuosmanen y Johnson, 2010) del DEA, ya que este es sensible a los valores atípicos y al ruido. El método StoNED utiliza la información contenida en toda la muestra de observaciones para estimar la frontera e infiere el valor esperado de ineficiencia en una moda probabilística (Kuosmanen y Kortelainen, 2012).

Este modelo propone un nuevo método de dos etapas. La primera conlleva aplicar CNLS para estimar la forma de la frontera sin suposiciones sobre su forma funcional o suavidad. En la segunda las expectativas condicionales de ineficiencia se estiman con base en los residuos de CNLS, utilizando el método de los momentos o técnicas de cuasi verosimilitud (Kuosmanen y Johnson, 2010).

El estimador StoNED se plantea en cuatro pasos, que no necesariamente se deben ejecutar:

- Paso 1: Aplicar el estimador CNLS para estimar la salida media condicional $E(y_i|\mathbf{x}_i)$.
- Paso 2: Aplicar métodos paramétricos (por ejemplo, el método de los momentos o la estimación de cuasi-verosimilitud) a los residuos CNLS ($\hat{\varepsilon}_{iCNLS}$) para estimar el valor esperado de ineficiencia μ .
- Paso 3: Calcular $\hat{\phi}_{StoNED}(\mathbf{x}) = \hat{g}_{\min CNLS}(\mathbf{x}) + \hat{\mu}$ y aplicar el principio mínimo de extrapolación (Banker et al., 1984) para estimar la función mínima (de producción de frontera) $\hat{\phi}_{\min StoNED}(\mathbf{x})$.
- Paso 4: Aplicar métodos paramétricos para estimar la ineficiencia específica de las instituciones utilizando la media condicional $E(u_i|\varepsilon_{iCNLS})$.

Es preciso tener en cuenta que, si los resultados observados están sujetos a ineficiencia asimétrica, entonces el supuesto de media cero ($E(\varepsilon_i) = 0$) de análisis de regresión se viola.

De hecho,

$$E(\varepsilon_i) = E(v_i - u_i) = -E(u_i) = -\mu < 0, \quad (1)$$

debido al término asimétrico de ineficiencia no negativa. Por lo tanto, el estimador de los CNLS ya no es un estimador consistente de la función de producción frontera f .

La regresión de los CNLS estima la media condicional, por lo tanto, se define la función media condicional g como:

$$g(\mathbf{x}_i) = E(y_i|\mathbf{x}_i) = f(\mathbf{x}_i) - E(u_i) = f(\mathbf{x}_i) - \mu. \quad (2)$$

Así, si el término de ineficiencia aleatorio u es independiente de las entradas \mathbf{x}_i , entonces el estimador $\hat{g}_{CNLS}(\mathbf{x}_i)$ es un estimador insesgado y consistente de la función g . Si el término de ineficiencia u tiene una varianza constante (es decir, el término de ineficiencia u es homocedástico), entonces el valor esperado del término de ineficiencia u es una constante, denotada como μ ; la cual puede estimarse con base en los residuos de los CNLS ($\hat{\varepsilon}_{iCNLS}$).

De otro lado, si la varianza de la ineficiencia difiere entre las observaciones (es decir, $E(u_i)$ ya no es una constante μ) sería un caso de ineficiencia heterocedástica (Kuosmanen et al., 2015). De esta manera, para determinar si se debe proceder al siguiente paso, es útil probar los datos para detectar cualquier evidencia de ineficiencia; puesto que el residual de los CNLS ($\hat{\varepsilon}_{iCNLS}$), consiste en un término de ruido distribuido normalmente y un término de ineficiencia truncado a la izquierda.

Dependiendo las estimaciones que se deseen realizar, estimar los parámetros CNLS en el paso 1 puede ser suficiente. Los otros pasos no influyen en las estimaciones de productos marginales de los factores de entrada, los coeficientes $\hat{\beta}_l$ o la clasificación de eficiencia relativa de las unidades. El paso 2 es necesario si se necesita el nivel de ineficiencia promedio para la muestra, el paso 3 es necesario para imponer una extrapolación mínima y el paso 4 es necesario si se necesitan las estimaciones cardinales de ineficiencia específicas de las instituciones (Ray et al., 2015).

2.4.2. Datos y variables

En Colombia, los estudiantes que están realizando el último curso de la educación media presentan la prueba Saber 11, requisito indispensable para ingresar a los programas de educación superior en pregrado, de conformidad con la Ley 30 de 1992 de la legislación colombiana. Sin embargo, es preciso aclarar que, conforme con las disposiciones legales vigentes, las pruebas Saber 11 no constituyen un requisito indispensable para obtener el grado de bachiller, que indica el fin de la educación media.

No obstante, la Ley 1324 de 2009 señala la obligación para las instituciones educativas de presentar a todos sus estudiantes, salvo circunstancias excepcionales como la incapacidad médica del estudiante. En contraste con lo anterior, puede darse la existencia de un sesgo de selección, por parte de las directivas institucionales, como consecuencia de la elección de los estudiantes que se presentan a la prueba; sin tener alguna excepción válida (Hofflinger y Von-Hippel, 2020). Dicha situación da lugar al planteamiento alternativo que se tendrá en cuenta en los modelos, como en la discusión de los resultados, de este estudio.

Este estudio se diseñó haciendo uso de los resultados de las pruebas SABER 11 del año 2016, como primer año del periodo comprendido entre 2016 y 2019⁹. Por tanto, de los aproximadamente 574.000 estudiantes de las aproximadamente 9.700 instituciones educativas de Colombia, este estudio emplea los datos de 552.673 estudiantes de 9.212 instituciones educativas (5.834 públicas y 3.378 privadas) de 1.009 municipios en los 33

⁹ Periodo de tiempo de la última administración de gobiernos locales en Colombia, para realizar la relación de las respectivas secretarías de educación de cada localidad.

departamentos de Colombia. La decisión de emplear estos datos corresponde a las instituciones educativas de las cuales se logró encontrar la información pertinente y necesaria para todas las variables que se han de tener en cuenta en el modelo.

La información mencionada sobre las instituciones, utilizada para este estudio, se obtuvo de dos fuentes. La primera, de la base de datos del ICFES¹⁰, correspondiente a Saber 11 en el repositorio correspondiente a investigadores y divulgación. Esta base de datos contiene información acerca del estudiante, su familia y la institución educativa relacionada durante el periodo estudiado. La segunda, de la base de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE)¹¹ en su catálogo de microdatos del Archivo Nacional de Datos (ANDA) sobre educación formal. Esta base de datos contiene distintos módulos de información relacionada a las instituciones educativas del país, donde se exponen particularidades más detalladas sobre estudiantes, docentes, administrativos e instituciones.

En el modelo se utilizarán las instituciones educativas como unidades de decisión (DMU), las cuales se relacionarán por medio de los puntajes obtenidos por sus estudiantes en las pruebas Saber 11. De esta manera, se manejarán dos niveles de agregación, un primer nivel por institución educativa y un segundo nivel por departamentos. De otro lado, entendiendo por eficiencia la comparación entre los valores observados y los óptimos, la comparación se realizará orientada al *output*; es decir, la comparación entre el *output* máximo alcanzable y el realmente alcanzado, para un cierto nivel dado de *inputs*.

¹⁰ ICFES <https://www2.icfes.gov.co/investigadores-y-estudiantes-posgrado/acceso-a-bases-de-datos>

¹¹ DANE http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/MICRODATOS/about_collection/25/2

Se plantea el modelo con cinco variables distribuidas en un *output* y cuatro *inputs*. Siguiendo la línea en eficiencia en educación (De Witte y López-Torres, 2015; López-Torres y Prior, 2016; Giménez et al., 2017; Sagarra et al., 2017; Giménez et al., 2019), se hará uso de los puntajes de las pruebas como *output*. Sin embargo, siguiendo el planteamiento mencionado del posible sesgo de selección, se marca la discrepancia a este nivel de agregación entre los estudiantes matriculados que deberían haber presentado la prueba y la cantidad de estudiantes que realmente presentaron la prueba; en consecuencia, se realizan dos modelos.

Uno se desarrolló usando como *output* el puntaje acumulado presentado, calculado con la suma acumulada de los puntajes obtenidos por los estudiantes que presentaron la prueba de Saber 11 en cada institución. El otro se desarrolló usando como *output* el puntaje acumulado de cada institución, calculado con el producto entre el puntaje promedio de cada institución con la cantidad de sus estudiantes matriculados aptos para presentar la prueba, que no es la misma cantidad de estudiantes que presentaron la prueba en cada institución, ni la misma cantidad de estudiantes matriculados en la institución.

Este planteamiento se estableció al observar que, en los datos, la cantidad de estudiantes que presentaron la prueba no coincidía con la cantidad de estudiantes matriculados en cada institución, en el año de escolaridad, aptos para presentar la prueba. Esta observación traza la posibilidad de estudiar dos escenarios. Uno en que se penalice la decisión de la institución de enviar solo algunos estudiantes a presentar la prueba, siendo más exigente, y otro en el que, siendo más flexible, se asuma un promedio general con todos los estudiantes matriculados en la institución aptos para presentar dicha prueba (Iregui et al., 2007; Gómez-Silva, 2016; Hofflinger y Von-Hippel, 2020). Además, aunque esta prueba se puede presentar

en más de una oportunidad, solo se han tomado los datos de aquellos estudiantes que han presentado la prueba por primera vez.

Los *inputs* con que se elabora este estudio son acordes con las variables utilizadas en la línea de eficiencia en la educación, los cuales se pueden encontrar en la literatura: cantidad de alumnos matriculados (aptos o que presentaron la prueba), cantidad de docentes, equipos electrónicos, así como un índice socioeconómico (categorizados de uno a cuatro, que incluyen distintas características tanto de los estudiantes, en su ambiente individual, como de la institución, en su ambiente colectivo). La Tabla 4 relaciona los *inputs* tomados, con los autores y año de publicación del artículo.

Tabla 4: *Inputs* en la literatura de eficiencia educativa.

<i>Input</i>	Autores	Año
Número de estudiantes matriculados	Thieme, Prior y Tortosa-Ausina	2013
	Portela, Camanho y Keshvari	2013
	Crespo-Cebada, Pedraja-Chaparro, y Santín	2014
	Podinovski, Ismail, Bouzdine-Chameeva y Zhang	2014
	De Witte y López-Torres	2015
	García-Díaz, Castillo y Cabral	2020
	Farías y Carrasco	2020
	Cordero, Polo y Simancas	2022
	Umaña, Ramírez y Albarracín	2022
Cantidad de docentes que dictan clases a los estudiantes de educación media	Agasisti y Dal Bianco	2006
	Agasisti y Pérez-Esparrells	2010
	Thieme, Prior, Giménez y Tortosa-Ausina	2011
	De Witte y López-Torres	2015
	Lopez-Torres y Prior	2016

<i>Input</i>	<i>Autores</i>	<i>Año</i>
	Cordero, Prior y Simancas	2016
	Haelermans y Ruggiero	2017
	Tran y Villano	2018
	Agasisti, Egorov, Zinchenko y Leshukov	2020
	Cordero, Polo y Simancas	2022
	Erdogan, Dipaola y Donmez	2022
	Agasisti	2011
	Perelman y Santín	2011
Cantidad de equipos electrónicos (de escritorio, portátiles y tabletas disponibles y en uso)	Mancebón, Calero, Choi y Ximénez-de-Embún	2012
	Cordero, Santín y Simancas	2017
	Giménez, Thieme, Prior y Tortosa-Ausina	2019
	Brzezicki, Pietrzak y Cieciora	2022
	Erdogan, Dipaola y Donmez	2022
	Giménez, Prior y Thieme	2007
	Mancebón y Muñiz	2008
	Thieme, Prior y Tortosa-Ausina	2013
Factor de entorno (índice socioeconómico y cultural de los estudiantes)	Grosskopf, Hayes y Taylor	2014
	Agasisti	2014
	Giménez, Thieme, Prior y Tortosa-Ausina	2017
	Cordero, Santín y Simancas	2017
	Ferro y D'Elia	2020
	Moncayo-Martínez, Ramírez-Nafarrate y Hernández-Balderrama	2020

Elaboración propia.

2.5. Resultados y discusión

A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos luego del desarrollo metodológico del estudio. En primera instancia, se presentarán los resultados de manera que

se pueda evidenciar el contexto científico del planteamiento del modelo como herramienta para medir la eficiencia técnica de las instituciones educativas. En segunda instancia, se hace un análisis enfocado en el contexto educativo con base en los dos niveles de agregación que se plantearon inicialmente.

2.5.1. Resultados

En concordancia con el método StoNED, se identifica que, en promedio, la verificación de la asimetría está en la dirección correcta; dado que para una función de producción debería ser mayor que cero (Kuosmanen y Kortelainen, 2012). Sin embargo, es preciso aclarar que algunos de estos valores estimados corresponden a cero, lo cual indica que hay situaciones presentes de ineficiencia en ambos modelos presentados (Afsharian, 2017).

En aras de la integridad, teniendo en cuenta que la productividad se estimó utilizando el método StoNED haciendo uso del estimador de momentos aplicado a los valores calculados por la regresión de CNLS, el ajuste empírico del modelo se puede medir utilizando los parámetros convencionales (Kuosmanen, 2012). Para ello se presentan en la Tabla 5 los parámetros de varianza estimados de los términos de ineficiencia, los términos de ruido, los valores esperados de ineficiencia y los respectivos coeficientes de determinación.

De esta manera, haciendo uso de la información relacionada en la Tabla 5, se presenta el análisis empírico correspondiente a los modelos desarrollados; teniendo en cuenta que un modelo trata el escenario con los estudiantes que se presentaron a la prueba y el otro modelo

Tabla 5: Estimaciones de parámetros.

Escenario	Parámetro	Estimado
Alumnos presentes	μ (valor esperado del término de ineficiencia)	0,1601
	σ (varianza del término de error compuesto)	0,1591
	σ_u (varianza del término de ineficiencia)	0,0007
	σ_v (varianza del término de ruido)	0,1584
	Valor esperado de la eficiencia de producción	83,99%
	R^2 (coeficiente de determinación)	0,9631
Alumnos matriculados	μ (valor esperado del término de ineficiencia)	0,3740
	σ (varianza del término de error compuesto)	0,8421
	σ_u (varianza del término de ineficiencia)	0,0031
	σ_v (varianza del término de ruido)	0,8391
	Valor esperado de la eficiencia de producción	62,60%
	R^2 (coeficiente de determinación)	0,8773

Elaboración propia.

con todos los estudiantes matriculados en el colegio y aptos para presentar la prueba. Este análisis permite identificar la existencia de un posible sesgo de selección para el desarrollo de la prueba.

En promedio, el valor esperado del término de la ineficiencia es menor en el primer escenario; lo cual muestra que la eficiencia esperada para el primer escenario ha de ser mayor que para el segundo. Este resultado podría explicar por qué algunas instituciones hacen una selección previa de los estudiantes que envían a presentar las respectivas pruebas; ya que, de esta manera, podrían mostrar una mayor eficiencia de los procesos educativos que siguen en estas instituciones (Hofflinger y Von-Hippel, 2020).

De manera dual, nótese que, en promedio, el valor esperado de la eficiencia de producción es mayor en el primer escenario. Esto concuerda con la implicación en que el primer escenario pueda verse como una ventaja en términos de eficiencia y, por tanto, en términos evaluativos en relación con las instituciones; ya que resultados obtenidos en las pruebas pueden generar beneficios directos para estas.

De otro lado, la varianza del término del error compuesto está dada por la suma de las varianzas del término de ineficiencia y del término del ruido. En ambos escenarios el comportamiento del término del ruido es mayor y corresponde al 99,56% y al 99,64%, respectivamente, de la varianza total. Este resultado pone en evidencia la ventaja de los métodos paramétricos sobre los no paramétricos, los cuales al basarse en planteamientos estadísticos permiten tener en cuenta el ruido aleatorio generado, posiblemente, por errores de medición (Loteró y Castellanos, 2008) o en el caso particular de trabajo con datos de instituciones educativas, la equivocación en el reporte de datos a las fuentes utilizadas.

Sin embargo, es claro que el segundo escenario presenta mayor nivel de varianza de ambos términos (de ineficiencia y de ruido), lo cual implica un mayor nivel de varianza total; mostrando una menor volatilidad en el contexto del primer escenario (15,91%) que en el segundo (84,21%). Este resultado sustentaría la implicación del castigo realizado en los datos del modelo, al establecer un segundo escenario donde los puntajes totales no corresponden únicamente a los alumnos que presentaron la prueba.

Así, la volatilidad presentada podría implicar que, si las pruebas se realizaran con la totalidad de los estudiantes aptos para poderla presentar, los resultados obtenidos finalmente podrían

distar mucho de los resultados obtenidos con los pocos estudiantes que presentaron realmente la prueba.

Dado que el método StoNED se basa en la regresión de mínimos cuadrados, el ajuste empírico del modelo se puede analizar utilizando el método convencional del coeficiente de determinación (R^2) (Kuosmanen y Johnson, 2010). En este contexto, este coeficiente mide la proporción de la varianza explicada por el modelo, indicando, para este caso de estudio, que los modelos tienen una capacidad explicativa significativa, al explicar cerca del 96% en el primer escenario y más del 87% en el segundo escenario.

Adicionalmente, este resultado indica que en el primer escenario el modelo explica mejor el comportamiento de los datos con relación al segundo escenario; lo cual coincide y corrobora lo analizado en el valor esperado de la eficiencia y en la varianza en términos de eficiencia y ruido.

Por último, debido a que cada observación solo se relaciona una vez en los datos de sección transversal (año 2016), las clasificaciones de eficiencia que resultan al analizar los residuos son consistentes. En este sentido, las aplicaciones de la calificación de las instituciones por ineficiencia, en promedio, son a menudo las medidas de interés primario (en particular para la evaluación del año en mención). Estos resultados confirman la bondad que presenta la implementación del método StoNED en la medición de eficiencia y, de manera particular en la educación, dado el caso de estudio presentado en este documento.

Lo anterior, tiene que ver con que las suposiciones poco restrictivas del método StoNED implican un rango más amplio de aplicabilidad, lo que hace que StoNED sea más robusto tanto para la especificación incorrecta del modelo como para el ruido (Kuosmanen y Kuosmanen, 2009; Mekaroonreung y Johnson, 2012). Además, por construcción, la frontera StoNED maximiza el ajuste empírico bajo los axiomas postulados (Kuosmanen et al., 2015), de forma que ninguna otra función de productividad que satisface la disponibilidad libre, la convexidad, la heterocedasticidad y los rendimientos constantes pueden lograr una estadística R^2 más alta.

2.5.2. Discusión

Una vez validados los resultados obtenidos, presentados y analizados anteriormente, se plantea ahora un enfoque en relación con el primer nivel de agregación que se tuvo en cuenta en este estudio, la eficiencia con respecto a las instituciones educativas. Desde este punto de vista, se puede establecer que el 58,50% de estas instituciones educativas presentan coeficientes de eficiencia técnica de la productividad educativa. Es decir, un poco más de la mitad de las instituciones evaluadas parecen demostrar una mejor gestión de los recursos, en términos absolutos, al identificar que están obteniendo el máximo rendimiento de los recursos asignados a sus planteles educativos.

De estas instituciones educativas, tan solo el 2,80% corresponden a instituciones educativas de naturaleza oficial y el 3,25% corresponden a instituciones educativas que se encuentran en zona rural. Esto muestra que la mayoría de las instituciones que parecen presentar eficiencia se encuentran en la zona urbana y son de naturaleza no oficial. Este resultado es

bastante inquietante, cuando se tiene en cuenta que el 63,33% de las instituciones evaluadas en este estudio son de naturaleza oficial y que el 29,41% se encuentran catalogadas con ubicación en la zona rural de Colombia. Esto indica que puede no ser correspondiente la relación de las instituciones con los lineamientos dados desde las secretarías de educación gubernamentales de cada departamento; puesto que, si la mayoría de las instituciones de naturaleza oficial presentan ineficiencia, las directrices enviadas desde las secretarías de educación no están siendo las adecuadas o no están cumpliendo con el propósito trazado de eficiencia en las instituciones.

Lo anterior puede darse en principio por dos razones. La primera, es que las directrices dadas por medio de políticas educativas de forma general a todo un departamento pueden no tener en cuenta los contextos individuales de las instituciones educativas, tanto en relación con la diferencia de ser oficial y no oficial, como con la diferencia de la ubicación de la institución, en cuanto a ser urbana o rural; más aún, cuando estudios previos destacan la importancia de esta diferenciación sobre el desempeño de los estudiantes (MEN, 2014; OECD, 2016).

La segunda razón puede estar relacionada con las diferentes implementaciones que buscan dar beneficios a las instituciones educativas que muestren bondades en sus procesos de productividad educativa, aunque este resultado no sea necesariamente el correcto. Una forma de establecer dichos resultados, pueden ser los componentes de la medición de los índices del ICFES, como lo es la promoción de estudiantes, la graduación de estudiantes (o en el mismo sentido, la deserción) o las valoraciones de pruebas estandarizadas; las cuales, como es el caso de la última, podrían no garantizar los propósitos establecidos para las instituciones educativas y, por ende, para los estudiantes de estas.

Ahora, al hacer un análisis de los resultados obtenidos teniendo en cuenta el segundo nivel de agregación, es decir por departamentos, cabe resaltar que los departamentos que tienen mayor porcentaje de instituciones que parecen presentar eficiencia son los departamentos de Bogotá, Antioquia y Caldas. Así mismo, tal como se puede evidenciar en la Tabla 6, los departamentos que tienen menor porcentaje de instituciones que presentan eficiencia son los departamentos de San Andrés, Guaviare, Vaupés, Vichada y Guainía.

Estos resultados permiten evidenciar la centralización existente en cuanto a desarrollo y gestión de recursos, ya que los dos departamentos que muestran mayor eficiencia son los departamentos más sobresalientes de Colombia, en muchos aspectos (no solo en lo educativo); más aún cuando se compara con el tercer departamento de la tabla, en adelante.

Tabla 6: Porcentajes de instituciones por departamentos.

Departamento	Cantidad de Instituciones	Porcentaje de Instituciones	Instituciones eficientes por departamento	Instituciones eficientes a nivel nacional
Amazonas	17	0,18%	1,64%	0,05%
Antioquia	1012	10,99%	4,81%	8,02%
Arauca	51	0,55%	0,78%	0,07%
Atlántico	491	5,33%	4,56%	3,69%
Bogotá	1162	12,61%	4,65%	8,90%
Bolívar	413	4,48%	3,69%	2,51%
Boyacá	334	3,63%	5,03%	2,77%
Caldas	211	2,29%	13,14%	4,57%
Caquetá	95	1,03%	2,20%	0,34%
Casanare	80	0,87%	1,98%	0,26%
Cauca	403	4,37%	3,97%	2,63%
Cesar	197	2,14%	2,07%	0,67%

Departamento	Cantidad de Instituciones	Porcentaje de Instituciones	Instituciones eficientes por departamento	Instituciones eficientes a nivel nacional
Choco	96	1,04%	1,28%	0,20%
Córdoba	354	3,84%	2,23%	1,30%
Cundinamarca	710	7,71%	2,94%	3,44%
Guainía	7	0,08%	0,78%	0,01%
Guaviare	25	0,27%	0,78%	0,03%
Huila	233	2,53%	2,68%	1,03%
La Guajira	121	1,31%	1,66%	0,33%
Magdalena	275	2,99%	4,02%	1,82%
Meta	183	1,99%	2,62%	0,79%
Nariño	323	3,51%	3,27%	1,74%
Norte de Santander	264	2,87%	3,20%	1,39%
Putumayo	84	0,91%	1,63%	0,23%
Quindío	90	0,98%	3,08%	0,46%
Risaralda	156	1,69%	5,06%	1,30%
San Andrés	12	0,13%	1,98%	0,04%
Santander	490	5,32%	4,68%	3,78%
Sucre	191	2,07%	1,99%	0,63%
Tolima	308	3,34%	3,10%	1,57%
Valle	798	8,66%	2,98%	3,91%
Vaupés	14	0,15%	0,76%	0,02%
Vichada	12	0,13%	0,74%	0,01%

Elaboración propia.

Otro indicador de la centralización y margen imparcial que se evidencia (Tsai et al., 2017) es que, sin contar los dos departamentos que presentan mayor eficiencia, solo nueve departamentos (27,27%) están por encima del promedio del porcentaje de instituciones que presentan eficiencia por departamento (1,77%). Esto quiere decir que veintidós

departamentos se encuentran en el caso contrario (por debajo del promedio) con una diferencia entre ellos de 1,73 puntos porcentuales; mostrando que la diferencia en estos departamentos es compacta, en comparación con los departamentos que están por encima del promedio que se comportan de una manera mucho más dispersa, con una diferencia de 7,08 puntos porcentuales. Este resultado, de alguna manera, puede ser esperado; ya que en la mayoría de los países de Latinoamérica se encuentra una gran centralización en diversos aspectos, tales como economía, desarrollo, inversión y educación, entre otros (OECD, 2016; OECD/UNESCO, 2016).

En cuanto a la gestión de las secretarías departamentales se conoce que el direccionamiento de estas juega un papel importante en el desarrollo y, por tanto, son relevantes en la eficiencia de las instituciones educativas (MEN, 2014). Lo anterior, se puede evidenciar al estudiar los planes de desarrollo de gobierno de los departamentos de Bogotá (“Bogotá mejor para todos” 2016 – 2019¹²) y Antioquia (“Pensando en grande” 2016 – 2019¹³), los cuales presentan una correspondencia con los resultados obtenidos.

En estos planes trazan directrices en cuanto a garantías de apoyo a los procesos formativos de los estudiantes, cobertura y articulación en la calidad de los ciclos lectivos de las instituciones, garantías de fortalecimiento y capacitación de docentes y funcionarios, infraestructura, oportunidades de dotación y modernización para el aprendizaje desde

¹² Recuperado del repositorio de función pública distrital de Bogotá:
http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/01_planaccioncompinversion_x_entidad.pdf

¹³ Recuperado del repositorio de función pública de la Gobernación de Antioquia
<http://www.asambleadeantioquia.gov.co/2016/images/articles/planDesarrollo.pdf>

enfoques diferenciales de tecnología y afines, bienestar estudiantil y gestión educativa institucional, entre otros tópicos.

Lo anterior no quiere decir que departamentos como Vichada y Guainía no tengan planes estructurados desde sus secretarías de gobierno (“Construyamos Vichada” 2016 – 2019¹⁴ y “Vamos pa’lante Guainía” 2016 – 2019¹⁵), pero los resultados muestran que la ejecución de dichos planes o el desarrollo realizado no fue igual de relevante en ambos casos. Esto puede implicar una marcada diferencia en la gestión de las directrices y planes establecidos desde los estamentos de gobierno departamental; puesto que, aunque se tiene una estrategia trazada no se logra llevar a cabo o, por lo menos, no se logra obtener los resultados que se buscaban con ella.

El segundo aspecto es el hecho que los resultados arrojaron que la mayoría de las instituciones que presentaron eficiencia no fueron de naturaleza oficial. Esto lo que puede indicar es una connotación particular del desarrollo de las instituciones educativas independiente del direccionamiento de las secretarías; es decir, un comportamiento puntual de las instituciones no oficiales, gracias a la autonomía y libertad de cátedra de la cual pueden hacer uso. Sin embargo, este es un resultado importante, como un claro punto de partida para la continuación de la evaluación en el resto del periodo administrativo, logrando analizar una

¹⁴ Recuperado del repositorio de función pública de la Gobernación de Vichada https://vichada.micolombiadigital.gov.co/sites/vichada/content/files/000168/8369_pdd-vichada--final.pdf

¹⁵ Recuperado del repositorio de función pública de la Gobernación de Guainía https://guainia.micolombiadigital.gov.co/sites/guainia/content/files/000002/63_plandedesarrollovamospalante_guainia20162019ok.pdf

posible relación entre las directrices de las secretarías de educación con los resultados de la eficiencia en las instituciones educativas.

Finalmente, y de forma adicional a lo mencionado, se hace notar la importancia que se le debería dar a la posibilidad de que ciertas instituciones, en especial las de naturaleza no oficial, seleccionen estudiantes de manera no aleatoria para participar en evaluaciones o pruebas educativas, en lugar de enviar a todo su grupo de estudiantes. Este tipo de prácticas podría generar un sesgo no determinado, que no solo podría influir en los resultados de las pruebas, como evaluación institucional, sino afectar la validez de las conclusiones obtenidas a partir de ellas, en relación con la comparación de aspectos entre instituciones educativas de naturaleza oficial y no oficial.

2.6. Conclusiones, limitaciones y líneas futuras

2.6.1. Conclusiones

En primer lugar, se puede concluir que el método StoNED muestra un desempeño estable, consistente y con resultados satisfactorios en cuanto a la medición de eficiencia en instituciones educativas bajo las condiciones descritas en este documento. Este método permite que el ruido estocástico se modele de manera probabilística, la heterogeneidad de las instituciones y sus entornos operativos sean tenidos en cuenta y puedan aplicarse pruebas estadísticas convencionales y acordes con la literatura. Además, es destacar que este estimador de frontera cierra la brecha existente entre métodos paramétricos (como el SFA) y no paramétricos (como el DEA), perfilándose como un método más adecuado para la

medición de eficiencia; y, más aún, al tener en cuenta que este estimador es insesgado y estadísticamente consistente bajo supuestos más generales que los requeridos por otros métodos, presenta bondades que por lo general son vistos como dificultades al trabajar con otros métodos. De esta manera, con la utilización del método StoNED en este estudio contribuye a la apertura de un nuevo camino en las investigaciones de la medición de eficiencia técnica, especialmente en la línea de educación, puesto que permite entrar a comparar resultados obtenidos con otros métodos utilizados en la medición de eficiencia.

Se logra encontrar que hay una ligera ventaja en la cantidad de instituciones que presentan una eficiencia técnica con respecto a la cantidad de instituciones que no la presentan, en ambos escenarios. Sin embargo, según la teoría desarrollada en el marco de este estudio no es errado esperar un resultado semejante, a causa de que la forma en que se implementan las evaluaciones del sistema educativo de las instituciones está enfocada en la calidad y no en la eficiencia; por lo que se puede estar presentando una situación en la que las instituciones busquen cumplir, aunque dicho cumplimiento no sea el óptimo. Por tanto, al tener en cuenta que se realizó una medición orientada al *output*, se está identificando que la optimización de recursos por parte de las instituciones educativas no está siendo la adecuada, y aunque es posible que los recursos con los que cuentan estas instituciones pueden no ser los mejores, se está evidenciando que se podría hacer un mejor uso de estos.

En más detalle, se logra establecer que la mayoría de las instituciones educativas que no presentan eficiencia técnica son aquellas de naturaleza oficial. Este resultado permite hacer una conclusión con dos enfoques. Un primer enfoque es el sin sabor que deja el análisis de la gestión de las secretarías de educación de cada departamento del país, ya que es en las

instituciones de esta naturaleza que más se debería notar el impacto que generan las directrices dadas por dichas secretarías, al tener una implicación directa del ente gubernamental. El segundo enfoque implica que, dado que la mayoría de las instituciones que presentaron eficiencia eran de naturaleza no oficial, pueden existir factores de gestión interna responsables de la eficiencia que se presenta en las instituciones; lo cual complementa la anterior aseveración, dando lugar a que aquellas instituciones que presentan mayor eficiencia la presentan porque se están dando directrices de manera particular, ajenas a las dictadas por las secretarías departamentales.

De manera semejante, se logra establecer que la mayoría de las instituciones educativas que no presentan eficiencia técnica son aquellas ubicadas en zona rural. Este hallazgo es muy sensible y de mucha importancia, puesto que muestra la falta de gestión no solo de las directivas de las instituciones y de las secretarías de educación departamental sino también del MEN como máximo organismo de educación en Colombia y como ejecutor de las directrices, en el ámbito educativo, de los planes de desarrollo establecidos que buscan cobertura y fortalecimiento en las áreas rurales del país. Sin embargo, esto no exime la responsabilidad directa de las secretarías y directivas, puesto que el objetivo trazado es optimizar los recursos con los que se cuentan; que, haciendo hincapié, si bien no han de ser los mejores recursos posibles, por condiciones socioeconómicas del país en estas regiones, podría conseguirse un mejor resultado con ellos.

De otro lado, la decisión de algunas instituciones de solo presentar algunos estudiantes a la prueba, en lugar de presentar todos los estudiantes matriculados y aptos para hacer la prueba, puede verse como una ventaja que se busca tener en cuanto a la evaluación de la institución

a realizar. Esto se puede inferir, ya que al hacer el análisis bajo este escenario se puede estimar que los índices de eficiencia que arrojan las instituciones que tienen dicha práctica son mejores en comparación con las otras instituciones que no acostumbran este proceder. Este es un resultado de gran cuidado, más aún si se considera que en el planteamiento de la metodología que se siguió en este estudio se buscó penalizar esta práctica y, aun así, los resultados arrojaron una diferencia significativa en los índices de eficiencia entre ambos tipos de instituciones en este escenario. Lo cual da muestra de la prelación que llevarían estas instituciones en términos comparativos y, por tanto, una posible explicación del porqué se realice esta práctica; más si se piensa en la evaluación enfocada a la calidad y no en la eficiencia.

Por último, desde una perspectiva más general, con este estudio se logra abrir camino en la investigación sobre la posibilidad de analizar el impacto que pueden generar los direccionamientos dados por parte de las secretarías de educación y la relación de la gestión de estas con respecto a la eficiencia técnica que pueden presentar las instituciones educativas de los diferentes departamentos. Este documento constituye un primer paso en el desarrollo de políticas de educación establecidas con base en tres aspectos.

Uno, en cuanto a la forma de hacer la evaluación de las instituciones, para no solo plantear una medición que defina la calidad o eficacia de la institución, sino que se pueda complementar dicha evaluación con la medición de la eficiencia que presentan las instituciones; de cara a volverlas más competitivas y a lograr desarrollar un mejor uso de los recursos dados para la educación. Dos, en cuanto al cumplimiento de los objetivos del MEN en relación con las instituciones educativas; lo cual implicaría dar seguimiento a las

directrices dadas por el MEN para ser implementadas en las instituciones, logrando la cobertura de educación de naturaleza oficial en zonas rurales y llevando la educación a un nivel de competitividad adecuado, logando homogenizar la educación en Colombia. Tres, en cuanto a conservar aquellos factores de acción identificados como buenas prácticas, ya sea por parte de la gestión de las secretarías departamentales como por parte de las directivas, que permitieron lograr la eficiencia en ciertas instituciones; esto con el ánimo de seguir manteniendo la eficiencia obtenida en estas instituciones que lo han conseguido, así como de implementar dichas prácticas en las instituciones que continúen presentando una ineficiencia técnica, de cara a incrementar cada periodo la cantidad de instituciones que presente eficiencia en su gestión.

2.6.2. Limitaciones

Como en muchos trabajos empíricos, uno de los limitantes más fuertes que se tiene es la base de datos con que se trabaja. En este caso, aunque se trabajó con las bases de datos otorgadas por las autoridades nacionales en el tema (ICFES y DANE), puede llegar a darse que los datos registrados por parte de las instituciones o de las autoridades locales no haya sido la correcta o que haya habido algún tipo de error en su digitalización.

De otro lado, dado que este estudio realiza un análisis teniendo como variable, para la unidad de medida, a los estudiantes de las instituciones educativas por medio de los puntajes obtenidos por estos en las pruebas en mención, puede existir un sesgo dado por el comportamiento de ciertas instituciones al no presentar a todos sus estudiantes a la realización de la prueba con el fin de inflar las estimaciones; sin embargo, en este caso, esto

se puede evidenciar y contrarrestar al plantear los dos escenarios al momento de ejecutar el método.

2.6.3. Líneas futuras de investigación

A partir de este estudio, se deja abierta la posibilidad de dar continuidad a lo planteado en este documento, de trabajar el periodo de tiempo hasta el año 2019, de manera transversal. Con esto se busca formalizar un estudio donde se analice el cambio en la eficiencia a través del tiempo, desde 2016 a 2019, que sería completo el periodo de administración local. Así mismo, implementar un estudio donde se utilice una variable z adicional para controlar mejor la heterogeneidad de las instituciones y sus entornos operativos.

Adicionalmente, se puede establecer un estudio en el que se realice el análisis de la variación de la eficiencia, medida en el periodo completo, de manera longitudinal. Este desarrollo permitiría analizar la evolución técnica de la eficiencia durante todo el periodo, logrando indagar una posible relación entre la eficiencia encontrada y las pautas dadas por los entes gubernamentales.

Finalmente se podría incluir como parte de un estudio más completo, utilizando el mismo periodo de tiempo, en un análisis comparativo de la medición de la eficiencia haciendo uso de las diferentes metodologías expuestas, para robustecer el análisis teórico ya mencionado. Este tipo de estudios podría conllevar a esquematizar las metodologías y los posibles usos prácticos de cada una de ellas de los distintos estudios de caso.

3. Eficiencia productiva en las instituciones educativas de Colombia (2016 – 2019)

3.1. Resumen

En el contexto colombiano, de acuerdo con las directrices establecidas por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y las orientaciones del Plan Nacional de Desarrollo del Gobierno Nacional, se ha reconocido la importancia de llevar a cabo una evaluación del rendimiento académico en las instituciones educativas que ofrecen educación media. Esto se realiza con el propósito de analizar la relación con las políticas educativas establecidas por las autoridades gubernamentales locales, particularmente en términos de eficiencia. El enfoque de este estudio implica la evaluación del rendimiento académico en las instituciones educativas que ofrecen educación media entre los años 2016 y 2019. El propósito es determinar si el desarrollo establecido en las instituciones las conduce hacia la eficiencia del sistema educativo. Particularmente se consideran dos variables de entorno que representan el nivel socioeconómico, académico y cultural correspondientes a los estudiantes individualmente y a las instituciones globalmente, respectivamente. Se logra identificar que el comportamiento de la eficiencia en las instituciones educativas año a año presenta una variabilidad que, aunque es negativa de 2017 a 2018, muestra un crecimiento medido de los indicadores de eficiencia en el periodo completo, los cuales dan indicios de bondad en cuanto a la gestión de las instituciones educativas durante este periodo y hacia el futuro.

3.2. Introducción

La calidad, eficacia y eficiencia de la educación son temas de gran importancia a nivel global por todo el desarrollo económico y social que esta implica para un país, más aún en el mundo actual que mantiene en constante cambio. En Colombia, en agosto de 2014, se presentaron dos propuestas de gran impacto ante el MEN después de las marchas estudiantiles del año 2011.

Estas propuestas, una presentada por el Consejo Nacional de Educación Superior (CESU) llamada “Acuerdo por lo Superior 2034: propuesta de política pública para la excelencia de la educación superior en Colombia”, y otra del movimiento Todos por la Educación llamada “Gran Acuerdo Nacional por la Educación”, tenían como objetivo reorientar el futuro de la educación en el país (MEN, 2014; Buitrago-Suescún et al., 2017).

Con el pasar del tiempo y a causa de todo el desarrollo pedagógico, logístico, estructural, político y tecnológico que se viene dando en los últimos años, cada Gobierno Nacional y Departamental propone enfoques particulares con el ánimo de avanzar en este tema. Sin embargo, el importante papel que juegan las políticas gubernamentales en los procesos académicos de enseñanza – aprendizaje y de desarrollo de las instituciones educativas no han sido las mejores en la región latinoamericana (UNESCO, 2015; Castro et al., 2018; King, 2019).

Esto principalmente debido a razones tales como falta de direccionamiento de las propuestas de políticas educativas, poco seguimiento a la educación en cuanto a eficacia y eficiencia,

poca inversión en infraestructura, tecnología y capacitación del personal, entre otros (Perovic y Kosor, 2020).

Para el caso de Colombia, de acuerdo con la normativa del MEN (2016), la directriz del Plan Nacional de Desarrollo (PND) del Gobierno Nacional¹⁶, la evaluación del sistema educativo de Colombia (ICFES, 2016) y teniendo en cuenta que en Colombia los índices de calidad y eficiencia que se emplean, se centran más en medir la eficacia y no la eficiencia (Rodríguez-Murillo, 2014), se ha identificado la importancia de realizar una medición del desempeño académico en las instituciones educativas que trabajan con la educación media y analizar la relación con las políticas en educación, establecidas por los entes gubernamentales locales, en términos de la eficiencia (Arévalo et al., 2022).

Por tanto, una vez realizada la medición de la eficiencia de las instituciones educativas en Colombia para el periodo 2016 donde se marca el punto de partida de la administración de los gobiernos locales, surge la inquietud: ¿cómo fue el comportamiento de la eficiencia, año a año, de estas instituciones educativas durante el periodo administrativo de los gobiernos locales? El planteamiento de este interrogante natural implica directamente que se deba tomar en consideración las situaciones de entorno de las instituciones, ya que los factores externos pueden afectar el desempeño de las instituciones en una u otra dirección (Bádin et al., 2014; 2019; Agasisti et al., 2023).

¹⁶ El Plan Nacional de Desarrollo es la base de las políticas gubernamentales del presidente de Colombia, sancionado por Ley (Resumen del PND 2018 – 2022 <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>). En este caso este PND corresponde al Gobierno del periodo de estudio.

En este contexto y dando continuidad a la investigación, el análisis de este estudio se enfoca en el proceso realizado durante el periodo de vigencia de los gobiernos locales, lo cual corresponde a la medición del desempeño académico en las instituciones educativas que trabajan con la educación media entre los años 2016 y 2019. Este desarrollo se realizará teniendo en cuenta factores de entorno relevantes para el estudio (Palomares et al., 2006; Giménez et al., 2017; Cho et al., 2022), como lo son los niveles socioeconómicos de los estudiantes y de la institución educativa, por separado. De esta manera se logrará dar un alcance diferenciador de la situación actual a analizar, año a año, en las mediciones del desempeño de las instituciones educativas. El estudio se llevará cabo con base en dos niveles de agregación, a nivel de la institución educativa y a nivel del departamento.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizarán los resultados de las pruebas SABER 11 comprendidas entre los años 2016 a 2019, ya que este es el periodo de vigencia de los gobiernos locales. Las unidades de decisión (DMU) serán las instituciones educativas, utilizando los puntajes obtenidos por los estudiantes en las pruebas SABER 11. Es preciso aclarar que este tipo de pruebas han sido utilizadas por diversos estudios (Ayala et al., 2011; Sánchez, 2011; Castro et al., 2018; Umaña et al., 2022) incluidos estudios de eficiencia (Giménez et al., 2007; Cárcamo y Mola, 2012; OCDE, 2016; Castro et al., 2017; Viana et al., 2020).

El análisis de eficiencia del sistema educativo que se plantea en este documento, como la comparación entre los valores observados y los óptimos (*inputs* y *outputs*), se realizará orientada al *output*; es decir, la comparación entre el *output* máximo alcanzable y el realmente alcanzado, para un cierto nivel dado de *inputs*. En este orden de ideas, el *output* establecido

será el puntaje global de los estudiantes (Sagarra, et al., 2017; Giménez et al., 2019) y los *inputs* dados serán la cantidad de docentes, cantidad de alumnos matriculados y equipos electrónicos (Portela et al., 2013; Agasisti, 2014; Tsai et al., 2017). Adicionalmente, se consideran dos variables de entorno que representan el nivel socioeconómico, académico y cultural de los estudiantes correspondientes a las instituciones, como de las instituciones puntualmente (Aparicio et al., 2017; García-Díaz et al., 2020; Cordero et al., 2022; Erdogan et al., 2022).

Las metodologías más utilizadas en la literatura para analizar situaciones y contextos como los planteados en este (Peretto, 2016; Caiazza et al., 2016; Greco et al., 2018), son los modelos de frontera no paramétrica, fundamentado en el Análisis Envolvente de Datos (DEA) (Greene, 2008; Oh, 2010; López-Torres y Prior, 2016; Giménez et al., 2019) o los modelos de frontera paramétrica fundamentados en el Análisis de Frontera Estocástica (SFA) (Manski, 2000; Rodriguez-Murillo, 2014; Melo-Becerra et al., 2017). Sin embargo, en este estudio se plantea continuar con la metodología innovadora (Andor y Hesse, 2014;), adoptada en Finlandia desde 2012 (Kuusmanen, 2012) y conocida como Análisis Envolvente de Datos Estocástico no Paramétrico (StoNED) introducida por Kuusmanen y Kortelainen (2012).

Este modelo de frontera semiparamétrica, combina la frontera no paramétrica de tipo DEA, satisface la monotonicidad y la concavidad, con el término de error compuesto homocedástico estocástico de estilo SFA; propone un nuevo método de dos etapas. La primera etapa del método StoNED aplica mínimos cuadrados convexos no paramétricos (CNLS) para estimar la forma de la frontera sin suposiciones sobre su forma funcional o suavidad. En la segunda etapa las expectativas condicionales de ineficiencia se estiman con

base en los residuos de CNLS, utilizando el método de los momentos o técnicas de cuasi verosimilitud (Kuosmanen y Kortelainen, 2012).

No obstante, en este modelo se debe tener en cuenta el contexto planteado para este estudio. Este contexto implica la utilización de variables de entorno por las condiciones particulares que pueden tener los estudiantes de las instituciones en los diferentes departamentos del país, sumado a la variabilidad que implica el análisis año a año. De esta manera, incorporando las variables de entorno en la medición de la eficiencia en las instituciones educativas, se plantea hacer uso del método conocido como Análisis Envolvente de Datos Estocástico no Paramétrico de variable Z (StoNEZD) (Johnson y Kuosmanen, 2011).

Adicionalmente se realizará proceso de remuestreo para generar una gran cantidad de muestras aleatorias, con el ánimo de obtener una aproximación más estable computacionalmente. Este método es el orden m , el cual permite un desarrollo del método StoNEZD con m observaciones extraídas al azar de la muestra total, repitiendo este procedimiento B veces; resultando múltiples medidas tomando al final la media simple, haciendo que el modelo sea más robusto (Daraio y Simar, 2005; 2007; Cordero et al., 2016).

Esta metodología StoNEZD, establece dos situaciones a saber: (i) la bondad del método StoNED que es una alternativa prometedora, especialmente en escenarios “ruidosos” (Andor y Hesse, 2014, Kuosmanen et al., 2013; Nguyen et al., 2020), y (ii) como método condicional no paramétrico con variables de entorno, es estadísticamente consistente bajo suposiciones menos restrictivas que las requeridas por el estimador de una y dos etapas (Johnson y Kuosmanen, 2012; Cordero et al., 2016).

La investigación presentada tiene una contribución significativa a la línea actual de investigación, tanto metodológica como aplicada. Principalmente porque se utilizan métodos novedosos y recientemente desarrollados, como el enfoque StoNEZD y el orden m , para evaluar la eficiencia de las instituciones educativas tomando en cuenta variables de entorno. Aunque estos métodos han sido utilizados en otras áreas de investigación, para nuestro conocimiento, este es el primer estudio empírico que utiliza estos métodos para evaluar el desempeño de instituciones educativas.

De otro lado, se pretende aportar en una forma más robusta de establecer la eficiencia productiva, implementándola en las instituciones educativas en Colombia en el periodo comprendido entre 2016 y 2019, analizando la variación año a año. De esta manera se busca explorar, empíricamente, la implicación de las variables de entorno en la medición de eficiencia de las instituciones educativas en Colombia. De esta forma se proporciona una herramienta destinada a cumplir con el objetivo de medir la eficiencia y evaluar las instituciones educativas.

El presente capítulo está organizado en cinco secciones. Luego de la presente sección de introducción, se presenta una revisión de la literatura que fundamenta el estudio realizado. Acto seguido, se presenta la metodología a implementar, aclarando los datos utilizados en el proceso y las variables establecidas. Luego se muestran los principales resultados del estudio con su respectiva discusión. Posteriormente, se detallan las conclusiones del estudio, indicando las limitaciones y futuras investigaciones al respecto.

3.3. Revisión de literatura

Esta revisión de literatura se enfocará en tres aspectos principales. En primer lugar, una síntesis de la línea de investigación relacionada con la eficiencia en la educación (Worthington, 2001). En segundo lugar, un análisis de la utilización de las variables de entorno en el ámbito de la educación. En tercer y último lugar, una presentación de los estudios relacionados con el método StoNEZD (Johnson y Kuosmanen, 2011).

3.3.1. Eficiencia educativa

En lo que se refiere a la teoría de producción, Hanushek (1979) ha planteado ampliamente cómo esta teoría se relaciona con el rendimiento educativo, poniendo énfasis tanto en el rendimiento individual del estudiante como en el rendimiento grupal de la institución (Hanushek, 1997; 2002; Hanushek y Luque, 2003). En estos desarrollos se analizan las funciones de producción educativa y se examina la relación entre las diferentes entradas del proceso educativo y los resultados obtenidos, ya sea a nivel individual o institucional.

Desde el informe Coleman (Coleman et al., 1982), el rendimiento de las escuelas privadas y públicas se ha convertido en un tema de investigación importante en una variedad de contextos educativos (Rouse y Barrow, 2009). En general, se supone que las escuelas privadas tienen un mejor desempeño que las escuelas públicas debido a que la competencia del mercado las obliga a utilizar los recursos de manera más eficiente (Hoxby, 2003). Sin embargo, hay estudios empíricos que comparan escuelas públicas y privadas donde se hace

importante relacionar las situaciones socioeconómicas de los estudiantes e instituciones (Burgess y Briggs, 2010; Morales, 2016).

Desde entonces, se ha trabajado en la investigación de la educación desde dos perspectivas principales (Thieme et al., 2011). La primera perspectiva se enfoca en las implicaciones directas o indirectas de la academia en la educación y la psicología (Teddlie y Reynolds, 2001). La segunda perspectiva se centra en la economía pública, haciendo hincapié en la eficiencia técnica y analizando las unidades de decisión evaluadas (como las instituciones educativas) en relación con diferentes factores y recursos (*inputs*) y sus resultados (*outputs*), utilizando a menudo modelos de frontera (Worthington, 2001).

Para abordar estas limitaciones, otros autores realizaron un estudio en el que evaluaron el desempeño de las Instituciones de Educación Superior de Colombia, mediante la estimación de una frontera de producción. De esta manera, pudieron evaluar la eficiencia relativa y sus determinantes, incluyendo los factores externos que pueden influir en la calidad de la educación en Colombia (Melo-Becerra et al., 2014; Arbona et al., 2022a, 2022b).

En este sentido, se ha trabajado en los últimos años el análisis de eficiencia teniendo en cuenta una serie de variables de entorno o ambientales, que marcan una discrepancia entre unas y otras unidades de medida (García et al., 2020). Es así como se puede explicar que, en el ámbito educativo, no se obtengan resultados similares entre las unidades de medición tomadas, por semejantes que sean estas. Las condiciones particulares, dadas por circunstancias adversas que enfrentan en su entorno de aprendizaje, tienen importantes implicaciones en la medición de la eficiencia (Johnson y Ruggiero, 2014).

Algunas de estas condiciones particulares que desencadenan las diferencias en los resultados obtenidos, están dadas por la variedad de las dotaciones de recursos en los sistemas educativos o el contexto financiero diverso en el que las instituciones operan (Cordero et al., 2022). Otra circunstancia para tener en cuenta es el comportamiento de los niveles socioeconómicos tanto de los estudiantes, de manera particular, como de las instituciones en general (Erdogan et al., 2022), las cuales son variables año a año.

Por último, otra situación que no ha sido muy tenida en cuenta es el aspecto académico y cultural heredado a los estudiantes de una institución por parte de sus padres o maestros, haciendo que tanto el hogar, como la institución y los entornos regionales puedan jugar un papel importante en el desempeño educativo de los estudiantes e implícitamente en las instituciones (Aparicio et al., 2017).

3.3.2. Variables de entorno en la educación

Como se ha mencionado previamente, existe la necesidad de hacer uso de las variables de entorno, por la situación que se ha establecido para este estudio. Pero sumado a ello, se tiene la importancia que acarrea la medición de la eficiencia en ámbitos educativos. No dar importancia al entorno en el que se desarrollan los procesos de las instituciones educativas, puede llevar a que las mediciones de eficiencia carezcan de significado (De Witte y Kortelainen, 2013). Por ejemplo, al tratar de evaluar la eficiencia de un sistema educativo, no sería ni justo ni válido comparar instituciones ubicadas en áreas donde la diferencia socioeconómica sea muy marcada. Si las observaciones evaluadas se ven influenciadas por factores exógenos, el análisis del rendimiento debe tener en cuenta esta diversidad.

Es así como, con el fin de mejorar la medición del rendimiento de las instituciones en diferentes contextos, se implementan estrategias de gestión que aumenten la eficiencia técnica de las mismas. Un factor relevante, es entender las diferencias en los niveles de eficiencia logrados por las unidades de decisión, quienes se ven afectadas por diversas condiciones externas y ambientales (Bădin et al., 2014). Análisis como estos, son los que han conllevado a que los modelos de frontera condicional no paramétricos utilicen variables exógenas o ambientales que pueden influir en el proceso de producción, impactando tanto en las variables de *input* y de *outputs*, como en la medición de la eficiencia (Banker et al., 2019).

Inicialmente autores como Cazals et al. (2002) y luego ampliado por Daraio y Simar (2005; 2007), han desarrollado procesos que se basan en la medición de eficiencia con un enfoque dado por condiciones heterogéneas. Este enfoque ha ganado popularidad por su forma directa y natural de establecer medidas de eficiencia condicionales, con el objetivo de abordar la heterogeneidad en las evaluaciones de desempeño (Bădin et al., 2019).

Procesos donde se trabaja con variables de entorno suelen presentar la ventaja de que no sufren de suposiciones de especificación paramétrica y limitaciones de los estimadores no paramétricos como sucede con otros estimadores, como el DEA y el SFA. Más aún, cuando los modelos condicionales son robustos e implican un método de re muestreo, los estimadores no se ven afectados por la sensibilidad atípica y el obstáculo de la dimensionalidad (Gearhart III y Michieka, 2018). Además, se han llevado a cabo investigaciones sobre la consistencia y las propiedades asintóticas de diversos estimadores de eficiencia condicionales (Cazals et al., 2002; Jeong et al., 2010). Debido a sus múltiples méritos, el enfoque de eficiencia

condicional se está utilizando cada vez más para abordar preguntas de investigación (De Witte y Saal, 2010; De Witte y Marques, 2011).

En cuanto al sector de la educación, se han realizado estudios empleando variables de entorno, por medio de técnicas que se relacionan con metodologías de dos etapas como el DEA, el SFA y el FDH. Un ejemplo de ello es el estudio de Haelermans y De Witte (2012), quienes examinaron el impacto de las innovaciones en instituciones educativas en el desempeño académico. Este estudio lo realizaron, utilizando variables de entorno con respecto al rendimiento académico de los estudiantes, a la implementación instrumental de los docentes y a la restricción presupuestaria de las instituciones.

Daraio y otros (2015) abordan la paradoja de los rankings universitarios, mostrando que, mientras que los expertos y científicos sociales los critican por cuestiones metodológicas, cada vez reciben más atención en los medios y se referencian en la toma de decisiones políticas. Por esto, proponen la creación de una nueva generación de rankings que incluyan información contextual más variada y utilicen técnicas de clasificación innovadoras. Para ello establecen un desarrollo probabilístico, teniendo en cuenta cuatro principales enfoques: mono dimensionalidad, solidez estadística, dependencia del tamaño de la universidad y la combinación de materias.

Haciendo uso de enfoques contextuales, para evaluar la eficacia educativa de los estudiantes españoles que participaron en PISA 2009, Cordero y otros (2016) lograron descomponer su ineficiencia general en diferentes componentes, centrándose en particular en las diferencias del entorno entre escuelas públicas y privadas subvencionadas. Asimismo, con el fin de

comparar y desglosar la eficiencia técnica de las escuelas primarias en diferentes contextos educativos, Cordero y otros (2017) adaptaron el marco de metafronteras, utilizando una ampliación del enfoque DEA no paramétrico con variables condicionales para evaluar la influencia de variables ambientales de la escuela, que representan los valores culturales de cada país.

De otro lado, Lopez-Torres y otros (2017) presentan evidencia sobre cómo la interacción estratégica entre las escuelas públicas afecta a la demanda de plazas escolares. Por medio de variables de entorno y utilizando un método de estimación en dos etapas, seguido de un marco econométrico espacial, logran identificar los factores que influyen en la demanda de la escuela cuando los padres toman en cuenta la competencia entre las escuelas.

Recientemente, Agasisti y otros, analizan cómo las características del territorio y las instituciones circundantes pueden influir en la eficiencia de las universidades. Al considerar los factores contextuales, como las características socioeconómicas y culturales de la región y las instituciones educativas vecinas, obtienen una comprensión más completa de los determinantes de la eficiencia universitaria. Es así como, al abordar las condiciones específicas de cada universidad y su contexto, se pueden implementar políticas más efectivas y adaptadas a las necesidades locales, lo que a su vez puede conducir a una mayor calidad y eficiencia en el sistema de educación superior (Arbona et al., 2022b; Agasisti et al., 2023).

Los estudios presentados anteriormente, han aplicado múltiples técnicas haciendo uso de estimadores de frontera, paramétricos y no paramétricos, relacionados con técnicas de manejo de variables de entorno. Sin embargo, en el sector educación, no se ha desarrollado

un estudio que involucre un estimador semiparamétrico (Johnson y Kuosmanen, 2011; 2012) con el método de eficiencia condicional no paramétrico (Daraio y Simar, 2005; 2007). Este planteamiento establece un escenario de estudio no abordado sobre la eficiencia en educación, particularmente en cuanto a la medición del desempeño de las instituciones educativas en Colombia.

3.3.3. Estimador semiparamétrico StoNEZD

Johnson y Kuosmanen (2011) argumentan que el uso del método StoNED para construir un estimador que combina la frontera axiomática no paramétrica estilo DEA y el tratamiento probabilístico estilo SFA para la ineficiencia y el ruido, presenta varias ventajas en la estimación de los efectos de las variables de entorno. Este estimador es estadísticamente consistente bajo supuestos más generales que los requeridos por otros métodos. Incluso permanece constante cuando el término de ruido es ilimitado y las variables de entorno están correlacionadas con las entradas. Además, es asintóticamente eficiente para las variables de entorno, distribuido de forma normal y converge a una tasa paramétrica estándar (Andor y Hesse, 2014).

Desde su formalización (Kuosmanen y Kortelainen, 2012), y especialmente en los últimos años, este método ha sido implementado de diversos estudios enfocados al análisis de eficiencia, en diversos sectores. La Tabla 7, presenta la relación de los estudios identificados en la literatura correspondiente a la utilización del método StoNED en diversos sectores.

Tabla 7: Estudios de eficiencia utilizando el modelo StoNED.

Sector	Autores	Año
Academia	Louca y Demosthenous	2015
	Arévalo, Giménez y Prior	2022
Agrícola	Shen y Lin	2017
	Chaovanapoonphol y Somyana	2018
Empresa	Liu y Kweh	2022
	Luo, Liu, Chen y Zeng	2022
	Liu, Li, Ye y Qin	2023
Salud	Lee y Wang	2019
	Cordero, García-García, Lau-Cortés y Polo	2023
Finanzas	Eskelinen y Kuosmanen	2013
	Nguyen, Prior y Van Hemmen	2020
	Kweh, Ting, Lu y Le	2022
	Kuosmanen	2012
Servicios públicos	Kuosmanen, Saastamoinen y Sipiläinen	2013
	Cheng, Bjørndal y Bjørnda	2014
	Dai y Kuosmanen	2014
	Li, Kopsakangas-Savolainen, Xiao, Tian, Yang y Wang	2016
	Molinos-Senante y Maziotis	2021
	Molinos-Senante y Maziotis	2022

Elaboración propia.

Al incorporar variables de entorno para medir la eficiencia, el estimador StoNED busca evitar el principal problema del enfoque de estimadores de dos etapas, que es ignorar las correlaciones entre las entradas y las variables de entorno (Johnson y Kuosmanen, 2011). De esta manera, nace un estimador semiparamétrico de una sola etapa llamado StoNEZD.

Este método combina la frontera no paramétrica de estilo DEA con un modelo de regresión de variables de entorno (Johnson y Kuosmanen, 2012). El StoNEZD es estadísticamente consistente en cuanto a las variables de entorno bajo supuestos menos restrictivos que el estimador DEA de dos etapas. Además, este estimador es imparcial, asintóticamente eficiente, asintóticamente distribuido normalmente y converge a una tasa paramétrica estándar (Kuosmanen et al., 2013).

La utilización de este método en trabajos empíricos se inicia con Johnson y Kuosmanen (2011), cuando recrean el proceso de generación de datos de Banker y Natarajan (2008). Los resultados muestran que el estimador StoNEZD produce estimaciones significativamente más precisas, que el DEA de dos etapas, en la mayoría de los escenarios, independientemente de la presencia de ruido. Además, las simulaciones de Monte Carlo demostraron que el método de una etapa es efectivo para estimar la frontera y las variables de entorno juntas, lo que abrió el camino en esta línea, al sugerir su uso en la práctica.

Posteriormente, Nieswand y Seifert (2018), emplean simulaciones de Monte Carlo para comparar el desempeño de los tres estimadores: el DEA condicional no paramétrico, la clase latente paramétrica SFA y el StoNEZD semiparamétrico. El estudio lo enfocaron en la habilidad para considerar los factores ambientales al estimar funciones y eficiencias de producción. Los resultados de las simulaciones proporcionan información sobre las propiedades de los tres estimadores en muestras finitas y señalan las fortalezas y debilidades específicas de cada uno. En cuanto al StoNEZD, muestra que es un estimador muy competitivo en los diversos escenarios, comportándose adecuadamente con variables ambientales, en situaciones contextuales, y bajo la presencia de ruidos.

Finalmente, en el año 2020 se presentan dos estudios que hacen uso de este estimador y que ratifican su estabilidad de los resultados obtenidos. Uno de ellos se enfoca en la eficiencia de la asistencia técnica, específicamente en la relación entre los costos y la aplicación de estos en la administración tributaria de países de la OCDE. Hicieron uso del estimador StoNEZD y el orden condicional, para evaluar el desempeño de las agencias fiscales en todos los países (Nguyen et al., 2020). El otro estudio buscaba evaluar la efectividad de los estimadores desarrollados más recientemente: el enfoque DEA condicional no paramétrico y el enfoque StoNEZD.

Para hacerlo, llevaron a cabo un experimento Monte Carlo que empleaba tres procesos de generación de datos distintos para examinar el rendimiento de cada modelo bajo diferentes circunstancias. Los resultados indican que el enfoque de StoNEZD supera al DEA condicional en todos los escenarios evaluados. Las discrepancias observadas en los coeficientes de correlación obtenidos se explicarían por la forma en que se define la función de producción, en presencia de ruido como de ineficiencia. En tales casos, el enfoque StoNEZD mostró una ventaja sobre los demás ya que incorpora una componente estocástica en su formulación matemática (Cordero et al., 2023).

Por último, aunque el modelo StoNEZD ofrece una buena interpretación y es estable en el comportamiento de sus resultados, es claro que se necesitan algoritmos computacionales eficientes para resolver la formulación CNLS, que requiere el modelo, para poder aplicarse a problemas prácticos a gran escala (Vidoli y Ferrara, 2015). Este planteamiento presenta una desventaja considerable al tratar de realizar estudios que impliquen una alta cantidad de datos, tal como se puede dar en análisis de eficiencia de contextos educativos.

Por tal motivo, en este documento se plantea la utilización del modelo StoNED, haciendo previamente un tratamiento de orden m que permita simplificar la dificultad computacional que se genera por la cantidad de cálculos a realizar. Este proceso hace que el modelo sea más robusto, especialmente si se incorporan variables de entorno en el modelo, logrando finalizar el proceso con un orden m . Es preciso aclarar que, hasta donde tenemos conocimiento, no existe un tratamiento similar al que se desea implementar en este estudio, particularmente en cuanto a instituciones educativas se refiere.

3.4. Método y datos

Esta sección se compone de tres partes. En las dos primeras partes se presentará en qué consiste la metodología desarrollada a lo largo de este estudio, la cual inicia mostrando el desarrollo del modelo conocido como Análisis Envolvente de Datos Estocástico no Paramétrico de variable Z (StoNEZD) introducida por Johnson y Kuosmanen (2011) y luego se presenta una implementación del modelo del orden m (Daraio y Simar, 2005), como enfoque de robustez del modelo inicial. En la tercera parte, se describen los datos y fuentes que se utilizan en el modelo, identificando las respectivas variables utilizadas, como *outputs*, *inputs* y variables de entorno.

3.4.1. Modelo StoNEZD

A partir del estimador StoNED (Análisis envolvente de datos estocástico semiparamétrico) desarrollado por Kuosmanen y Kortelainen (2012), Johnson y Kuosmanen (2011; 2012) implementaron el modelo denominado StoNEZD (Análisis envolvente de datos estocástico

semiparamétrico de variable Z). Este nuevo estimador semiparamétrico combina la frontera de producción axiomática al estilo DEA con la regresión paramétrica de las variables de entorno. Así, este se basa en la interpretación no paramétrica de los mínimos cuadrados del DEA desarrollada en Kuosmanen y Johnson (2010) y el método StoNED de Kuosmanen y Kortelainen (2011) que combina la frontera axiomática y no paramétrica de estilo DEA con el tratamiento probabilístico de la ineficiencia y el ruido al estilo SFA.

De esta manera, este estimador logra relajar algunas de las suposiciones restrictivas del modelo Banker y Natarajan (2008). Además, está demostrado que este estimador presenta coherencia en su desarrollo, aun cuando el término de ruido no tiene límites y así exista una correlación entre las entradas y las variables de entorno. Adicionalmente, es estadísticamente consistente, asintóticamente eficiente, distribuido normalmente y converge a una tasa paramétrica estándar (Johnson y Kuosmanen, 2011).

Con base en lo mencionado anteriormente, se considera un modelo de producción de entrada múltiple ($f(x_i)$), de salida única (y), relacionando el ruido aleatorio (v_i), eficiencia ($u_i > 0$) y el efecto de los factores exógenos (z_i). Este modelo se puede definir formalmente de la siguiente manera:

$$y_i = f(x_i) e^{\varepsilon_i}, \quad \text{donde} \quad \varepsilon_i = \delta z_i + v_i - u_i, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

De esta manera, se puede entender que $\delta z_i - u_i$ se refiere a la eficiencia global de una unidad, δz_i representa la eficiencia técnica que puede explicarse por variables de entorno comunes a todas las unidades, mientras que u_i mide la eficiencia de gestión. Se presupone que las

variables de entorno solo influyen en la distribución de las puntuaciones de eficiencia y no en la ubicación de la frontera.

El método StoNEZD calcula la eficiencia en dos etapas. En la primera etapa, se utiliza el método de mínimos cuadrados convexos no paramétricos para obtener la forma de la frontera. Este método no asume una forma funcional específica, sino que se basa en restricciones como la monotonía y la convexidad (Afsharian, 2017). El estimador se puede resolver como la solución óptima para el siguiente problema de programación cuadrática:

(4)

$$\text{Min}_{\alpha, \beta, \delta, \varepsilon} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i^{CNLS})^2$$

sujeto a:

(5)

$$y_i = \alpha_i + \beta_i' x_i + \delta' z_i + \varepsilon_i^{CNLS}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

$$\alpha_i + \beta_i' x_i \leq \alpha_h + \beta_h' x_i, \quad h, i = 1, 2, \dots, n.$$

$$\beta_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

donde ε_i^{CNLS} se refiere a los errores residuales de la regresión, mientras que los coeficientes estimados α_i y β_i describen los hiperplanos tangentes a la tecnología de producción $f(x_i)$ en el punto x_i . Para garantizar la convexidad, se aplican restricciones de desigualdad utilizando las desigualdades de Afriat (Afriat, 1972) y la restricción de no negatividad.

Según lo señalado por Johnson y Kuosmanen (2011), en este método las variables exógenas se incluyen en el término de error compuesto, lo que sugiere que afecta a la eficiencia técnica pero no a la frontera. Luego de obtener ε_i^{CNLS} , la siguiente etapa es separar la ineficiencia del

ruido para mantener la suposición de que la ineficiencia y el ruido son distribuidos normalmente. Para lograr esto, se utiliza el Método de Momentos (Aigner et al., 1977), donde el segundo y tercer momento se pueden estimar en función de la distribución de los residuos, de la siguiente forma:

$$\widehat{M}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (\widehat{\varepsilon}_{iCNLS})}{n-1} = 0, \quad (6)$$

$$\widehat{M}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\widehat{\varepsilon}_{iCNLS})^2}{n-1} ; \quad M_2 = \left(\frac{\pi-2}{\pi}\right) \sigma_u^2 + \sigma_v^2, \quad (7)$$

$$\widehat{M}_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (\widehat{\varepsilon}_{iCNLS})^3}{n-1} ; \quad M_3 = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(1 - \frac{4}{\pi}\right) \sigma_u^3, \quad (8)$$

por lo que las estimaciones para σ_u y σ_v son: (9)

$$\widehat{\sigma}_u = \sqrt[3]{\frac{\widehat{M}_3}{\sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(1 - \frac{4}{\pi}\right)}}, \quad \widehat{\sigma}_v = \sqrt{\widehat{M}_2 - \left(\frac{\pi-2}{\pi}\right) \sigma_u^2}.$$

El estimador StoNEZD posee diversas propiedades atractivas en este tipo de situaciones, ya que se ha demostrado que es imparcial, asintóticamente eficiente, normalmente distribuido y converge a la tasa paramétrica estándar \sqrt{n} , como se detalla en los estudios de Kuosmanen y otros (2015; 2017) y Agasisti y otros (2022). Adicionalmente, es consistente bajo pocos supuestos, lo que permite aplicar técnicas de análisis de regresión estándar, como pruebas t , R^2 o intervalos de confianza, para la inferencia.

3.4.2. Modelo orden m

Como se identificó previamente, aunque el modelo StoNEZD tiene un comportamiento satisfactorio y estable en sus resultados, es evidente que se requieren densos cálculos computacionales para solucionar la formulación necesaria para aplicar el modelo a problemas que contienen un grupo de datos bastante amplio (Vidoli y Ferrara, 2015). Particularmente, esta limitación presenta una desventaja en investigaciones referentes al análisis de eficiencia de contextos educativos, por la cantidad de datos que se tienen para las unidades de medida.

Para atacar esta dificultad que se presenta, se sigue la idea trabajada por Simar y Wilson (2000) quienes abordaron el estudio de la robustez de los métodos no paramétricos, seguido por Cazals y otros (2002) quienes introdujeron la estimación robusta de orden m .

Este enfoque, de orden m , busca construir una frontera parcial que envuelva m observaciones ($m > 1$) extraídas aleatoriamente (θ_{m_i}), con reposición, de la base de datos original. Este procedimiento se repite B veces obteniendo como resultado una serie de medidas ($\theta_{m_i1}, \theta_{m_i2}, \theta_{m_i3}, \dots, \theta_{m_iB}$), a partir de las cuales la medida final de eficiencia de orden m se calcula como la media simple de estos resultados ($\hat{\theta}_{m_i}$).

Puntualmente, la medición de eficiencia de orden m se deriva de la relación:

$$\theta_m = E \left[\text{Min}_{i=1, \dots, m} \left\{ \text{Max}_{j=1, \dots, k} \frac{x_{ij}}{x_j} \right\} \mid y_i \geq y \right], \quad (10)$$

donde k es la cantidad de variables aleatorias m -dimensionales (x_1, x_2, \dots, x_m) que se extraen al azar, repetidamente, de la distribución condicional de X dado que $y_i \geq y$. Este estimador

permite comparar la eficiencia de una observación con la de m unidades potenciales que tienen una producción mayor o igual a y .

Dado que no incluye todas las observaciones, al momento de ejecutar el modelo, permite realizar los cálculos computacionales sin problema alguno, aparte de que resulta menos sensible a los valores atípicos, a los valores extremos o al ruido de los datos (Cordero et al., 2016).

3.4.3. Datos y variables

En Colombia, previo a salir de sus estudios de secundaria (educación media del colegio), los estudiantes presentan la prueba Saber 11, la cual es un requisito indispensable para ingresar a los programas de educación superior en pregrado de conformidad con la Ley 30 de 1992 y la Ley 1324 de 2009. Sin embargo, es preciso aclarar que conforme con las disposiciones legales vigentes estas pruebas Saber 11 no son obligatorias para obtener el grado de bachiller. No obstante, la Ley 1324 de 2009 exige que las instituciones educativas presenten a todos sus estudiantes, salvo circunstancias excepcionales.

De acuerdo con lo presentado, este estudio se plantea hacer uso de los resultados de las pruebas SABER 11 entre 2016 y 2019¹⁷. Se organizan los datos correspondientes a las instituciones educativas de las cuales se logró encontrar la información pertinente y necesaria para todas las variables que se ha tener en cuenta en el modelo, del periodo propuesto. Por

¹⁷ Periodo de tiempo de la última administración de gobiernos locales en Colombia, para realizar la relación de las respectivas autoridades de cada localidad.

tanto, se trabajó con un promedio de 498.000 estudiantes por año, de un total de 8.562 instituciones educativas, de las cuales se tienen 5.945 públicas y 2.617 privadas, 5.832 situados en zona urbana y 2.730 en zona rural, repartidas en los 1.092 municipios de los 33 departamentos de Colombia¹⁸.

La primera fuente de datos procede de la base de datos del Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES)¹⁹, centrada particularmente en los resultados del examen Saber 11. Este recurso está disponible en un repositorio accesible para investigadores y para fines de divulgación. Ofrece una amplia gama de información que abarca tanto a los estudiantes como a sus familias, así como a las instituciones educativas relacionadas, durante el periodo de estudio.

La segunda fuente de datos se deriva del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE)²⁰, específicamente del catálogo de microdatos del Archivo Nacional de Datos (ANDA) relacionado con la encuesta de educación formal. Esta base de datos, compuesta por varios módulos, proporciona un análisis detallado de las instituciones educativas del país. Incluye información sobre estudiantes, docentes, personal administrativo y detalles específicos sobre las instituciones mismas.

En este estudio, se consideran las instituciones educativas como las DMU. Para identificar estas DMU, se recopila la información necesaria, tanto de los estudiantes como de las

¹⁸ Se hace la claridad que, en este documento, cuando se refiera a departamentos se está involucrando a Bogotá (distrito capital); es decir, se hablará de 33 departamentos.

¹⁹ ICFES <https://www2.icfes.gov.co/investigadores-y-estudiantes-posgrado/acceso-a-bases-de-datos>

²⁰ DANE http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/MICRODATOS/about_collection/25/2

instituciones. La información se maneja a dos niveles de agregación: el nivel de institución educativa y el nivel de departamento.

Entendiendo la eficiencia como la comparación entre los valores observados y los óptimos, la comparación se realiza orientado en el *output*. Es decir, se compara el *output* máximo alcanzable con el que se logra realmente para un nivel determinado de *inputs*. Además, se incluirán en el estudio factores ambientales dados por dos variables de entorno: una corresponde al entorno de cada institución educativa y la otra corresponde al entorno de los estudiantes de cada institución educativa.

De acuerdo con la revisión de literatura realizada, la información recopilada y en concordancia con la metodología propuesta, se plantea el modelo con seis variables distribuidas en un *output* (y), tres *inputs* (x_1, x_2, x_3) y dos variables de entorno (z_1, z_2). En la literatura sobre eficiencia en educación, es frecuente utilizar los resultados de las pruebas que se toman en los distintos contextos educativos, como el *output* del análisis (De Witte y López-Torres, 2015; Lopez-Torres y Prior, 2016; Giménez et al., 2017; Sagarra, Mar-Molinero y Agasisti, 2017; Giménez et al., 2019; Ferro y D'Elia, 2020; Viana et al., 2020; Umaña et al., 2022). De acuerdo con lo anterior, en este estudio se tomarán los resultados globales de los estudiantes en las pruebas mencionadas, por institución educativa en cada uno de los años, como *output*.

Este *output* se establece como la sumatoria del puntaje global de todos los estudiantes que presentaron Saber 11 de la institución educativa, ya que los *inputs* están dados a este nivel. Aunque esta prueba se puede presentar en más de una oportunidad, lo cual hacen algunas

personas, solo se han tomado los datos de aquellos estudiantes que han presentado la prueba por primera vez; esto con el ánimo de relacionar únicamente aquellos estudiantes que presentan la prueba habiendo salido de la institución en la que terminaron sus estudios.

Los *inputs* empleados en este estudio corresponden a las variables utilizadas en la línea de eficiencia en la educación, las cuales se encuentran disponibles en la literatura. Estas variables incluyen la cantidad de estudiantes matriculados, docentes y equipos electrónicos. Finalmente, se tomarán dos índices socioeconómicos y culturales (Portela et al., 2013; Agasisti, 2014; Aparicio et al., 2017; Agasisti et al., 2020) los cuales se incluirán como variables de entorno, dado que se plantea un desarrollo de StoNEZD.

El número de estudiantes matriculados en la institución educativa establece un *input* muy utilizado en los estudios de eficiencia educativa (Thieme et al., 2013; Crespo-Cebada et al., 2014; Podinovski et al., 2014; De Witte y López-Torres, 2015; Agasisti et al., 2020). Este *input* es de relevancia debido a que involucra relaciones significativas entre las características individuales de las instituciones, que podría afectar la calidad resultante. Entre otras, la relación con la cantidad de estudiantes que presentan las pruebas, la cantidad de docentes disponibles para guiar a estos estudiantes, la infraestructura con la que cuenta la institución y el espacio disponible para la realización de las respectivas actividades. En este sentido, este estudio se utiliza como *input* el número de estudiantes matriculados en cada institución educativa.

En cuanto a recurso humano, la literatura muestra que la principal variable utilizada para la medición de la eficiencia educativa corresponde a los docentes que son o no de planta

(Thieme et al., 2011; De Witte y López-Torres, 2015; Lopez-Torres y Prior, 2016; Agasisti et al., 2020). Sin embargo, hay otros estudios que presentan como recurso humano a todo el personal de la institución (Cordero et al., 2016; Haelermans y Ruggiero, 2017; Tran y Villano, 2018). Finalmente, hay estudios en los que utilizan como tipo de *input* según la función que realice el personal de la institución (directivo, docente planta o docente temporal) (Agasisti y Dal Bianco, 2006; Agasisti y Pérez-Esparrells, 2010). En este sentido, para efectos de este estudio, se sigue la línea de los docentes en la institución que dictan clase a los estudiantes de educación media.

En la literatura, se ha utilizado repetidamente una variable que representa los recursos físicos disponibles en las instituciones educativas, el cual hace referencia al número de dispositivos electrónicos en buen estado, que dispone la institución educativa para poder hacer uso de ellos (Agasisti, 2011; Perelman y Santín, 2011; Mancebón et al., 2012; Brzezicki et al., 2020, Moncayo-Martínez et al., 2020). En este sentido, se toma como *input* la suma de todos los computadores de escritorio, los computadores portátiles, las tabletas disponibles y equipo electrónico en uso de cada institución educativa.

Por último, tal como lo establece la literatura (Giménez et al., 2007; Thieme et al., 2013; Grosskopf et al., 2014; Giménez et al., 2017) no se pueden dejar de lado las alternativas propuestas para establecer los factores de entorno, los cuales han sido un índice utilizado en estimaciones de eficiencia educativa (Mancebón y Muñiz, 2008; Crespo-Cebada et al., 2014; Cordero et al., 2017; García-Díaz et al., 2020; Cordero et al., 2022; Erdogan et al., 2022). De acuerdo con lo mencionado, en este estudio se toman dos factores de entorno a nivel institucional, relacionando el índice socioeconómico y cultural de los estudiantes y el índice

socioeconómico y cultural de cada institución educativa, los dos tomados de manera continua.

Estos índices incluyen distintas características tanto de los estudiantes en su ambiente individual y familiar, como de la institución educativa en su ambiente colectivo. En cuanto al individuo, se relacionan las variables correspondientes al nivel educativo de los padres, comportamiento laboral de los padres y de los estudiantes (en caso de que así sea), cantidad de libros leídos por año, equipos de comunicación y empleo de estos, equipos electrónicos de uso doméstico y elementos de uso educativo en el hogar. En cuanto a la institución, se relacionan las variables correspondientes a la naturaleza de la institución, el área en la que se encuentra, los índices de seguridad que presenta, la disponibilidad de transporte y de comercio.

Es importante destacar que estos índices se abordan de manera diferenciada, con el propósito de trabajar específicamente con el impacto variado que puede tener el entorno familiar del estudiante en comparación con el entorno institucional (Mang et al., 2021). La separación de los efectos de las variables de entorno del individuo y de la institución proporciona la oportunidad de identificar las implicaciones de sus relaciones más cercanas. Por ejemplo, el entorno familiar suele tener un mayor impacto en el pensamiento crítico del individuo, mientras que el desarrollo comportamental tiende a ser más influenciado por la interacción con el grupo de pares en un entorno institucional (Roohr et al., 2019; Murillo y Carrillo, 2021). Este análisis se centra en el desarrollo del estudiante en función de su entorno local (hogar) y su entorno grupal (institución), destacando la importancia de ambos contextos.

Dado que los datos utilizados para establecer el índice socioeconómico y cultural de los estudiantes y de las instituciones educativas están dados por variables categóricas y cuantitativas, se realiza un proceso de análisis de componentes principales para relacionar el comportamiento continuo de estas variables, por medio de los autovalores que arroja el análisis. Este desarrollo ha sido utilizado en diversos estudios y aplicaciones en las que se trabajan variables no cuantitativas y en estudios que presentan una serie de datos dados por variables cualitativas o cuantitativas discretas, estas últimas trabajadas por medio de escalas y rangos (Ruel y Menon, 2002; United Nations, 2005; Kamalja y Khangar, 2017).

A continuación, en la Tabla 8 se relacionan las variables utilizadas para el cálculo de las componentes en la combinación lineal de la construcción del índice socioeconómico del estudiante. Los valores correspondientes son tomados con base en el primer componente principal del análisis de componentes principales como índice resumido para el análisis conjunto de las variables trabajadas (Martín et al., 1994; Filmer y Pritchett, 2001; Ruel y Menon, 2002). En este sentido, y considerando que todas las variables son significativamente relevantes, se toman todas las variables con base en estos valores del componente principal (Martín et al., 1994; Arévalo et al., 2022).

Análogamente, en la Tabla 9 se relacionan las variables utilizadas para el cálculo de las componentes para la combinación lineal en la construcción del índice socioeconómico de la institución. Los valores relacionados en la tabla corresponden al primer componente del análisis, el cual arroja un porcentaje de variación explicada del 42,61%. De manera similar los valores presentados corresponden al primer componente del análisis, con un porcentaje de variación explicada del 38,53%.

Tabla 8: Índice socioeconómico y cultural del estudiante.

Variables	Relación de los datos	Componente
Cantidad de aportantes al hogar	Respuesta cuantitativa	0,0470
Cantidad de libros en la vivienda	6 categorías	0,1987
Cantidad de libros leídos al año	6 categorías	0,1701
Conexión a internet en vivienda	Binaria	0,1027
Dispositivos con conexión a la red	Respuesta cuantitativa	0,1984
Educación de la madre	8 categorías	0,0622
Educación del padre	8 categorías	0,0940
Electrodomésticos en la vivienda	Respuesta cuantitativa	0,1885
Estrato de la vivienda	6 categorías	0,1273
Materiales de la vivienda	5 categorías	0,1727
Nivel socio económico	4 categorías	0,2336
Número de hermanos	Respuesta cuantitativa	0,0377
Servicios públicos	Binaria	0,1680

Elaboración propia.

Tabla 9: Índice socioeconómico y cultural de la institución.

Variables	Relación de los datos	Componente
Área de ubicación	Binaria	0,2760
Categoría de la institución	5 categorías	0,2077
Conexión a internet en institución	Binaria	0,2529
Espacios de alimentación	Binaria	0,1590
Espacios de salud	Binaria	0,0727
Estrato de la institución	6 categorías	0,2717
Institución bilingüe	Binaria	0,2732
Naturaleza de la institución	Binaria	0,2099
Nivel socio económico	4 categorías	0,1615
Servicios públicos	Binaria	0,1169

Elaboración propia.

Cabe resaltar que los elementos mencionados se examinan en consonancia con los criterios empleados para evaluar aspectos indirectos relacionados con el estatus socioeconómico de naciones en desarrollo (Pomeroy et al., 1997; Davis, 2002; United Nations, 2005; Pasini, 2017), las cuales aplicarían para Colombia.

Por último, la Tabla 10 muestra los valores correspondientes a las estadísticas descriptivas de cada una de las variables que se han de utilizar y de cada uno de los años que se tendrá en cuenta en el desarrollo de este estudio. Es preciso señalar que las estadísticas muestran un comportamiento no ideal en el proceso educativo. Es así como, aunque el promedio de estudiantes matriculados decreció en 1,17%, el promedio del puntaje global bajó en 5,04%. De otro lado, y de manera positiva, aunque la cantidad promedio de docentes aumentó en 9,13% y la cantidad promedio de los equipos electrónicos aumentaron en 11,76%, no se llegan a cantidades significativas en relación con la cantidad de estudiantes con que se trabajan.

Adicionalmente, aunque algunos datos permanecen en cero a lo largo del periodo y otros experimentan un crecimiento significativo, para algunas variables, la variabilidad de los datos presentados genera confianza, ya que tienen una desviación que se mantiene o disminuye en este periodo, salvo para una variable.

Particularmente, la variable en que la desviación crece en este periodo es la correspondiente a los equipos electrónicos, que es la misma que presenta una alta variabilidad en los datos de un año a otro. La posible explicación que se le puede dar a esta situación es que, por un lado, se implementaron varios desarrollos de política educativa los cuales buscaban dotar de

tecnología las instituciones educativas y, por otro lado, la información podía variar a causa de la llegada o no de estos dispositivos a la institución, así como el reportarlos o no a causa de que presentasen daño algunos de ellos.

Tabla 10: Estadísticas descriptivas de las variables en mención.

Año	Dato	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar
2016	Puntaje en la prueba	167,00	270.410,00	15.121,02	9.825,50	3.137,00	14.820,01
	Cantidad de alumnos matriculados	1,00	983,00	60,60	39,00	16,00	63,20
	Cantidad de docentes	1,00	240,00	20,18	15,00	8,00	16,33
	Equipos electrónicos	1,00	600,00	123,41	64,00	20,00	159,67
	Índice socioeconómico estudiante	0,20	664,30	36,33	22,85	4,95	39,88
	Índice socioeconómico institución	0,43	686,57	37,52	23,79	15,01	40,92
	Puntaje en la prueba	217,00	266.871,00	14.891,66	9.784,00	3.606,00	14.482,97
2017	Cantidad de alumnos matriculados	1,00	977,00	60,36	40,00	17,00	62,35
	Cantidad de docentes	1,00	186,00	19,73	15,00	8,00	15,09
	Equipos electrónicos	-	1.802,00	133,48	71,00	20,00	169,29
	Índice socioeconómico estudiante	0,50	610,86	33,30	21,50	3,64	35,53
	Índice socioeconómico institución	0,43	680,89	37,21	24,38	14,22	40,04

Año	Dato	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar
2018	Puntaje en la prueba	182,00	241.955,00	14.804,94	9.698,00	6.406,00	14.253,86
	Cantidad de alumnos matriculados	1,00	879,00	60,35	39,00	14,00	61,77
	Cantidad de docentes	1,00	177,00	19,73	15,00	8,00	15,02
	Equipos electrónicos	-	2.584,00	135,64	70,00	-	176,85
	Índice socioeconómico estudiante	0,48	607,40	36,76	23,73	4,50	39,12
	Índice socioeconómico institución	0,36	614,15	37,43	24,40	18,96	40,05
	Puntaje en la prueba	188,00	235.663,00	14.358,94	9.446,50	11.185,00	13.645,54
2019	Cantidad de alumnos matriculados	1,00	878,00	59,89	40,00	15,00	61,13
	Cantidad de docentes	1,00	172,00	19,84	15,00	8,00	15,03
	Equipos electrónicos	-	2.584,00	137,92	73,00	20,00	180,59
	Índice socioeconómico estudiante	0,34	615,24	36,80	23,78	8,93	38,64
	Índice socioeconómico institución	0,36	616,99	37,23	24,13	15,80	39,50

Elaboración propia.

Finalmente, de acuerdo con el proceso metodológico mencionado y con base en los datos tomados para la ejecución de este estudio, es preciso especificar que los parámetros tomados para la realización del orden m están dados por $m = 200$ y $B = 1.000$. Esto quiere decir que se procesaron en 1.000 oportunidades distintas, de a 200 datos elegidos aleatoriamente en cada oportunidad, el método de StoNEZD para cada unidad de medida.

3.5. Resultados y discusión

Se presentarán los resultados obtenidos al realizar las estimaciones correspondientes al proceso metodológico estipulado y se realizará una discusión, con base en los resultados, de cara a establecer la eficiencia de las instituciones educativas de cada uno de los años en el periodo de 2016 a 2019, de las instituciones educativas de los departamentos de Colombia.

3.5.1. Resultados

Para analizar la estimación de la eficiencia, se presentan en la Tabla 11 los parámetros de varianza estimados de los términos de ineficiencia, los términos de ruido, los valores esperados de ineficiencia y los respectivos coeficientes de determinación, correspondientes a cada año del periodo analizado. Es necesario añadir que, por la construcción del StoNEZD, el uso de los momentos y sus bondades estadísticas es aplicable el coeficiente de determinación para el análisis de ajuste del modelo (Kuusmanen et al., 2013).

Tabla 11: Estimación de parámetros por año.

Parámetro	2016	2017	2018	2019
μ (valor esperado del término de ineficiencia)	0,2824	0,2412	0,2622	0,2375
σ (varianza del término de error compuesto)	0,1597	0,2642	0,1865	0,1532
σ_u (varianza del término de ineficiencia)	0,0016	0,0009	0,0012	0,0008
σ_v (varianza del término de ruido)	0,1581	0,2633	0,1853	0,1524
Valor esperado de la eficiencia de producción	71,76%	75,88%	73,78%	76,25%
R^2 (coeficiente de determinación)	0,8972	0,8951	0,8916	0,8968

Elaboración propia.

Es de resaltar que, el escenario trabajado en este estudio corresponde a la medición con los estudiantes enviados por cada una de las instituciones a presentar la prueba (Gomez-Silva, 2016; Arévalo et al., 2020; Hofflinger y Von-Hippel, 2020). Con esta propuesta se busca evitar penalizar aquellas instituciones educativas que, por alguna u otra razón, no se presentaron con todos los estudiantes que tenían matriculados en la institución, aptos para presentar la prueba.

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 11, se pueden identificar varios aspectos de importancia. En primer lugar, en promedio, el menor valor esperado del término de la ineficiencia es el del último año del periodo (0,2375), lo cual presenta la idea de que la eficiencia esperada para el final del periodo ha de ser la mayor de todo el periodo.

Esto puede ser un buen indicador del comportamiento general de la eficiencia de las instituciones educativas en todo el periodo administrativo local en Colombia. Sin embargo, es importante notar que el comportamiento no fue decreciente en todo el periodo, puesto que hubo una disminución en este ítem del segundo al tercer año y luego creció para el cuarto año. Esta situación sería interesante discutirla, dado que presenta una atractiva mejora que luego no surtió el efecto esperado, pero que al final pudo corregirse y sobrepasar la situación presentada.

En cuanto a la varianza del término del error compuesto, nótese que esta está dada por la suma de las varianzas del término de ineficiencia y del término del ruido, por lo que se ve afectada por el comportamiento individual de estos dos términos. En este sentido, el comportamiento de esta varianza no es monótona, sino que presenta cambios atípicos de un

año a otro. Se pudiera esperar que, ante una directriz establecida desde el inicio del periodo gubernamental, se diera un comportamiento decreciente; mostrando así una mejora paulatina de periodo a periodo.

En contraste, la varianza aumentó del primer al segundo año, en un 65,44%, y luego sí decreció para el tercer y cuarto año, en un 29,41% y 21,74%, respectivamente. De hecho, en el último año del periodo se tuvo la menor varianza, lo cual se presenta como otro buen indicador, en relación con lo obtenido en el ítem anterior.

De otro lado, en cuanto a los términos de ineficiencia y de ruido, podemos ver que el comportamiento del término del ruido es mayor en todos los años y corresponde entre el 98,99% y el 99,65% de la varianza total. Este puede complementar la bondad del indicador de la varianza, dado que muestra una menor volatilidad en el contexto de la ineficiencia en todos los años del periodo.

El valor esperado de la eficiencia de producción, en promedio, es bastante alentador y encamina a la idea de especular que el comportamiento de la eficiencia en este periodo gubernamental fue bastante satisfactorio, en términos generales para Colombia. Es claro que, aunque pudo ser mejor, se logró mejorar la relación de eficiencia obtenida en el primer año con respecto al último año del periodo; marcando una diferencia de 4,49 puntos porcentuales.

En concordancia con lo mencionado anteriormente, el comportamiento de este ítem tuvo una variabilidad considerablemente positiva del primer al segundo año. Luego cayó la variación para el tercer año y remató el periodo con una variación positiva, logrando sobreponerse a lo

obtenido en los años anteriores. Este comportamiento confirma la particularidad del resultado obtenido en el segundo año y el repunte final en el último año del periodo. Sin embargo, debe tenerse presente que estos resultados son generales para Colombia, lo que implica que, en términos generales, el comportamiento del periodo de estudio fue con tendencia a una mayor eficiencia. No obstante, si se desea identificar el comportamiento de manera más detallada, se debería resaltar la medición obtenida por departamentos, dado que este fue el nivel de agregación planteado.

Finalmente, el último ítem cobra sentido dado que el método StoNEZD se basa en la regresión de mínimos cuadrados, siendo el coeficiente de determinación (R^2) un método útil para medir el ajuste empírico del modelo. Por tanto, la proporción de la varianza explicada por el modelo en cada año corresponde a un rango de 0,8916 a 0,8972, mostrando que los modelos tienen significancia estadística, puesto que presentan una capacidad explicativa muy buena en cada uno de ellos. Conjuntamente, esto reafirma lo mencionado en los ítems anteriores en cuanto al comportamiento de la eficiencia y de la varianza para cada año de todo el periodo analizado.

De otro lado, la Tabla 12 muestra una discriminación por departamento de la cantidad de instituciones y los porcentajes que estas instituciones que fueron trabajadas en este estudio representan a nivel nacional, con sus respectivos porcentajes de instituciones que lograron calificar como eficientes en cada departamento.

Tabla 12: Porcentajes de instituciones por departamento.

Departamento	Instituciones	% del país	% de instituciones eficientes			
			2016	2017	2018	2019
Amazonas	7	0,08%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
Antioquia	979	11,43%	10,75%	10,84%	10,69%	10,98%
Arauca	51	0,60%	0,06%	0,06%	0,05%	0,07%
Atlántico	439	5,13%	3,59%	3,63%	3,56%	3,69%
Bogotá	1.006	11,75%	11,28%	11,37%	11,22%	11,51%
Bolívar	385	4,50%	2,79%	2,82%	2,77%	2,88%
Boyacá	339	3,96%	2,61%	2,64%	2,59%	2,69%
Caldas	205	2,39%	1,92%	1,93%	1,90%	1,96%
Caquetá	80	0,93%	0,22%	0,23%	0,21%	0,23%
Casanare	93	1,09%	0,20%	0,20%	0,19%	0,21%
Cauca	383	4,47%	2,86%	2,90%	2,84%	2,95%
Cesar	189	2,21%	0,69%	0,71%	0,68%	0,73%
Chocó	98	1,14%	0,15%	0,15%	0,14%	0,16%
Córdoba	356	4,16%	1,64%	1,67%	1,62%	1,70%
Cundinamarca	629	7,35%	5,00%	5,05%	4,96%	5,14%
Guainía	1	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Guaviare	14	0,16%	0,01%	0,02%	0,01%	0,01%
Huila	228	2,66%	0,98%	1,00%	0,96%	1,02%
La Guajira	111	1,30%	0,27%	0,28%	0,26%	0,28%
Magdalena	227	2,65%	1,59%	1,61%	1,58%	1,64%
Meta	167	1,95%	0,66%	0,68%	0,65%	0,69%
Nariño	331	3,87%	1,93%	1,97%	1,92%	1,99%
Norte de Santander	228	2,66%	1,19%	1,21%	1,18%	1,23%
Putumayo	78	0,91%	0,14%	0,15%	0,14%	0,15%
Quindío	99	1,16%	0,30%	0,31%	0,30%	0,31%
Risaralda	157	1,83%	0,77%	0,79%	0,76%	0,80%
San Andrés	12	0,14%	0,01%	0,02%	0,01%	0,01%
Santander	433	5,06%	3,74%	3,78%	3,72%	3,84%

Departamento	Instituciones	% del país	% de instituciones eficientes			
			2016	2017	2018	2019
Sucre	189	2,21%	0,63%	0,65%	0,62%	0,66%
Tolima	315	3,68%	1,74%	1,77%	1,72%	1,80%
Valle del Cauca	707	8,26%	6,44%	6,51%	6,40%	6,61%
Vaupés	11	0,13%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%
Vichada	15	0,18%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%

Elaboración propia.

3.5.2. Discusión

En concordancia con los resultados obtenidos, podemos identificar diferentes situaciones nacionales que pudieron marcar la pauta del comportamiento obtenido, en la medición de la eficiencia en las instituciones educativas evaluadas. Para ello, nos remontamos al año 2015 donde se presentaron algunas situaciones que pudieron influir en los resultados obtenidos para el 2016. Por ejemplo, en 2015 se da inicio al programa de Jornada Única, la cual se establece con el fin de garantizar el acceso a una educación integral, mejorar la calidad de la educación, disminuir las brechas de inequidad existentes en el sistema educativo colombiano²¹ y corregir los bajos resultados en pruebas internacionales, por lo que se ha logrado avanzar gradualmente en estos aspectos.

Esta implementación está enmarcada en la Ley 1753 de 2015, la cual realiza una reforma a la educación, enfocándose en mejorar la calidad de la educación, fortalecer la formación docente, promover la equidad y garantizar el acceso a la educación para todos los

²¹ Jornada única en Colombia <https://www.mineduacion.gov.co/portal/especiales/Jornadaunica/#:~:text=En%202015%20se%20da%20inicio,su%20implementación-%20hasta%20la%20fecha>

ciudadanos²². Con estas implementaciones se lograron estrategias que desembocaron en mejoras tecnológicas para la educación, la oportunidad de destinar más tiempo a los procesos educativos, iniciar planes de alimentación escolar e iniciar ampliaciones de cobertura. Este tipo de situaciones pudieron permitir que el periodo administrativo evaluado tuviese un punto de partida bueno en su medición, el cual podría mejorarse, tal como lo podemos evidenciar.

En 2017 se inició un fortalecimiento del programa “Todos a aprender” que es un programa que se creó en 2012 con el fin de implementar avances en la formación y capacitación docente, por medio de iniciativas y proyectos de actualización pedagógica, implementación de nuevas metodologías de enseñanza y formación en competencias digitales, entre otros aspectos²³.

Adicionalmente, en este año se hicieron esfuerzos para mejorar el acceso a la educación en todas las regiones del país, construyendo nuevas instituciones educativas, implementando programas de becas con el fin de ampliar la cobertura en educación preescolar, básica y media. Asimismo, se implementó el programa de tecnología en el aula, lo cual pudo influir en los desarrollos tecnológicos de aprendizaje por parte de los estudiantes en este año.

Por último, a finales de 2016 se dio un evento histórico en Colombia firmando la paz entre los representantes de las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC) y el Gobierno Nacional²⁴, evento que repercutió en la implementación de estrategias y programas

²² Ley 1753 de 2015 https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-406829_recurso_8.pdf

²³ Programa todos a aprender https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-299245_recurso_1.pdf

²⁴ Acuerdo de paz <https://www.comisiondelaverdad.co/acuerdo-final-para-la-terminacion-del-conflicto-y-la-construccion-de-una-paz-estable-y-duradera>

para mejorar el acceso y la calidad de la educación en las zonas rurales. Sin embargo, aunque es posible que los alcances de esta situación no se vieran reflejados directamente en el 2017 o 2018 la cantidad de niños que llegaron a las instituciones (especialmente en las rurales) hizo que la estructura educativa de ese momento presentase fallas en su funcionamiento y, por tanto, en su medición de eficiencia.

Lo anterior, claramente puede verse como un punto en contra en la medición de eficiencia y, aunque 2018 fue el año con el resultado más bajo de todo el periodo, no fue un resultado tan desastroso; esto debido a una serie de implementaciones adicionales que pudieron contrarrestar tal efecto. Programas de educación para la paz, ampliación de la cobertura educativa en zonas rurales e intensificación de la inclusión educativa, son ejemplos de estrategias que pudieron ser clave para mantener una evaluación estándar en este año. De esta forma, pudo ser un punto de partida para establecer el 2019 en el que se puede notar una mejora sustancial en la medida de la eficiencia, siendo el año con la mejor medición de eficiencia del periodo.

Es así como, bajo la directriz nacional del nuevo Gobierno Nacional (2018-2022) los salientes gobernantes departamentales lograron dar continuidad a programas ya iniciados, logrando fundamentar las instituciones y logrando los mejores resultados de su periodo. Programas como alianza entre el sector empresarial y social para la educación, avances en la cobertura de instituciones rurales, fortalecimiento y capacitación de la planta docente, mejoras tecnológicas en zonas marginadas lograron mejorar tal medición. Es así como, atacando las principales debilidades en las instituciones educativas rurales, se logra garantizar el acceso, la permanencia y acompañamiento en la educación de estudiantes

vulnerables²⁵, se logra mejorar considerablemente la medición de la eficiencia de la educación en estas zonas y, por tanto, en el país.

Por otro lado, en referencia con la discriminación por departamento, aunque el comportamiento a nivel nacional se puede analizar de forma general como se ha mencionado anteriormente, hay particularidades de cada departamento que permiten discriminar la situación con cada uno de ellos. De acuerdo con lo presentado, hay departamentos que presentan coeficientes de eficiencia técnica más altos y mejorados durante el periodo evaluado, que otros. Según los resultados, en promedio, solo 11 departamentos parecen mostrar una mejor gestión, estando por encima de la media de todos los departamentos. Es decir, solo el 33,33% de los departamentos del país parecen mostrar, en promedio, un óptimo rendimiento de los recursos asignados a sus respectivos planteles educativos.

Anteriormente, se planteó la posibilidad de que la ampliación de cobertura, la capacitación docente, el aumento de los recursos tecnológicos y alianzas estratégicas en zonas rurales, impulsaron las mejoras en las eficiencias obtenidas. Sin embargo, solo el 55,71% de las instituciones en estas zonas del país, mostraron mejoras sustanciales en su eficiencia. Esto dado que del 31,89% de las instituciones que son rurales, solo el 17,76% de estas instituciones se encuentran en los departamentos que mejores coeficientes obtuvieron.

De manera análoga, del 69,43% de las instituciones educativas públicas, el 41,74% se encuentran entre los 11 departamentos en mención. Esto quiere decir que, el 60,12% de las

²⁵ Educación rural <https://www.semana.com/educacion/articulo/educacion-rural-la-tarea-pendiente/625441>

instituciones educativas públicas del país presentaron mejoras en sus coeficientes de eficiencia.

Lo mencionado, muestra que un alto porcentaje de las instituciones educativas que al parecer aún están presentando ineficiencia en la producción educativa, son aquellas de naturaleza oficial y ubicadas en zona rural. Esto indica que puede no ser correspondiente la relación de las instituciones con los lineamientos dados por las autoridades gubernamentales de cada departamento e incluso nacionales.

Así, los departamentos que están por encima del promedio de mejor eficiencia son Antioquia, Atlántico, Bogotá, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Magdalena, Santander y Valle del Cauca, donde 8 de estos departamentos son los que mayor cantidad de instituciones presentan. Lo cual da a entender, que no necesariamente por tener menos instituciones para gestionar es que se logra obtener una mejor eficiencia en cada departamento.

Más aún, cabe resaltar que, de estos 11 departamentos solo 6 muestran una eficiencia más definida, marcada diferencialmente en 2 de ellos. Bogotá y Antioquia, establecen esta diferencia, de lejos, con respecto a los otros; seguidos por Caldas, Valle del Cauca, Santander y Atlántico. Opuestamente, Amazonas, Arauca, Guainía, Guaviare, San Andrés, Vaupés y Vichada son los departamentos que muestran la menor eficiencia en la gestión de sus instituciones educativas. De estos, Guainía, Vichada y Vaupés son los departamentos que resultaron con coeficientes de eficiencia más bajos en todo el país.

En cuanto a la variación total de todo el periodo evaluado, los primeros 6 departamentos mencionados fueron los que mayor variación presentaron. Así, no solo fueron los que mejor eficiencia mostraron, sino que fueron los que mayor mejora en la eficiencia tuvieron, lo cual muestra la marcada diferencia en la forma de gestionar los recursos con que cuentan en las instituciones educativas.

En contraste, los últimos 3 departamentos mencionados fueron los que menor variación presentaron durante el periodo de evaluación, con variaciones que casi se pueden decir que fueron nulas. Así, además de que estos departamentos son los que presentan menor eficiencia, también son los que menos evidencia muestran de mejorar la gestión de los recursos de las instituciones educativas en este periodo administrativo.

Por último, pero no menos importante, está la evidencia de la posible centralización que puede existir en un país, especialmente en proceso de desarrollo. Nótese que los 6 departamentos mencionados, como los que presentan menores coeficientes de ineficiencia, son los que se conocen como los departamentos principales de Colombia. Aún más, los dos primeros departamentos que marcan la diferencia más notoria en los coeficientes de eficiencia identificados son el Distrito Capital y el departamento más sobresaliente del país.

Esto puede tener relación con la gestión realizada por las autoridades departamentales puesto que, por ser ciudades más importantes, pueden estar mejor organizadas o estructuradas que otras. En este sentido, el direccionamiento de las autoridades correspondientes puede jugar un papel importante en el desarrollo administrativo, siendo relevantes en la eficiencia de las instituciones educativas.

Lo anterior no necesariamente implica que departamentos como Guainía, Vichada y Vaupés no tengan planes estructurados desde su dirección de gobierno. No obstante, los resultados muestran que la gestión, ya sea en el desarrollo, ejecución o implementación de dichos planes no fue igual de sobresaliente que en los otros casos.

3.6. Conclusiones, limitaciones y líneas futuras

3.6.1. Conclusiones

Con este estudio se logra dar continuidad a la utilización del método StoNED, introducido por Kuosmanen y Kortelainen (2012), en la medición de eficiencia técnica, especialmente en la línea de educación. Más aun, se implementa el desarrollo del método con variables de entorno (método StoNEZD) para lograr robustecer el estudio teniendo en cuenta distintas particularidades que permiten medir este tipo de variables.

Asimismo, se logra implementar una técnica conocida como orden m para generar una gran cantidad de muestras aleatorias, con el ánimo de obtener una aproximación más estable, robusta y menos costosa, computacionalmente hablando (Simar y Wilson, 2013; 2015). De esta manera, se logra contar con la bondad del método StoNEZD y orden m , tales como consistencia estadística, homogeneidad y convergencia bajo suposiciones menos restrictivas que las requeridas por otros estimadores, aún en presencia de valores atípicos y ruido.

Se ha logrado identificar el comportamiento de la eficiencia de las instituciones educativas año a año, durante el periodo de 2016 a 2019, periodo administrativo de los gobiernos locales

en Colombia. En promedio, este comportamiento arrojó una variabilidad año a año que, aunque presenta una variación negativa de 2017 a 2018, en el periodo completo muestra un crecimiento medido de los indicadores de eficiencia que dan indicios de bondad en cuanto a la positiva gestión de las instituciones educativas durante este periodo. Por otra parte, el comportamiento encontrado se puede relacionar con distintas situaciones que se dieron en el país a lo largo del periodo evaluado, haciendo consistente los resultados encontrados con el desarrollo de la gestión administrativa.

Se encuentra que los departamentos de Bogotá y Antioquia se posicionan como los departamentos con mayores coeficientes de eficiencia seguidos, con una diferencia considerable, por Caldas, Valle del Cauca, Santander y Atlántico. De manera contraria, los departamentos de Guainía, Vichada y Vaupés son los departamentos con menor coeficiente de eficiencia, seguidos muy de cerca por Guaviare, San Andrés, Amazonas y Arauca.

En discrepancia con la relación de cantidad de instituciones y eficiencia, pensando en que a mayor cantidad mayor dificultad para la administración, se encontró que algunos departamentos que presentaron mayores coeficientes de eficiencia tienen bajo su administración las mayores cantidades de instituciones y algunos de los departamentos con menores coeficientes tienen menores cantidades de instituciones a su cargo.

Esta situación puede estar relacionada con el hecho de que, los departamentos con mayor cantidad de instituciones, son departamentos identificados como principales en Colombia. Sin embargo, esto no implica que un departamento con un territorio, infraestructura o población más pequeña que otro tenga menor coeficiente de eficiencia en comparación. Esto

es evidenciable al encontrar departamentos con menor cantidad de instituciones y mayor coeficiente que algunos departamentos que tenían más instituciones educativas. No obstante, de acuerdo con los resultados encontrados, se puede inferir que al tener mayor cantidad de instituciones a cargo su estructura organizacional y administrativa puede ser mejor. Esto puede darse, ya sea por la experiencia obtenida al trabajar con esa cantidad de instituciones, por la capacidad de gestión lograda con el tiempo o por el deseo innato de obtener resultados en pro de una posible comparación con otros departamentos.

Finalmente, aunque se han señalado distintos avances en la gestión de las instituciones educativas, especialmente en zonas rurales, relacionadas con cobertura, capacitación docente, recursos tecnológicos y alianzas estratégicas, aún hay menor eficiencia en estas zonas del país. El 55,71% de las instituciones de estas zonas del país mostraron mejoras sustanciales en su eficiencia, logrando obtener mayores coeficientes de eficiencia.

Un poco mejor se ha dado con las instituciones educativas públicas, ya que el 60,12% de las instituciones educativas públicas del país presentaron mejoras en sus coeficientes de eficiencia. Sin embargo, en general, los resultados indican que el comportamiento de la eficiencia a nivel nacional durante el periodo de evaluación, en promedio, muestra una tendencia a la mejora en sus coeficientes. Por lo que se esperaría que la gestión que se está dando en la mayoría de los departamentos es cada vez mejor y está encaminada a lograr resultados más adecuados con los recursos que se tienen para trabajar.

3.6.2. Limitaciones

En trabajos empíricos, es común enfrentar desafíos relacionados con la calidad de la base de datos utilizada. En este caso particular, a pesar de haber utilizado las bases de datos proporcionadas por las autoridades nacionales competentes en el tema (ICFES y DANE), existe la posibilidad de que los datos registrados por las instituciones o las autoridades locales no hayan sido precisos o que se hayan producido errores durante su digitalización. En esta misma dirección, está la dificultad de acceder a una información de primera mano que permita establecer datos más completos sobre instituciones de difícil acceso, ya sea por la connotación rural o de situación socioeconómica complicada.

Adicionalmente, dado que el estudio se realizó durante un periodo de cuatro años, se puede quedar un poco corto en cuanto a las instituciones tomadas, dado que algunas instituciones penden presentar la información de algunos años, pero no de todos y esto no permite que se puedan tomar para el estudio. Así mismo, está la falta de información relacionada con las instituciones educativas que no continuaron prestando el servicio educativo por algún motivo particular (no necesariamente académico), lo cual cambia la situación de análisis que se puede presentar en las instituciones a las cuales fueron remitidos los estudiantes de estas instituciones.

3.6.3. Líneas futuras de investigación

Como parte de las futuras investigaciones, se pretende realizar un análisis longitudinal que permita examinar la evolución de la eficiencia a lo largo del tiempo durante el período

estudiado de 2016 a 2019. El objetivo es comprender, desde una perspectiva estadística diferente, el comportamiento de las instituciones y cómo ha ido cambiando su eficiencia a lo largo del tiempo.

Sin embargo, también es posible abordar un análisis de eficiencia posterior al periodo de estudio desarrollado en este trabajo, teniendo en cuenta implicaciones y variables relacionadas con el desarrollo virtual y no asincrónico llevado a cabo como consecuencia de la situación social vivida por la pandemia. En este sentido, se podría hacer un análisis comparativo de la eficiencia de las instituciones cuando las clases se desarrollan en el aula física y cuando se desarrollan de manera remota con asistencia de la tecnología.

De otro lado, se puede establecer un análisis en paralelo de las características más marcadas de las instituciones, como lo pueden ser su naturaleza y su área. Es decir, desarrollar un análisis donde se compare la eficiencia del sector educativo urbano versus el rural o la eficiencia del sector educativo oficial versus el no oficial. Un desarrollo de este tipo de estudios permitiría ir un poco más allá en cuanto a la relación de las directrices dadas por los entes gubernamentales y las instituciones educativas. Así mismo, se pueden agregar variables que establezcan situaciones más propias de los estudiantes y las instituciones, como lo son los aspectos socioemocionales y el bienestar estudiantil, así como la idoneidad de las directivas de las instituciones.

4. Evolución del desempeño de las instituciones educativas de Colombia

4.1. Resumen

Conforme transcurre el tiempo, se presentan evoluciones técnicas y administrativas que generan una necesidad continua de enfocarse en la evaluación y mejora constante de las instituciones educativas. Con los recursos económicos cada vez más limitados y las demandas educativas en constante aumento, es esencial comprender cómo las instituciones educativas están administrando sus recursos para ser más eficientes. En esta ocasión, el propósito es analizar la evolución en la eficiencia del sistema educativo de las instituciones, evaluado a través de los resultados de los estudiantes en las pruebas SABER 11 durante dicho periodo. De manera implícita, se busca comprender en qué medida los recursos disponibles están siendo utilizados de manera eficiente para lograr un rendimiento académico óptimo, explorando así, la relación intrínseca entre la utilización óptima de los recursos y las directrices de los gobiernos locales. Para esto, se empleará una perspectiva fundamentada en el análisis de datos durante el periodo comprendido entre 2016 y 2019, utilizando un enfoque de panel. Se logra describir la evolución de la eficiencia en las instituciones educativas durante el lapso de 2016 a 2019, el cual coincide con la gestión de los gobiernos locales en Colombia. Esta dinámica ha puesto en manifiesto una variabilidad que indica un progreso muy limitado en los indicadores de eficiencia, sugiriendo una evolución notablemente pasiva de la eficiencia del sistema educativo.

4.2. Introducción

La educación, como uno de los pilares fundamentales para el desarrollo social y económico de una nación, necesita enfoques modernos para mejorar el alcance de su impacto. En esta dirección el desarrollo tecnológico, profesoral y estructural contribuye en el proceso de los institucionales de cara a que los estudiantes logren aumentar sus conocimientos, habilidades y aprendizajes.

Es así como, conforme avanza el tiempo, se exige una atención constante en la evaluación y mejora de las instituciones educativas (Chandio et al., 2019). A medida que los recursos económicos se vuelven más escasos y que las demandas educativas continúan creciendo, se hace imperativo entender cómo las instituciones educativas están gestionando sus recursos, de cara a ser más eficientes, y cómo estos esfuerzos se traducen en logros académicos de los estudiantes (East et al., 2014).

Desde esta perspectiva, en un mundo en constante evolución, donde la educación juega un papel fundamental en el desarrollo de sociedades y economías (Agasisti et al., 2020), medir y comprender la eficiencia de las instituciones educativas se vuelve esencial para asegurar un uso eficiente de los recursos disponibles y mejorar la calidad de la enseñanza (De Witte y López-Torres, 2017).

Así, en la búsqueda constante por mejorar la calidad de la educación, la eficiencia se ha convertido en un concepto fundamental en la evaluación de sistemas educativos e instituciones educativas. En este sentido, la evaluación de la eficiencia se convierte en un

instrumento esencial para identificar tanto las buenas prácticas como las áreas de oportunidad de cambio en el ámbito educativo (Chen et al., 2021).

El carácter acumulativo de los procesos educativos y la importancia de los elementos exógenos a la institución hace que se vea afectado el proceso educativo de cada estudiante y por tanto el desempeño evaluado de las instituciones. Lo anterior, no necesariamente es definitivo ya que muchos componentes de este proceso se revelan años después de que los estudiantes completen el proceso educativo en la institución educativa, lo cual dificulta la asignación de los logros de los estudiantes y por tanto de la institución (Portela y Camanho, 2007).

De acuerdo con lo mencionado, un factor de importancia que marca la diferencia en este tipo de análisis es el tiempo. Esta perspectiva puede establecer inquietudes a saber ¿cómo cambia la eficiencia a lo largo del tiempo? ¿Cómo se ha dado el comportamiento de la eficiencia de las instituciones educativas en un periodo de tiempo? ¿Qué tan bien están siendo aprovechados los recursos en estas instituciones? ¿Qué tanto se relacionan las directrices de las autoridades locales? Mancebón y Bandrés (1999) establecen la dimensión temporal del proceso educativo como una característica fundamental en la evaluación de las instituciones, la cual hace que esta sea una tarea particularmente difícil.

En esta oportunidad, el estudio tiene como objetivo central analizar la eficiencia de las instituciones educativas en Colombia, utilizando una perspectiva que se basa en el análisis de datos en el periodo de tiempo entre 2016 y 2019, por medio de un panel de datos. Esto, con el fin de analizar la evolución en el desempeño académico de las instituciones con base

en los resultados obtenidos por los estudiantes en las pruebas SABER 11 en este periodo. De manera subyacente se busca comprender hasta qué punto los recursos con los que se cuentan, están siendo aprovechados eficientemente para alcanzar un nivel de rendimiento académico óptimo. Así, con el ánimo de explorar alguna conexión existente entre las directrices dadas por las autoridades gubernamentales y la eficiencia de las instituciones de cada departamento, se emplearán los resultados de las pruebas SABER 11 que abarcan el periodo de tiempo correspondiente a la última administración de los gobiernos locales en Colombia, tiempo comprendido entre los años 2016 y 2019.

Las unidades de decisión de este análisis serán las propias instituciones educativas, utilizando los puntajes obtenidos por los estudiantes de las instituciones, en las pruebas mencionadas. Este tipo de pruebas han sido empleadas en diversos estudios previos e investigaciones sobre eficiencia (Giménez et al., 2007; Cárcamo y Mola, 2012; OCDE, 2016; Castro et al., 2017; Viana et al., 2020). El análisis se llevará a cabo en dos niveles de agregación: el nivel de la institución educativa y el nivel departamental. Además, se trabajarán cinco variables de entrada dentro de las cuales se contemplarán dos factores ambientales significativos en este tipo de estudios (Palomares et al., 2006; Giménez et al., 2017; Myeki y Temoso, 2019; Arévalo et al., 2022; Cho et al., 2022), un total individual y uno institucional.

Este estudio se realizará por medio de un análisis de panel que permite el control continuo de las mismas unidades a lo largo del tiempo, permitiendo la observación de la evolución de las variables en diversos períodos. Como ventaja, propicia el control de factores individuales que se mantienen constantes en el tiempo, lo que puede disminuir el sesgo y proporcionar estimaciones más precisas. Además, permite capturar la variabilidad inherente en cada

entidad y examinar los cambios y patrones que surgen con el tiempo (Myeki y Temoso, 2019). En este sentido, a partir de los resultados de la eficiencia relativa, se podría examinar la manera en que la eficiencia de cada institución se modifica a lo largo de los años. Lo cual haría posible identificar las instituciones que han mejorado o deteriorado su eficiencia en relación con la puntuación en la prueba académica.

En este estudio se trabajará una adaptación del enfoque transversal del modelo StoNED que se ajusta a la estructura de datos de panel, en la que se considerará información balanceada de las instituciones educativas en los períodos de tiempo tomados (Kuosmanen, 2006). Es preciso señalar que, de forma análoga a los enfoques convencionales de tratamiento de datos de panel presentes en la literatura, en este contexto se asume que la función de producción y los términos de ineficiencia permanecen constantes a lo largo del tiempo.

Sin embargo, por ser un modelo de frontera semiparamétrico que combina la frontera no paramétrica, satisfaciendo la monotonidad y la concavidad, con el término de error compuesto homocedástico sin asumir previamente una función, habilita la posibilidad de introducir una variable dinámica del modelo StoNED que permite la variación en el tiempo de la función de producción y los términos de ineficiencia (Kuosmanen et al., 2015).

Con este estudio se busca hacer una contribución en tres énfasis. Por una parte, se busca fortalecer una metodología innovadora, en cuanto a estudios de eficiencia en educación, haciendo uso de una metodología de panel de datos, por medio del método StoNED. Esta metodología permite desarrollar un análisis temporal por medio del modelo StoNED. De otro lado, se pretende establecer la eficiencia productiva de las instituciones educativas en

Colombia en el periodo comprendido entre 2016 y 2019, analizando la evolución de la eficiencia en este periodo. Finalmente, de manera empírica, se busca analizar una posible relación entre los lineamientos de los gobiernos locales y la gestión eficiente de las instituciones educativas en los distintos departamentos de Colombia.

Este capítulo está diseñado en cinco secciones. Luego de la introducción, se detalla la revisión de la literatura relacionada con el estudio. En seguida, se presentan los aspectos metodológicos del modelo a implementar, las especificaciones de los datos y las variables utilizadas. Posterior a ello, se muestran los resultados y la discusión de estos. Por último, se resaltan las conclusiones, limitaciones y futuras investigaciones del estudio.

4.3. Revisión de literatura

Esta revisión de literatura se enfocará en tres aspectos principales. En primer lugar, un análisis de las técnicas utilizadas en este tipo de desarrollos de eficiencia, en relación con panel de datos. En segundo lugar, una síntesis de la línea de investigación relacionada con la eficiencia en la educación donde se tienen en cuenta desarrollos temporales (Worthington, 2001). Y en último lugar, se hará una caracterización sistemática de los estudios que muestran las distintas relaciones entre eficiencia educativa y acciones gubernamentales.

4.3.1. Abordando la eficiencia con panel de datos

La literatura sobre el análisis de la eficiencia productiva se ha dividido principalmente en dos enfoques. Uno, es el análisis envolvente de datos no paramétrico (DEA), desarrollado por

Farrell (1957) y refinado posteriormente por Charnes, Cooper y Rhodes (1978). Dos, es el análisis de fronteras estocásticas paramétricas (SFA), introducido por Aigner, Lovell y Schmidt (1977), así como por Meeusen y van den Broeck en el mismo año (1977).

El DEA, es un enfoque de programación matemática que se utiliza para analizar la eficiencia. La principal ventaja del DEA en comparación con las herramientas econométricas basadas en regresiones, radica en su enfoque no paramétrico de la frontera de eficiencia (Farrell, 1957; Charnes et al., 1978). Se fundamenta en principios de la teoría de la producción, como la monotonicidad, la convexidad y la homogeneidad, sin asumir una forma funcional específica para la frontera o la distribución de la ineficiencia. Sin embargo, una limitación importante del DEA es que atribuye todas las desviaciones de la frontera a la ineficiencia, lo cual puede ser una suposición simplificada y a menudo no se ajusta completamente a la realidad (Johnson y Kuosmanen, 2011).

El SFA radica en su enfoque probabilístico para modelar las desviaciones con respecto a la frontera de eficiencia, haciendo un tratamiento estocástico de los residuos (Aigner et al., 1977; Meeusen y van den Broeck, 1977). Estas desviaciones se dividen en dos componentes: un término de ineficiencia no negativo y un término de error idiosincrásico. Este último tiene en cuenta factores no observados, como la variabilidad no detectada en las empresas y sus entornos operativos, así como errores aleatorios en la medición y el procesamiento de datos, errores de especificación y otras fuentes de ruido. El SFA utiliza técnicas de regresión paramétrica, lo que implica la necesidad de especificar previamente la forma funcional de la frontera y la distribución de la ineficiencia. Dado que la teoría económica rara vez proporciona una justificación sólida para una forma funcional particular, se recurre a menudo

a formas funcionales flexibles. Sin embargo, estas formas flexibles a veces no cumplen con los principios de la teoría de la producción, lo que puede implicar la reducción en la flexibilidad del modelo (Kuosmanen, et al., 2015).

En resumen, los métodos DEA y SFA no son competidores directos entre sí, sino complementarios. La elección entre ellos implica un equilibrio en el que se sacrifica cierta flexibilidad a cambio de ciertas características. El DEA no modela el ruido pero puede imponer propiedades axiomáticas y estimar la frontera de manera no paramétrica, mientras que la SFA no puede imponer propiedades axiomáticas, pero tiene la ventaja de modelar tanto la ineficiencia como el ruido (Kuosmanen, 2007).

De esta forma, el DEA es valorado por su enfoque no paramétrico que se ajusta a los principios de la teoría de la producción, mientras que la SFA se aprecia por su tratamiento estocástico de la ineficiencia y el ruido, tal como ha sido presentado (Sengupta, 1987; Taylor y Johnes, 1989; Diamond y Medewitz, 1990; Barrow, 1991) y trabajado en diferentes estudios (Kempkes y Pohl, 2010; Bayraktar et al., 2013; Grosskopf et al., 2014; Johnes, 2014).

Para atacar la brecha entre los enfoques mencionados, se han desarrollado numerosos modelos estocásticos de frontera que combinan características de ambos enfoques. Estos modelos, ya sean semiparamétricos o no paramétricos, han evolucionado a lo largo del tiempo (De Witte y López-Torres, 2017). Aunque es claro que estos esfuerzos han logrado combinar algunas de las ventajas de DEA y SFA, aún falta en la literatura una conexión conceptual sólida que fusione los enfoques paramétricos y no paramétricos.

Para el caso de datos transversales, un acercamiento a este desarrollo lo propusieron Banker y Maindiratta (1992) involucrando una frontera no paramétrica estilo DEA, que es lineal por partes y convexa, junto con un término de error paramétrico al estilo de SFA que incluía componentes de ruido e ineficiencia. Sin embargo, este método de estimación basado en máxima verosimilitud restringida, resultó ser complicado de implementar y de proceder computacionalmente (Kuosmanen, 2007).

Posteriormente, Kuosmanen (2006) y posteriormente Kuosmanen y Kortelainen (2007) introdujeron el modelo de datos estocásticos envolvente no paramétrico (StoNED), como una variante aditiva del enfoque presentado por Banker y Maindiratta (1992). Kuosmanen y Kortelainen (2012) desarrollaron un procedimiento de dos etapas para estimar el modelo StoNED de manera práctica. En la primera etapa, se estima la frontera promedio mediante mínimos cuadrados no paramétricos, sujeta a restricciones de forma como monotonidad, concavidad y homogeneidad.

En la segunda etapa, se estiman las desviaciones estándar de los términos de ineficiencia y ruido (utilizando técnicas de momentos o de máxima verosimilitud) donde se calculan los valores esperados condicionales de estos términos de ineficiencia. Aunque en el desarrollo de este modelo, la estimación de la frontera es no paramétrica, el procedimiento completo se describe en la literatura como semiparamétrico (Kuosmanen et al., 2015).

De otro lado, los datos de panel ofrecen mayores ventajas para distinguir entre ineficiencia y ruido estocástico en comparación con una sección transversal. Cuando se observa repetidamente cada institución, es posible atenuar los efectos del ruido aleatorio al calcular

promedios. En la literatura paramétrica relacionada con el SFA, existen dos enfoques predominantes para trabajar con datos de panel: el enfoque de efectos fijos, propuesto por Schmidt y Sickles (1984) y el enfoque de efectos aleatorios, presentado por Lee y Tyler (1978).

En ambos enfoques, se tiene la flexibilidad para relajar ciertos supuestos distributivos con respecto a los términos de ineficiencia y errores. De otro lado, en la literatura no paramétrica, las oportunidades que brindan los datos de panel han sido trabajados inicialmente por Ruggiero (2004) y posteriormente por varios autores (Emrouznejad y De Witte, 2010; Kuosmanen et al., 2015; Olesen y Petersen, 2016; Liu y Xu, 2017; Ngo y Tsui, 2022).

El desarrollo metodológico que presenta Kuosmanen (2007) para datos de panel, consiste en adaptar el modelo StoNED originalmente diseñado para datos de sección transversal a un contexto de datos de panel. Este proceso lo plantea, teniendo en cuenta que la ventaja de trabajar con datos de panel radica en la capacidad de promediar el ruido estocástico sin necesidad de hacer supuestos paramétricos específicos sobre la distribución de los términos de ineficiencia y ruido. Kuosmanen introduce una variante completamente no paramétrica del modelo StoNED, lo que significa que no hace supuestos sobre la forma funcional de estos términos.

Sin embargo, reconoce que en algunos casos puede ser de beneficio hacer ciertos supuestos paramétricos sobre el progreso técnico y los términos de ineficiencia, para descomponer los cambios en la frontera de eficiencia en mejoras, debidas a la eficiencia a lo largo del tiempo (Kuosmanen, 2007; Van Meensel et al., 2010).

El enfoque de efectos aleatorios en datos de panel asume que la ineficiencia, que se mantiene constante a lo largo del tiempo, no tiene una correlación con los insumos; lo cual es una suposición bastante restrictiva. Marschak y Andrews (1944) fueron pioneros al destacar que un administrador racional de una empresa ajustaría sus insumos para compensar la ineficiencia técnica, lo que significa que los insumos observados estarían correlacionados con la ineficiencia.

En tal caso, el estimador de efectos aleatorios estaría sesgado y sería inconsistente. El estimador de efectos fijos propuesto por Kuosmanen y Kortelainen (2012) no depende de esta suposición y ofrece una alternativa robusta (Kuosmanen y Kortelainen, 2012; Kuosmanen y Johnson, 2017).

Para llevar a cabo la estimación práctica del modelo StoNED en un entorno de datos de panel, Kuosmanen y Kortelainen ajustaron el estimador de mínimos cuadrados no paramétrico sujeto a restricciones de forma a esta configuración particular. En este tipo de desarrollo, en la que se aplica el enfoque de efectos fijos a la regresión de mínimos cuadrados no paramétricos sujeta a restricciones de forma en el contexto de datos de panel fue inicialmente trabajado por Kuosmanen (2007). Además, presenta una de las primeras aplicaciones empíricas de este enfoque en el contexto general de la regresión múltiple (Kuosmanen, 2007; Kuosmanen y Kortelainen, 2012; Kuosmanen et al., 2015).

4.3.2. Análisis de eficiencia en la educación con desarrollo temporal

El proceso de adquisición de conocimientos por parte de los estudiantes se ha convertido en un tema de interés central en la investigación educativa, tratada desde distintas perspectivas (Thieme et al., 2011). Numerosos estudios han revelado que la comprensión de este proceso es compleja debido a la interacción de una variedad de factores cognitivos, emocionales y ambientales que influyen en el aprendizaje (Worthington, 2001; Johnes et al., 2014).

Las herramientas disponibles para analizar la eficiencia en la educación abarcan diversos métodos no paramétricos basados en modelos matemáticos de optimización, así como métodos paramétricos. Sin embargo, aun cuando hay varios enfoques empíricos para medir la eficiencia (Johnes, 2014), la literatura sobre eficiencia en educación ha recurrido principalmente a métodos de frontera en dos formas: no paramétricos como el DEA o el FDH (Bradley et al., 2010; Haelermans y De Witte, 2012) y métodos paramétricos como el SFA (Gronberg et al., 2012; Grosskopf et al., 2009; 2014). Adicionalmente, hay variantes o complementos de estos métodos, como el índice de Malmquist (Oh, 2010; Aparicio et al., 2017).

Estos modelos de frontera han captado mucha atención de los investigadores y los distintos enfoques de los estudios realizados, debido a la capacidad para ilustrar fielmente las características esenciales de medir la eficiencia, evaluando la capacidad de una organización para lograr el máximo rendimiento con el mínimo consumo posible de insumos. No obstante, a pesar de su amplio uso en la literatura, cada enfoque tiene sus ventajas y desventajas. Entre ellas, los métodos no paramétricos pueden manejar múltiples entradas y salidas de manera

sencilla, mientras que la mayoría de los enfoques estocásticos requieren elegir una única variable explicativa.

Otra característica importante, es que los enfoques no paramétricos no necesitan suposiciones sobre la forma funcional o especificación del término de error, a diferencia de los métodos estocásticos. Además, los enfoques no paramétricos asumen que todas las desviaciones de la frontera se deben a la ineficiencia, lo que complica la determinación de los límites de las estimaciones y la atribución de significación estadística a los modelos tradicionales (De Witte y López-Torres, 2017).

Finalmente en discrepancia con los enfoques mencionados, se han desarrollado diversos modelos estocásticos de frontera que integran elementos de ambos enfoques. Estos modelos llamados semiparamétricos, como lo han presentado algunos autores (Johnson y Kuosmanen, 2012; Kuosmanen y Kortelainen, 2012; Andor y Hesse, 2014; Kuosmanen et al., 2015) han experimentado desarrollos significativos con el paso del tiempo, particularmente para el campo de la educación (Portela et al., 2012; Agasisti y Bonimi, 2014; Arévalo et al., 2020).

En cuanto al desarrollo longitudinal, las investigaciones más recientes llevadas a cabo en el ámbito educativo se centran principalmente en identificar factores determinantes de rendimiento (Michaelis y Richter, 2022; Temoso y Myeki, 2023), de satisfacción (Heyder, 2019; Sothan, 2019) y perfiles docentes y estudiantiles (Franz et al., 2022; Tsuyuguchi, 2023). Sin embargo, el mayor enfoque en el cual se trabajan desarrollos de panel de datos, es el de analizar la presencia de heterogeneidad no observada en modelos de frontera, a través de “efectos”, tanto fijos como aleatorios (Ferro y D’Elia, 2020). Así mismo, según lo

señalado por Mayston (2015), para abordar la idea de endogeneidad, se plantean en la literatura tres enfoques a saber, modelado de ecuaciones simultáneas, modelos dinámicos y SFA, todos en el marco de datos de panel.

De otro lado, con respecto a la eficiencia en la educación, en la literatura se presentan registros muy limitados. Entre ellos hay dos trabajos recientes que se presentan análisis por medio de datos de panel. Por una parte, Horrace y otros (2022), utilizando datos de panel y un modelo de frontera estocástico de efectos fijos, estimaron la ineficiencia técnica persistente y transitoria en los aumentos de puntaje en las pruebas de matemáticas y artes del lenguaje inglés en las escuelas intermedias públicas de la ciudad de Nueva York. Ese estudio lo realizaron durante un periodo de tiempo entre 2014 y 2016, con técnicas de inferencia multivariante para determinar subconjuntos de escuelas eficientes, proporcionando reglas de decisión para su mejor entendimiento y mejoras.

El otro es el estudio realizado por Myeki y Temoso (2019) quienes intentan dar una respuesta a si están las instituciones de educación superior de Sudáfrica haciendo el uso más eficiente de los recursos que tienen a su disposición. Aplican un método DEA para estimar la eficiencia técnica de 22 universidades públicas en Sudáfrica para el período 2009 a 2013. Este estudio lo realizan con base en que una universidad es eficiente si produce el máximo rendimiento (en término del número de graduados y publicaciones) a partir de una cantidad mínima de insumos (en términos del número de personas, matrícula de estudiantes y gastos de la institución).

Con base en lo presentado, se puede establecer dos afirmaciones relevantes para este estudio. Por una parte, que los modelos de panel de datos permiten desarrollar estudios para evaluar la eficiencia a lo largo del tiempo, lo cual implica medir el rendimiento de una institución (por medio de sus estudiantes) en relación con las variables establecidas, haciendo uso del estimador de efectos fijos. De otro lado, de acuerdo con la revisión de literatura realizada, hasta el alcance del conocimiento de los autores de este estudio no hay referencias de estudios que conlleven a la medición de la eficiencia de instituciones educativas por medio de modelos semiparamétricos (como el StoNED) haciendo uso de datos de panel, más aún, si se particulariza para el territorio colombiano, buscando una posible relación de esta eficiencia con las directrices de los dirigentes políticos.

4.3.3. Relación entre procesos gubernamentales y eficiencia en educación

La sociedad contemporánea demanda que el Estado y los líderes políticos establezcan las condiciones propicias para el desarrollo y la autorrealización de los individuos, especialmente en el contexto de la educación. Uno de los enfoques más significativos se centra en los compromisos adquiridos por los gobernantes en sus propuestas vinculado con la eficacia de los sistemas educativos en un país. Este enfoque parte de la premisa fundamental de que la educación constituye el núcleo de los elementos que mejoran la calidad de vida de las personas y eleva el nivel de desarrollo social de la comunidad (Koçak et al., 2019).

La conexión entre los partidos políticos en el poder y la eficiencia educativa presenta una dinámica compleja y multifacética. Esto se debe a las frecuentes disparidades en las

ideologías, prioridades, intereses y políticas internas de los distintos partidos políticos, factores que pueden ejercer diversas influencias en el sistema educativo. En esta dirección, la diversidad de enfoques y premisas de los dirigentes y sus partidos políticos puede generar una amplia variedad de impactos en la eficiencia de la educación, lo que hace que esta relación sea intrincada y matizada.

Del otro lado, la evaluación de la eficiencia en la educación puede tener diversas implicaciones en el ámbito gubernamental, empleando esta medida como una herramienta aplicable o argumentativa en las acciones y decisiones del gobierno. Este enfoque permite que la medición de eficiencia no solo sirva como una herramienta para evaluar el desempeño educativo, sino también como un instrumento influyente en la formulación de políticas y la toma de decisiones gubernamentales.

Es así como, de acuerdo con lo planteado, se identifican los distintos enfoques y líneas de investigación que presentan distintos estudios desarrollados en este contexto. A continuación, se establecen cinco enfoques a saber: desarrollo socioeconómico, asignación presupuestaria, legislación educativa, políticas institucionales y, finalmente, categorización y estándares docentes.

Desarrollo socioeconómico

Mediante la aplicación de un modelo de efectos de ineficiencia en un conjunto de datos de panel único abarcando un periodo de tres años, Chakraborty y Harper (2017) exploraron la eficiencia productiva de las escuelas gubernamentales en Nueva Gales del Sur, Australia. Los

resultados revelan una eficiencia del 88.6% para las escuelas primarias y del 96.4% para las secundarias.

Además, se destaca de manera consistente que los factores socioeconómicos en la región de los estudiantes desempeñan un papel significativamente más importante que las contribuciones directas de las escuelas para explicar las variaciones en sus puntajes de rendimiento. Este hallazgo subraya la influencia considerable del entorno socioeconómico en el desempeño escolar en comparación con las aportaciones específicas de las instituciones educativas.

De manera semejante, en la región asiática se llevó a cabo una medición de la eficiencia de los recursos educativos de algunos países, acompañada de una evaluación de los impactos de la eficiencia educativa en la competitividad nacional. Este análisis, realizado por Liu y Xu (2017), ha revelado que aquellos países con una alta eficiencia educativa y un desarrollo estable se concentran principalmente en el este y sudeste de Asia.

Según los diferentes niveles de desarrollo o ubicación regional, se concluye que el impulso de la educación solo tiene un impacto significativo en las economías más competitivas. Además, considerando la etapa de desarrollo, se argumenta que los gobiernos deberían basarse en su propio nivel de competitividad para determinar las áreas prioritarias de desarrollo. Este enfoque resalta la relación intrínseca entre la eficiencia educativa, el desarrollo económico y la competitividad nacional en la región asiática.

Posteriormente en India, existe un debate continuo en torno a las métricas de eficiencia y los procedimientos de clasificación aplicados a las instituciones de educación, con el objetivo de ofrecer una contribución crítica para que la sociedad elija adecuadamente la institución educativa más apropiada. Ante este escenario, Kumar y Thakur (2019) proponen un método que representa una nueva metodología objetiva y fundamentada en la investigación para clasificar las instituciones, especialmente aquellas que operan en regiones con contextos sociales, económicos y políticos diversos. Este método plantea incrementar la imparcialidad y la precisión en la categorización de las instituciones educativas en la India.

Así mismo, en 2019, el desarrollo socioeconómico fue planteado como uno de los enfoques más significativos es el análisis del impacto social, económico y de desarrollo asociado a la efectividad de los sistemas educativos en diversas naciones (Koçak et al., 2019). Esto se fundamenta en la idea de que la educación constituye el núcleo de los elementos que mejoran el nivel de vida de las personas y contribuyen al desarrollo social de la comunidad. Los autores argumentan que la búsqueda de una educación de calidad se posiciona como uno de los objetivos clave en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, dada la relevancia actualizada de estos factores en sus respectivos contextos.

Luego, y en la misma línea, Agasisti y otros (2020) examinaron la relación entre la eficiencia de los sistemas regionales de educación superior y las tasas de desarrollo económico en regiones rusas durante el periodo comprendido entre 2012 y 2015. Para evaluar la eficiencia a nivel institucional, emplean el análisis envolvente de datos semiparamétricos de dos etapas, junto con un enfoque de regresión truncada con remuestreo. Luego, agregan los puntajes obtenidos a nivel institucional para obtener puntajes regionales. Al considerar la eficiencia

de los sistemas regionales de educación superior como una variable explicativa en un modelo econométrico, identifican un efecto positivo y estadísticamente significativo de la eficiencia de estas instituciones en el crecimiento económico a nivel regional.

Por último, se subraya la importancia de determinar la relevancia de los logros educativos de los inmigrantes, especialmente para aquellos con niveles educativos bajos, al evaluar el significativo impacto de los inmigrantes en la libertad económica de los estados en Estados Unidos. En este contexto, Padilla y otros (2020) descubrieron que el impacto de la libertad económica, específicamente en el ámbito de transferencias y subvenciones gubernamentales, asociado a los inmigrantes sin diploma de escuela secundaria, tiene un efecto negativo.

Asignación presupuestaria

En este aspecto presupuestario, para 2012, Sexton y otros presentaron un mecanismo de financiamiento estatal para escuelas y universidades públicas en los Estados Unidos fundamentado en la eficiencia. Su modelo crea incentivos para que los administradores eliminen gastos innecesarios, mejoren los resultados positivos y, al mismo tiempo, mantengan la calidad educativa y la productividad de la investigación. Los resultados de su estudio indican que un enfoque de financiamiento basado en la eficiencia educativa podría reducir los gastos del gobierno estatal en estas instituciones en un 9%. En conclusión, sugieren que el financiamiento basado en la eficiencia es una opción políticamente viable (Sexton et al., 2012).

Para el caso de Ucrania, se desarrolló un estudio donde se examinaron y evaluaron las estrategias de desarrollo y la gestión de los recursos económicos gubernamentales en el ámbito de la educación profesional. Al adentrarse en la práctica de definir los desembolsos de los presupuestos estatales y locales destinados a la educación vocacional, Kovernuk (2016) llegó a la conclusión de que, en este proceso, la metodología normativa de planificación presupuestaria ejerce un control preeminente sobre otros factores como los relacionados con el ámbito académico y la eficiencia educativa.

De manera general, en los países europeos que componen la UE15, se han observado resultados que respaldan las afirmaciones hechas por la OECD (2016) acerca de la calidad y equidad en sus sistemas educativos. Según esta perspectiva, las habilidades de los estudiantes están estrechamente relacionadas con sus características individuales, la asignación de recursos gubernamentales en los sistemas escolares y la distribución de estudiantes en las instituciones (OECD, 2019). En contraposición, factores como el PIB per cápita y los gastos gubernamentales no se correlacionaron con puntajes más altos en las evaluaciones PISA.

Sin embargo, se observó que la situación inversa era cierta. Los resultados indicaron que los países menos desarrollados, especialmente aquellos fuera de la OCDE, podían mejorar el desempeño estudiantil en las pruebas PISA al aumentar las inversiones en educación. Además, en promedio, se identificó una correlación positiva entre los puntajes de PISA y el PIB per cápita nacional, los gastos gubernamentales en educación y el índice de democracia (Mazurek y Mielcová, 2019).

Particularmente, con base en investigaciones previas, China ha concebido un enfoque que se apoya en el rendimiento académico para que un planificador central distribuya recursos de investigación entre diversas instituciones universitarias, con el propósito de incentivar un rendimiento óptimo en la investigación. La implementación de este modelo cobra relevancia, dado que el gobierno chino está en proceso de introducir un nuevo programa de financiamiento denominado "plan doble de primera clase", donde el financiamiento orientado al rendimiento se posiciona como un componente central de la financiación gubernamental (Wang, 2019).

Finalmente, con la perspectiva de que la función principal de la educación superior en economías basadas en el conocimiento es impulsar la innovación, en Europa Central y Oriental la eficiencia de la educación superior refleja la alineación de la política educativa de nivel superior con los gastos gubernamentales y la eficiencia educativa en todos los niveles educativos. Esta eficiencia se ve respaldada por una asignación efectiva de recursos y evaluaciones integrales en la toma de decisiones a nivel macro durante las reformas de las políticas de educación superior (Andrejević-Panić y Lozanov-Crvenković, 2019).

Legislación educativa

En relación con el enfoque de la legislación política, existen estudios significativos sobre la política educativa contemporánea, como el trabajo de Sengupta y Sfeir (1986) en California. Este estudio impulsó un proceso legislativo destinado a mejorar los puntajes en exámenes estandarizados, iniciado por el Departamento de Educación del Estado de California. La propuesta consistía en proporcionar donativos y otorgar bonos especiales a las escuelas que

demostrarán mejores resultados en las pruebas del Programa de Evaluación de California, que abarcaba áreas como lectura, expresión escrita, matemáticas y ortografía.

Además, se destacó el papel de la inscripción minoritaria, especialmente la población hispana en California, en la productividad de los insumos docentes. Esta población superó más del doble del promedio nacional, proporcionando razones para la distribución equitativa de recursos a otras minorías como los afrodescendientes y asiáticos.

Con un aspecto más zonal, se llevó a cabo un estudio en cuatro países de ingresos bajos y medios, a saber, Etiopía, India, Perú y Vietnam, con el objetivo de evaluar la eficiencia de los sistemas educativos. Para este propósito, se empleó una variante metafrontera del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar el desempeño relativo de cada sistema educativo a nivel nacional y, a su vez, evaluar el impacto de la educación pública y privada, así como la ubicación en áreas urbanas y rurales dentro de cada país.

Los resultados revelaron que en ninguno de estos países el sistema educativo opera de manera uniforme, ya sea para bien o para mal. De acuerdo con los insumos disponibles, se observó que las áreas rurales a menudo exhiben niveles más altos de eficiencia, planteando importantes implicaciones para los análisis socioeconómicos y las políticas educativas (Johnes y Virmani, 2019).

De otro lado, y de acuerdo con un enfoque de reforma educativa para el desarrollo, se realizó un estudio de caso integral que involucra a 10 instituciones del Florida College System. Este análisis, planteado por Nix y otros (2020), se centró en comprender cómo perciben los

profesionales de la educación que los mandatos de la reforma moldean su capacidad para cumplir con su misión educativa.

Los resultados revelaron que el personal del campus respalda la misión del Sistema de Colegios de Florida en términos de igualdad democrática. No obstante, también se evidenció una preocupación generalizada respecto a que la reforma educativa para el desarrollo pudiera priorizar la eficiencia sobre la igualdad en la búsqueda de reducciones de costos. Además, hubo desacuerdo con respecto a la aceleración de los cursos de educación para el desarrollo, considerando que esto generaba un ritmo inmanejable y pasaba por alto la presencia evidente de una brecha digital.

Es así como, el desarrollo de estos análisis legislativos permitió identificar diversas implicaciones políticas y reglamentarias en los países que conforman la unión europea. Esto surge después de su análisis de las relaciones entre las competencias de los estudiantes en áreas como matemáticas y lectura, y su estado socioeconómico realizado por Sulis y otros (2020). Su investigación se centra en entender cómo esta conexión varía entre naciones a lo largo del tiempo.

Además, presentan un conjunto de indicadores ajustados que evalúan el trasfondo social, económico y cultural en relación con las competencias de los estudiantes. Estos indicadores resultan cruciales para investigar el rendimiento educativo a lo largo del tiempo, considerando tanto la calidad (competencias estudiantiles promedio) como la equidad (la baja asociación entre el rendimiento estudiantil y sus antecedentes en desarrollo) de manera individual y grupal en estos países.

Recientemente, en Sudáfrica, el gobierno se encontró ante el desafío de abordar las desigualdades en la provisión de educación posterior a la segregación racial. Esto implicaba ampliar el acceso y la participación, al mismo tiempo que permitía la autonomía de las escuelas y fomentaba la eficiencia en las instituciones educativas. Además, la transformación política trajo consigo un enfoque significativo en la necesidad de compartir la responsabilidad de la gestión escolar entre el gobierno local y el Estado.

Este modelo de “centralismo descentralizado” ha impregnado el sistema educativo sudafricano al punto de que, paradójicamente, la regulación desde la periferia ha contribuido gradualmente a un sistema educativo más centralizado, dando forma al desarrollo del “centralismo descentralizado” en el contexto educativo de Sudáfrica (Du Plessis, 2020).

Con el objetivo de evaluar el desempeño eficiente de las escuelas públicas en España, Salas-Velasco (2020), utilizando datos a nivel escolar de PISA 2012, descubre mediante un análisis de frontera estocástica que una mayor autonomía y responsabilidad escolar en la asignación de recursos se asocian con una mejora en la eficiencia. Las escuelas privadas subvencionadas (conocidas como centros concertados) demostraron ser más eficientes en comparación con las escuelas públicas. Este fenómeno se atribuye a que las escuelas privadas subvencionadas no están sujetas a las restricciones burocráticas que afectan a las escuelas públicas, y tienen un mayor control sobre diversas decisiones a nivel escolar, como la selección de su propio personal docente.

Finalmente, mejorar la eficiencia se convierte en el fundamento clave de reformas significativas en las instituciones educativas públicas. Aunque ha habido una cantidad

sustancial de investigaciones que han analizado la relación entre el rendimiento real y el percibido, existe una falta de exploración en este contexto específico en relación con la eficiencia y las directrices educativas.

En el caso de Estados Unidos, utilizando datos sobre el rendimiento estudiantil y el gasto público en educación, se investigó la conexión entre la eficiencia real y la percibida, considerando el gasto público. Los resultados revelaron una sólida relación positiva entre la eficiencia real y la medida percibida de eficiencia, según la gestión realizada. Esta investigación respalda la tendencia normativa de los administradores públicos hacia una mayor transparencia e inversión, sugiriendo que los ciudadanos responderán de manera adecuada a la información proporcionada (Brunner et al., 2022).

Políticas institucionales

Otro enfoque de importancia, en relación con el impacto de las directrices dadas por el gobierno central, se centra en las áreas donde están ubicadas las instituciones, las cuales representan activos de gran valor que afectan a diversos interesados (Rymarzak y Marmot, 2020). La evolución de estas instituciones, especialmente en el Reino Unido y Polonia, genera un amplio debate al considerar el control ejercido por el gobierno central en contraste con la autonomía institucional. En este contexto, se destaca que las partes interesadas podrían obtener beneficios significativos a través de un desarrollo conjunto acordado, especialmente en términos de administración, lo que contribuiría a mejorar la eficiencia, la efectividad y la sostenibilidad de las instituciones educativas.

Un ejemplo concreto de esto se evidencia en cómo las naciones que forman parte de la OCDE han explorado la relación entre los resultados obtenidos en la evaluación internacional PISA, desde el año 2015, con estudiantes entre 15 y 16 años. En este contexto, se resalta la identificación de un umbral específico en términos del Producto Interno Bruto (PIB) per cápita y los gastos gubernamentales per cápita destinados a la educación de los países involucrados (OECD, 2016).

Para el caso de las escuelas en Nueva Gales del Sur, en Australia, Haug y Blackburn (2017) evidenciaron que, con un valor menor de matrícula, maestros con más años de experiencia y una proporción superior de estudiantes con necesidades especiales, atraen financiamiento adicional del gobierno. Contrariamente, las escuelas en áreas metropolitanas provinciales y exteriores experimentan una influencia negativa. Además, la condición socioeconómica de los estudiantes no incide significativamente en su rendimiento académico, pero un desempeño académico más alto tiene un impacto positivo y significativo en los resultados estudiantiles. Estos hallazgos tienen implicaciones cruciales para los responsables gubernamentales en la formulación de criterios de financiamiento educativo anual.

En el contexto español, la teoría del federalismo fiscal plantea que la descentralización puede tener un impacto positivo en la provisión de bienes, servicios públicos y contextos académicos. Sin embargo, aún persiste la falta de consenso en cuanto a los efectos de la descentralización parcial. Al analizar los resultados educativos derivados de la reforma parcial de descentralización fiscal de 1980, que implicó la transferencia escalonada de competencias educativas a las regiones, se observa que dicha reforma tuvo un efecto significativo en la tasa de abandono escolar temprano. Es importante señalar que estos efectos

son más pronunciados en las regiones con ingresos elevados y la reforma no logró mejorar los resultados educativos en el ámbito del programa vocacional (Salinas y Solé-Ollé, 2018).

Categorización estándares docentes

Un enfoque crucial al examinar la relación entre eficiencia educativa y gobiernos se centra en la relevancia de la educación para la competitividad nacional y el desarrollo futuro. Aunque la asignación de recursos asegura el progreso educativo, preocupa la eficiencia en la utilización de dichos recursos, su relación insumo-producto y su impacto en la competitividad nacional (Teddlie y Reynolds, 2001).

Por ejemplo, en Asia se evaluó la eficiencia de los recursos educativos y sus efectos en la competitividad nacional. Se observó que aquellos con alta eficiencia educativa y desarrollo estable se concentran en el este y sudeste de Asia. De acuerdo con niveles de desarrollo y ubicación regional, la educación es más significativa en las economías altamente competitivas. Además, considerando la etapa de desarrollo, los gobiernos deberían basar sus prioridades en sus niveles de competitividad (Liu y Xu, 2017).

En esta dirección, las evaluaciones de la enseñanza realizadas por estudiantes están siendo cada vez más empleadas en la educación superior para evaluar el desempeño docente. Sin embargo, persiste la controversia en torno a estas evaluaciones, ya que algunos maestros, profesionales y estudiosos argumentan que los puntajes resultan "injustos", dado que no toman en cuenta factores externos al control del profesor. En este contexto, es beneficioso para el gobierno de las instituciones educativas establecer cómo medir la eficiencia de la

enseñanza según la percepción de los estudiantes, con el objetivo de implementar políticas de contratación docente, métodos de enseñanza apropiados y asignación de recursos financieros adecuados (De Witte y Rogge, 2011).

Una de estas condiciones propicias corresponde directamente al sistema educativo del país. Para el caso de Ucrania, la reforma del proceso educativo resalta la necesidad de un enfoque conceptual, el cual constituye una parte esencial de la competitividad de los ciudadanos. A pesar de que los legisladores han introducido diversas innovaciones positivas y cambios en las relaciones legales existentes en el ámbito educativo, no existe un claro logro en la regulación adecuada para abordar los problemas inherentes a los procesos educativos.

Al analizar algunas disposiciones de la Ley de la República de Polonia “sobre el sistema de educación” y las disposiciones relevantes de la Ley de Ucrania “sobre la educación”, se puede concluir que el legislador polaco ha abordado con mayor detalle la cuestión de la regulación legislativa de los aspectos relacionados con el control y la supervisión en el ámbito de la eficiencia del sistema educativo (Teremetskyi et al., 2017).

En relación con la formación docente, surge la interrogante acerca de las razones para ofrecer o participar en cursos de desarrollo profesional en educación superior. Silander y Stigmar (2019), tras examinar el impacto de dichos cursos en la práctica docente y el aprendizaje estudiantil en Suecia, exploran las motivaciones detrás de la participación en estos cursos. Los resultados revelan que, aunque todos los involucrados favorecen los cursos obligatorios, las motivaciones difieren. Estudiantes, administración y gobierno adoptan una perspectiva institucional, resaltando la utilidad, función y producción de habilidades, mientras que los

profesores universitarios se orientan más hacia una perspectiva individual centrada en el aprendizaje eficiente.

Resulta evidente que las políticas gubernamentales, especialmente en el ámbito educativo, dependen de la recaudación de impuestos para su ejecución, lo que implica una asignación eficiente de los recursos públicos para maximizar los beneficios. Sin embargo, evaluar las instituciones de educación superior públicas es una tarea sumamente compleja debido a la multitud de factores involucrados. Moncayo–Martínez y otros (2020) centraron su atención en el rendimiento de estas instituciones en tres áreas clave: enseñanza, investigación y difusión del conocimiento. A través de un modelo DEA, evaluaron la eficiencia de cada actividad por separado y observaron que la mayoría de las instituciones son eficientes en una sola actividad, mientras que pocas demuestran eficiencia en dos. Únicamente una institución logró una eficiencia del 100% en las tres actividades.

Otra metodología para evaluar la labor docente involucró la estimación de la eficiencia global de la actividad docente en las instituciones de educación superior en Polonia durante 2015. A través del uso del método no paramétrico DEA y la consideración de múltiples factores de medición (como el número de graduados, doctorados, certificados de estudios, docentes académicos y los ingresos totales de cada actividad), Brzezicki et al. (2020) determinaron que, en promedio, la proporción de subsidios presupuestarios y tarifas de estudiantes a tiempo parcial en los ingresos de la actividad docente opera a un nivel de eficiencia del 87%. Se observa también una correlación positiva, aunque débil, entre los índices de eficiencia total de los docentes y los resultados financieros derivados de las actividades de enseñanza.

4.4. Método y datos

Esta sección se compone de dos partes. En la primera parte se presentará en qué consiste la metodología desarrollada a lo largo de este estudio, en la cual se presenta una versión del modelo StoNED diseñada para datos de panel (Kuosmanen et al., 2015). En la segunda parte, se describen los datos y fuentes que se utilizan en el modelo, identificando las respectivas variables utilizadas, como *outputs*, *inputs* y variables de entorno.

4.4.1. Planteamiento metodológico

El uso de datos de panel es frecuente en la literatura de Análisis de Frontera Estocástica (SFA) y existen varios modelos alternativos de SFA que consideran tanto la ineficiencia constante en el tiempo como la ineficiencia variable en el tiempo (Greene, 2008; Li et al., 2016). Por otro lado, los estudios de Análisis Envolvente de Datos (DEA) tienden a pasar por alto la dimensión temporal de los datos de panel, tratando el panel completo como una única observación transversal, o tratando cada período de tiempo como una observación transversal independiente (Andor y Hesse, 2014; Koçak et al., 2019).

La interpretación de regresión del DEA permite combinar de la frontera axiomática al estilo DEA con las técnicas modernas de datos de panel utilizadas en la econometría. Los primeros en considerar un enfoque de efectos fijos para estimar un modelo de ineficiencia constante en el tiempo fueron Kuosmanen y Kortelainen (2012). Su estimador StoNED de datos de panel, completamente no paramétrico, puede ser visto como una versión no paramétrica del enfoque SFA clásico (Eskelinen y Kuosmanen, 2013).

Esta versión del modelo StoNED diseñada para datos de panel supone que la función de producción es monótona, creciente y cóncava, como en su versión original, sin asumir alguna forma funcional particular (Kuosmanen et al., 2015).

Dado un conjunto de datos donde se observa cada unidad durante períodos de tiempo $t = 1, \dots, T$ y un modelo de frontera invariante en el tiempo

$$y_{i_t} = f(x_{i_t}) - u_i + v_{i_t}, \forall i = 1, \dots, n, \forall t = 1, \dots, T, \quad (11)$$

donde y_{i_t} es la producción observada de la unidad i en el período t , x_{i_t} es un vector de insumos utilizados por la unidad i en el período t , y f es una función de producción de frontera que es invariante en el tiempo y común a todas las unidades.

Al igual como se trabaja el modelo StoNED transversal, u_i es un término de ineficiencia específica de la unidad que no cambia con el tiempo y v_{i_t} es un término de ruido aleatorio de la unidad i en el período t . Estos dos términos se asumen independientes de las entradas x_{i_t} y entre sí (Kuosmanen y Kortelainen, 2012). Para calcular este modelo, se modifica el estimador convencional de mínimos cuadrados convexos no paramétricos (CNLS) de la siguiente manera:

(12)

$$\min_{\alpha, \beta, \varepsilon} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n (\hat{\varepsilon}_{i_t}^{CNLS})^2$$

sujeto a:

(13)

$$y_{i_t} = \alpha_{i_t} + \vec{\beta}_{i_t} \vec{x}_{i_t} + \varepsilon_{i_t}^{CNLS}$$

$$\alpha_{i_t} + \vec{\beta}_{i_t} \vec{x}_{i_t} \leq \alpha_{i_t} + \vec{\beta}_{i_t} \vec{x}_{h_s}$$

$$\vec{\beta}_{i_t} \geq 0$$

$\forall i, h = 1, \dots, n$ y $\forall t, s = 1, \dots, T$, donde $\hat{\varepsilon}_{i_t}^{CNLS}$ es el residuo de los CNLS para cada unidad i en el período t . Es importante notar que los parámetros α_{i_t} y $\vec{\beta}_{i_t}$, que describen los hiperplanos tangentes de la función de producción estimada, son únicos para cada unidad en cada periodo de tiempo. Por lo tanto, al estimar una frontera lineal por partes, se calculan hasta nT hiperplanos (Kuusmanen et al., 2015).

Dada la solución del problema planteado, se calculan los efectos específicos de cada unidad como:

$$\bar{\varepsilon}_{i_t}^{CNLS} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{i_t}^{CNLS}.$$

Ahora, de acuerdo con Schmidt y Sickles (1984), se mide la eficiencia en relación con la unidad más eficiente de la muestra

$$\hat{u}_i^{StoNED} = \left(\max_{h=1, \dots, n} \bar{\varepsilon}_h^{CNLS} \right) - \bar{\varepsilon}_i^{CNLS}. \quad (15)$$

Luego, se estima la función media condicional adaptada a datos de panel como:

$$\hat{g}_{\min}^{CNLS}(\vec{x}) = \min_{\alpha, \beta} \{ \alpha + \vec{\beta} \vec{x} : \alpha + \vec{\beta} \vec{x}_{i_t} \geq \hat{g}^{CNLS}(\vec{x}_{i_t}), \quad (16)$$

$\forall i = 1, \dots, n$ y $\forall t = 1, \dots, T$. Finalmente el estimador de la frontera StoNED se obtiene como:

$$\hat{f}^{StoNED}(\vec{x}) = \hat{g}_{\min}^{CNLS}(\vec{x}) + \max_{h=1, \dots, n} \bar{\varepsilon}_h^{CNLS}. \quad (17)$$

Es preciso aclarar que, se ha demostrado que tanto los estimadores de frontera como los de ineficiencia son estadísticamente consistentes, cumplen con el principio de monotonicidad,

de concavidad y el término de error compuesto homocedástico, bajo los supuestos establecidos (Kuosmanen y Kortelainen, 2012; Kuosmanen et al., 2015), por lo que no se requieren formas funcionales paramétricas ni supuestos distributivos.

Si bien el estimador de efectos aleatorios puede seguir siendo valioso incluso si la ineficiencia varía con el tiempo. En tal caso, el estimador de ineficiencia se puede interpretar como la eficiencia promedio a lo largo del período de estudio. Sin embargo, para datos de panel se requiere que la ineficiencia invariante en el tiempo no esté correlacionada con los insumos.

Marschak y Andrews (1944) estuvieron entre los primeros en señalar que esta es una fuerte suposición, ya que el administrador racional ajustará los insumos para tener en cuenta la ineficiencia técnica. En este caso los insumos observados están correlacionados con la ineficiencia y el estimador de efectos aleatorios estaría sesgado e inconsistente.

Es importante destacar que el estimador de efectos fijos considerado por Kuosmanen y Kortelainen (2012) no depende de este supuesto. Así, aunque los residuos del CNLS pueden contener ruido aleatorio, la presencia de una tendencia de una variación (crecimiento o disminución) indica claramente que el rendimiento de la unidad ha experimentado un cambio (mejora o deterioro) durante el período analizado (Kuosmanen et al., 2015).

Finalmente, es importante destacar que los índices de rendimiento comparativo suelen reflejar las diferencias en la geografía, la logística, el entorno y las estructuras institucionales entre los departamentos. Este es un desafío bien conocido en todos los enfoques de efectos fijos (Greene 1999; Greene et al., 2006). Sin embargo, si nuestro interés se centra en los

cambios en la eficiencia a lo largo del tiempo, entonces cualquier disparidad constante a lo largo del tiempo entre departamentos no afectará los resultados.

4.4.2. Datos y variables

En Colombia, previo a culminar la educación secundaria, los alumnos deben someterse a la evaluación Saber 11. Este examen es esencial para ingresar a programas de educación superior, como lo estipulan la Ley 30 de 1992 y la Ley 1324 de 2009. Es relevante destacar que, de acuerdo con la normativa actual, las pruebas Saber 11 no son requeridas obligatoriamente para obtener el título de bachiller. No obstante, la Ley 1324 de 2009 demanda que todas las instituciones educativas administren este examen a sus estudiantes, salvo en casos excepcionales.

Según lo expuesto, este estudio se llevará a cabo utilizando los datos de las pruebas SABER 11 realizadas entre los años 2016 y 2019²⁶. Se ha organizado la información correspondiente a las instituciones educativas, seleccionando aquellas de las cuales se pudo obtener los datos necesarios para todas las variables consideradas en el modelo durante el período establecido.

Como resultado, se analizó una muestra promedio de 498,000 estudiantes de un total de 8,562 instituciones educativas, siendo 5,945 de carácter público y 2,617 privadas. De estas

²⁶ Periodo de tiempo de la última administración de gobiernos locales en Colombia, para realizar la relación de las respectivas autoridades de cada localidad.

instituciones, 5,832 están ubicadas en áreas urbanas y 2,730 en zonas rurales, distribuidas en los 1,092 municipios que componen los 33 departamentos de Colombia²⁷.

La primera fuente de información procede del Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES)²⁸, específicamente de la evaluación Saber 11, la cual está accesible en un repositorio destinado para investigadores y para la divulgación. Esta base de datos ofrece información acerca de los estudiantes, sus familias y las instituciones educativas vinculadas durante el periodo investigado.

La segunda fuente de datos corresponde al catálogo de microdatos del Archivo Nacional de Datos (ANDA) del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE)²⁹, relacionado con la encuesta de educación formal. Esta base de datos está compuesta por diversos módulos que proporcionan una descripción detallada de las instituciones educativas del país, incluyendo aspectos como los estudiantes, los docentes, el personal administrativo y características específicas sobre las instituciones mismas.

En esta investigación, se abordan las instituciones educativas como las Unidades de Decisión (DMU, por sus siglas en inglés). Para identificar estas DMU, se recopila la información pertinente de estudiantes y de instituciones. La información se gestiona en dos niveles de agregación distintos: a nivel de las instituciones educativas y a nivel de los departamentos correspondientes. La agregación a nivel de las instituciones se hace para trabajar con la

²⁷ Se hace la claridad que, en este documento, cuando se refiera a departamentos se está involucrando a Bogotá (distrito capital); es decir, se hablará de 33 departamentos.

²⁸ ICFES <https://www2.icfes.gov.co/investigadores-y-estudiantes-posgrado/acceso-a-bases-de-datos>

²⁹ DANE http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/MICRODATOS/about_collection/25/2

información total de los estudiantes de cada institución, buscando consistencia y disponibilidad de los datos de las instituciones.

En lo que respecta a la agrupación por departamentos, se pretende ofrecer una perspectiva más amplia y abarcadora de la realidad educativa del país. Esto se logra al establecer estándares de comparación entre las instituciones evaluadas, a nivel departamental, en lugar de limitarse a considerar únicamente los municipios más destacados o de mayor tamaño del país, permitiendo así una recopilación de datos que abarca un espectro más amplio y representativo.

De acuerdo con la revisión de literatura realizada, la información recopilada y en concordancia con la metodología propuesta, se plantea el modelo con seis variables distribuidas en un *output* (y), tres *inputs* (x_1, x_2, x_3) y dos variables de entorno (z_1, z_2). En investigaciones sobre eficiencia en el ámbito educativo, es común emplear los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas en diversos entornos educativos como el *output* del análisis (Cordero et al., 2016; Lopez-Torres y Prior, 2016; Giménez et al., 2017; Giménez et al., 2019; Ferro y D'Elia, 2020; Viana et al., 2020; Umaña et al., 2022). De acuerdo con lo anterior, en este estudio se tomará el total de los resultados globales de los estudiantes en las pruebas mencionadas, por institución educativa en cada uno de los años, como *output*.

Este *output* se calcula como la suma acumulada de los puntajes de todos los estudiantes de cada institución educativa que realizaron las pruebas de Saber 11. A pesar de que es posible realizar esta prueba en múltiples ocasiones, lo cual algunos individuos hacen, los datos analizados se limitan a los estudiantes que han tomado la prueba por primera vez. Esto se

hace con el propósito de vincular únicamente a aquellos estudiantes que la presentan después de haber completado su educación en la institución en la que finalizaron sus estudios.

Los *inputs* utilizados en esta investigación son las variables típicamente empleadas en el análisis de eficiencia en el ámbito educativo, las cuales son ampliamente documentadas en la literatura. Estas variables engloban la matrícula estudiantil, el número de profesores y la disponibilidad de equipos electrónicos. Finalmente, dos índices que evalúan factores de entorno, relacionados con aspectos socioeconómicos y culturales de los estudiantes y de la institución (Portela et al., 2013; Agasisti, 2014; De Witte y López-Torres, 2015; Aparicio et al., 2017; Agasisti et al., 2020; Arbona et al. 2022a).

El número de estudiantes matriculados en la institución educativa establece un *input* muy utilizado en los estudios de eficiencia educativa (Thieme et al., 2013; Crespo-Cebada et al., 2014; Podinovski et al., 2014; Agasisti et al., 2020, Arbona et al., 2022b). Este *input* es de importancia ya que implica conexiones significativas entre las características específicas de las instituciones, vinculando la cantidad de estudiantes con los recursos disponibles, lo que posiblemente influye en la calidad del estudiante. En esta línea, este análisis considera como *input* la cantidad de estudiantes matriculados en cada institución educativa.

Con respecto a los recursos humanos, la literatura indica que la variable principal empleada para evaluar la eficiencia en la educación se relaciona principalmente con los docentes (Cordero et al., 2016; Aparicio et al., 2017; Haelermans y Ruggiero, 2017; López-Torres et al., 2017; Tran y Villano, 2018). Así, para efectos de este estudio, se sigue la línea de los docentes en la institución que dictan clase a los estudiantes de educación media.

En la literatura, se ha empleado de manera recurrente una variable que representa los recursos físicos que están a disposición en las instituciones educativas. Esta variable se refiere al número de dispositivos electrónicos en buen estado que la institución educativa posee y que pueden ser utilizados (Agasisti, 2011; Perelman y Santín, 2011; Mancebón et al., 2012; Brzezicki et al., 2020, Moncayo-Martínez et al., 2020). Por lo tanto, se considera como *input* la suma de todos los ordenadores de escritorio, portátiles y tabletas disponibles, así como el equipo electrónico actualmente en uso, en cada institución educativa.

Finalmente, se deben tener en cuenta las opciones sugeridas para determinar los elementos ambientales, que han sido un indicador aplicado en cálculos de eficiencia en la educación (Cordero et al., 2017; Cordero et al., 2018; Giménez et al., 2017; García-Díaz et al., 2020; Cordero et al., 2022; Erdogan et al., 2022). Así, se incluirán en el estudio factores ambientales dados por dos variables de entorno, una corresponde al entorno de cada institución educativa y la otra corresponde al entorno de los estudiantes de cada institución educativa. Estos factores relacionan el índice socioeconómico y cultural de los estudiantes y de cada institución educativa, los dos tomados de manera continua.

Es preciso aclarar que estas variables no son tomadas como *inputs* sino como factores de entorno (variables *Z*), dado que en el desarrollo de este estudio se aplica un modelo StoNED *Z* dinámico. Lo anterior cobra sentido ya que, durante el periodo de estudio, es importante considerar las diversas connotaciones que pueden influir positiva o negativamente en el desarrollo socioeconómico y cultural, tanto del individuo como de la institución. Estas connotaciones pueden afectar significativamente el desarrollo mencionado, lo que resalta la importancia de tenerlas en cuenta en este modelo longitudinal (Worthington y Lee, 2008;

Ferro y D'Elia, 2020). Además, tras analizar un modelo de corte transversal y observar el impacto significativo de las variables ambientales año tras año, es aún más evidente la influencia en el desarrollo del comportamiento a lo largo del periodo de estudio. Ignorar estas variables en un estudio longitudinal implicaría erróneamente considerarlas constantes en el tiempo, cuando en realidad, en nuestro caso de estudio, hay evidencia suficiente para garantizar que estas variables cambian en el tiempo (Worthington y Lee, 2008; De Witte y López-Torres, 2017; Yao et al., 2018).

Por último, la Tabla 10 presentada en el capítulo anterior, muestra los valores correspondientes a las estadísticas descriptivas de cada una de las variables que se han de utilizar y de cada uno de los años que se tendrá en cuenta en el desarrollo de este estudio. En relación con lo trabajado en este capítulo, es preciso señalar que, las estadísticas muestran un comportamiento no ideal en el proceso educativo. Es así como, aunque el promedio de estudiantes matriculados decreció en 1,17%, el promedio del puntaje global bajó en 5,04%.

De otro lado, y de manera positiva, aunque la cantidad promedio de docentes aumentó en 9,13% y la cantidad promedio de los equipos electrónicos aumentaron en 11,76%, no se llegan a cantidades significativas en relación con la cantidad de estudiantes con que se trabajan.

4.5. Resultados y discusión

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos al realizar las estimaciones correspondientes al proceso metodológico estipulado y se realizará una discusión, con base

en los resultados, de cara a establecer la evolución de la eficiencia de las instituciones educativas de los departamentos de Colombia, entre los años de 2016 a 2019.

4.5.1. Resultados

De acuerdo con la metodología planteada y con base en el análisis de los datos para el periodo de cuatro años (2016-2019), con que se realizó este estudio, se logran identificar distintos resultados que establecen connotaciones particulares que llevan a atacar el propósito clave de esta investigación. En primer lugar, la Tabla 13 presenta el índice de la eficiencia promedio que se ha logrado obtener por parte de las instituciones educativas en Colombia, en cada uno de los años del periodo mencionado. Posteriormente, presenta el índice promedio de la eficiencia que se podía lograr alcanzar, con base en los datos relacionados como entradas en el modelo. Finalmente, presenta el porcentaje promedio que representan los niveles de eficiencia que quedaron pendientes de conseguirse, por parte de la gestión de dichas instituciones.

Tabla 13: Índices de eficiencia de las instituciones educativas en Colombia por año.

Año	Índice promedio de eficiencia	Índice promedio de eficiencia*	Porcentaje promedio por lograr
2016	0,4002	0,7866	49,12%
2017	0,4604	0,8621	46,60%
2018	0,4071	0,8365	51,33%
2019	0,4938	0,8892	44,47%

Elaboración propia.

Este resultado permite descifrar un panorama general de la eficiencia promedio alcanzada por las instituciones educativas en Colombia. Se puede evidenciar que, en promedio, al final del periodo evaluado el porcentaje de eficiencia por alcanzar fue menor que el evidenciado al inicio del periodo. Esto puede dar a entender que hubo una mejoría en la gestión en las instituciones educativas, a nivel nacional a lo largo del periodo en mención. Sin embargo, la eficiencia alcanzada deja una brecha significativa de más del 44% de eficiencia por lograr; lo cual corresponde a una subutilización considerable de los recursos con que se cuenta, en promedio, en las distintas instituciones.

De otro lado, se debe tener presente que, dada la centralización y margen imparcial (Tsai et al., 2017) que se ha observado en la línea de la eficiencia en educación en este país (Arévalo et al., 2022), estos resultados pueden presentar variaciones de consideración entre las instituciones de los distintos departamentos que componen Colombia.

Ante esta realidad, la Tabla 14 presenta la eficiencia promedio por cada departamento de Colombia para el año 2016 (tomando este como año base), relacionando la respectiva variación año a año durante el periodo de estudio. Este análisis busca establecer, de manera individual, cómo varía el comportamiento de cada una de las regiones del país, en términos de la eficiencia lograda. De esta manera se pretende vislumbrar un poco más el panorama de la eficiencia en las instituciones educativas colombianas, evitando que la centralización o la brecha diferencial entre las regiones logre afectar los resultados encontrados.

Tabla 14: Variación porcentual de la eficiencia año a año, tomando como base 2016.

Departamento	% de variación de eficiencia (base 2016)				
	2016	2017	2018	2019	promedio
Amazonas	37,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Antioquia	92,96%	0,83%	-1,40%	2,64%	0,69%
Arauca	37,81%	0,00%	-20,65%	28,57%	2,86%
Atlántico	56,68%	1,10%	-1,97%	3,52%	0,89%
Bogotá	94,79%	0,79%	-1,34%	2,52%	0,66%
Bolívar	52,41%	1,06%	-1,81%	3,82%	1,03%
Boyacá	51,44%	1,14%	-1,93%	3,72%	0,97%
Caldas	47,75%	0,52%	-1,58%	3,06%	0,67%
Caquetá	38,67%	4,35%	-9,52%	8,70%	1,17%
Casanare	38,56%	0,00%	-5,26%	9,52%	1,42%
Cauca	52,78%	1,38%	-2,11%	3,73%	1,00%
Cesar	41,18%	2,82%	-4,41%	6,85%	1,75%
Chocó	38,29%	0,00%	-7,14%	12,50%	1,79%
Córdoba	46,26%	1,80%	-3,09%	4,71%	1,14%
Cundinamarca	64,22%	0,99%	-1,81%	3,50%	0,89%
Guainía	37,49%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Guaviare	37,54%	10,00%	-30,42%	2,00%	-6,00%
Huila	42,73%	2,00%	-4,17%	5,88%	1,24%
La Guajira	38,93%	3,57%	-7,69%	7,14%	1,01%
Magdalena	45,99%	1,24%	-1,90%	3,66%	1,00%
Meta	41,02%	2,94%	-4,62%	5,80%	1,37%
Nariño	47,81%	2,03%	-2,60%	3,52%	0,98%
Norte de Santander	43,85%	1,65%	-2,54%	4,07%	1,06%
Putumayo	38,24%	6,67%	-7,14%	6,67%	2,06%
Quindío	39,09%	3,23%	-3,33%	3,23%	1,04%
Risaralda	41,61%	2,53%	-3,95%	5,00%	1,19%
San Andrés	37,54%	10,00%	-30,39%	2,40%	-5,87%
Santander	57,48%	1,06%	-1,61%	3,13%	0,86%

Departamento	% de variación de eficiencia (base 2016)				
	2016	2017	2018	2019	promedio
Sucre	40,86%	3,08%	-4,84%	6,06%	1,43%
Tolima	46,79%	1,69%	-2,91%	4,44%	1,08%
Valle del Cauca	71,92%	1,08%	-1,72%	3,18%	0,84%
Vaupés	37,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Vichada	37,54%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Elaboración propia.

De acuerdo con lo presentado en la Tabla 14, se puede observar una diferencia notoria entre las variaciones porcentuales que se dieron año tras año en cada uno de los departamentos; más aún, si se tiene en cuenta el porcentaje de eficiencia con que se inicia el análisis (año 2016) para cada uno de ellos.

Una de estas diferencias está en que la variación porcentual para el año 2018 fue negativa en la mayoría de los departamentos. Y en los cuatro departamentos en que no se dio una variación porcentual negativa, no tuvo variación alguna (variación de 0%). Así mismo, para 27 de los 33 departamentos, las variaciones más positivas que se dieron en todo el periodo se dieron para el año 2019. Finalmente, solo un poco más de la mitad de los departamentos (18 de los 33 departamentos) obtuvieron variaciones porcentuales promedio superior al 1%, lo que indica la pasiva evolución que tuvieron las instituciones educativas en términos de eficiencia durante este periodo de tiempo.

En este orden de ideas, hay una tendencia que sugiere que los departamentos que presentaron mayor porcentaje de variación fueron los que tuvieron una eficiencia inicial menor; es decir

los departamentos que se encuentran por debajo del promedio. De manera análoga, los que presentaron menor porcentaje de variación fueron los departamentos que tuvieron una eficiencia inicial mayor. Desafortunadamente, estos porcentajes de variación que se presentaron fueron en sentido tanto positivo, como negativo.

Esta situación no permitió que se evidenciara una mejoría notoria, al final del periodo de análisis, en aquellos departamentos que presentaron la menor eficiencia inicial. De hecho, los seis departamentos que presentaron la menor eficiencia inicial fueron los que tuvieron los porcentajes de variación promedio más desfavorables, durante el periodo de los cuatro años; siendo negativa la variación porcentual promedio en algunos casos.

Por último, con el ánimo de esclarecer la eficiencia encontrada y de cara a tratar de mejorar dicha eficiencia, la Tabla 15 presenta los índices de cada variable utilizada en este estudio, para analizar los posibles predictores institucionales que influyen en la productividad de las instituciones educativas en Colombia.

De acuerdo con la Tabla 15, la cantidad de alumnos tiene un efecto negativo y, para todos los años del periodo de análisis, significativo a diferentes niveles. Esto señala que entre mayor cantidad de alumnos se tenga en una institución, menor eficiencia se llegaría a conseguir. El resto de las variables tienen un efecto positivo y algunas de ellas significativas, en diferentes niveles, para diferentes años. Para el caso de cantidad de profesores, se espera que entre mayor sea la cantidad de profesores, mejor es la eficiencia que se lograría en la institución.

Tabla 15: Determinantes de eficiencia institucional.

Año	Cantidad de alumnos	Cantidad de profesores	Dispositivos tecnológicos	Nivel SE institución	Nivel SE estudiantes
2016	- 0,0221*	0,7866**	0,4912*	0,1791	0,6914
	(-2,27)	(1,38)	(1,12)	(0,94)	(1,45)
2017	- 0,0198**	0,5368*	0,4977*	0,1736**	0,7033
	(-2,10)	(2,43)	(1,18)	(0,91)	(1,56)
2018	- 0,0314*	0,5512	0,4882	0,1712	0,6649**
	(-1,61)	(2,14)	(0,58)	(0,78)	(1,05)
2019	- 0,0041*	0,7281***	0,5017**	0,1803*	0,7155**
	(-2,05)	(1,89)	(1,10)	(0,86)	(1,24)

Elaboración propia.

De manera análoga, se tiene el índice para la cantidad de dispositivos electrónicos, lo cual cobra sentido al pensar que entre más personas especializadas haya con mayor cantidad de herramientas didácticas disponibles, mejor sería la calidad educativa y el rendimiento productivo de las instituciones. Adicionalmente, algo interesante en cuanto a estas dos variables, es que ambas fueron significativas en los mismos años, aunque a diferente nivel. Más aún, el año en que no fueron significativas fue en el único año del periodo, en que la eficiencia disminuyó.

Para el caso de las variables relacionadas con los niveles socioeconómicos y culturales de la institución y de los estudiantes, los índices revelan que entre mejor sea el componente socioeconómico y cultural de las instituciones y de los estudiantes, la eficiencia debería ser mejor. Particularmente, el índice de estudiantes resultó significativo en los dos últimos años

del periodo en mención, lo cual puede apuntar a que se está dando una tendencia relevante en la importancia de esta variable de cara a la mejoría de la eficiencia de las instituciones.

Finalmente, es importante notar que el último año del periodo, año en que se presentaron las variaciones porcentuales más positivas, todas las variables resultaron significativas. Esto puede indicar que el comportamiento de las variables relacionadas, incidan cada vez más en la eficiencia de las instituciones educativas en Colombia. Es decir que, a menor cantidad de estudiantes por institución, mayor cantidad de docentes, de recursos tecnológicos y una mejor condición socioeconómica de la institución y sus estudiantes, el nivel de eficiencia en las instituciones debería ser cada vez mayor.

4.5.2. Discusión

La evidencia presentada en los resultados de este trabajo, no solo arroja luz sobre la dinámica particular de la educación en los departamentos colombianos, sino que también plantea ideas más amplias sobre el papel de las instituciones educativas en el panorama educativo del país. Esta línea de análisis enfatiza la importancia de abordar connotaciones propias de las regiones, con el ánimo de ver reflejada la relación con el desarrollo de la eficiencia en las instituciones desde múltiples perspectivas e implicaciones.

De manera general, es notoriamente baja la evolución que presenta la eficiencia de la educación en Colombia, en este periodo de tiempo. A pesar de que finaliza este periodo con una mejor relación de eficiencia (de 50,88% en 2016 a 55,53% en 2019), ni siquiera llega a la segunda tercera parte de eficiencia. Este resultado, puede verse relacionado como

consecuencia de situaciones tales como la baja cobertura de la educación de la primera infancia, altos índices de analfabetismo, grandes brechas entre la educación en regiones urbanas y rurales, así como altas tasas de deserción, según estudio de la ANIF³⁰.

De manera más particular, al analizar los datos revelados por departamentos, tomando 2016 como año base, se encuentra un panorama desalentador pero acorde a la situación educativa en Colombia (Arévalo et al., 2022). Es así como, 24 departamentos de Colombia muestran que sus instituciones educativas no llegan ni siquiera al 50% de la eficiencia, de los cuales 13 departamentos no llegan ni al 40%. En contraste, solo 2 departamentos del país logran un porcentaje significativo de eficiencia (mayor al 90%) en sus instituciones educativas, los cuales son Antioquia y Bogotá.

Luego de este punto de partida, se distingue la evolución promedio de los cambios en la eficiencia de las instituciones educativas de los departamentos. Esta observación muestra un particular comportamiento de cómo evolucionaron estas medidas en distintos grupos de departamentos según el nivel de eficiencia que mostraron en el año inicial. Los departamentos que mostraron un nivel de eficiencia promedio mayor al 50% oscilaron entre 0,70% y 1,00% en la variación promedio de eficiencia.

De aquellos departamentos que presentaron un nivel de eficiencia promedio menor al 38% en el año base, algunos tuvieron variaciones muy pequeñas (cercasas a 0%), otros no tuvieron variación alguna (del 0%) e incluso algunos tuvieron variaciones negativas; es decir que,

³⁰ ANIF - Centro de Estudios Económicos es una entidad privada sin ánimo de lucro establecida en 1974, que se dedica a la investigación en temas de política económica y social.

desmejoraron en su eficiencia. Finalmente, los departamentos que evidenciaron una eficiencia promedio en un rango medio (ni muy bajo, ni muy sobresaliente) fueron los que presentaron un cambio promedio mayor, entre el 1,01% y el 2,86%.

Este comportamiento expuesto puede obedecer a los márgenes de rendimiento promedio que llegan a tener las instituciones de los departamentos. Es decir, aquellas instituciones de los departamentos que presentan menor eficiencia, aunque tienen mucho por mejorar y, asimismo, mucho por hacer en pro de aumentar el nivel de la eficiencia, lo que muestran es que su condición está dada por falta de gestión y procesos de desarrollo deficientes.

En cuanto a aquellas instituciones de los departamentos que presentan mejor eficiencia, tienen poco qué mejorar, por lo que el cambio que logran es pequeño. Esto muestra que, aunque han logrado un alto nivel de eficiencia, continúan tratando de mejorar el nivel adquirido. Este es el posible reflejo de buenos estándares y desarrollos de gestión interna de los recursos con los que cuentan.

Por último, las instituciones de los departamentos que mayor variación promedio presentaron en el periodo de tiempo del análisis, lo que estarían mostrando es que están encaminadas en mejorar las condiciones de eficiencia que presentaron inicialmente. Sin embargo, no han logrado ese proceso de gestión adecuado que les permita mejorar de una manera más significativa, logrando así que consigan un ritmo de crecimiento más alto que les conlleve a un nivel de eficiencia mayor.

Estos comportamientos pueden evidenciarse gracias a situaciones dadas en los diferentes departamentos, apoyadas por directrices del Gobierno Nacional a todo el territorio colombiano. Algunas de estas situaciones habrían afectado positivamente y otras negativamente; aunque quizás este efecto haya sido momentáneo y posteriormente regulado. Por ejemplo, para 2016 el sistema educativo en Colombia estaba en un proceso de continuo desarrollo y reforma para abordar diversos desafíos que enfrentaba el país en términos de acceso, calidad y equidad educativa. Algunos de estos aspectos incluían acceso y cobertura, especialmente en las zonas rurales y remotas, aún con poca disponibilidad de infraestructura y recursos educativos.

Para 2017, continuaron enfrentando desafíos en el sistema educativo y se implementaron ciertas reformas y programas para abordar algunas de las deficiencias identificadas en años anteriores. Entre otros, fortalecieron los esfuerzos para abordar las disparidades educativas entre las zonas urbanas y rurales, así como entre diferentes grupos socioeconómicos y étnicos. Hubo un enfoque renovado en la promoción de la investigación y la innovación en las instituciones de educación por medio de proyectos educativos de investigación. Estos cambios reflejaron un compromiso continuo de las autoridades locales y las partes interesadas en mejorar el sistema educativo, para abordar los desafíos persistentes en el campo de la educación en el país.

El fomento de una mayor colaboración entre el sector público y el privado, en 2018, en aras de la cobertura académica y la innovación educativa, así como un mayor esfuerzo por parte de las autoridades para que los menores de edad estuvieran en las instituciones educativas, fue quizás algunos de los motivos que conllevó a que hubiese una cantidad mayor de

estudiantes. Esto, de acuerdo con lo presentado, pudo ser el principal factor que ocasionó una mayor ineficiencia, dado que para una mayor cantidad de estudiantes y un pequeño aumento de los recursos disponibles, la mejora del sistema educativo se vio afectada.

En 2019, la situación educativa en Colombia experimentó algunos avances significativos. Algunos de los cambios notables tuvieron que ver con un enfoque en la modernización de las metodologías educativas, la integración de la tecnología en el aula y el fortalecimiento de los programas académicos. De otro lado, la inversión en los programas de desarrollo profesional para los docentes, con énfasis en la mejora de las habilidades pedagógicas, el conocimiento del contenido y la capacitación en nuevas metodologías de enseñanza, fue mucho mayor en este año. Sin lugar a dudas, hechos como estos presentan una diferencia de interés, que puede influir en la medición de la eficiencia. Estos son factores puntuales que entrarían a tenerse en cuenta en las mediciones longitudinales de cara a entender la evolución de las instituciones educativas en Colombia.

Finalmente, con el fin de darle alcance a los objetivos trazados para este estudio, se presenta a continuación la Tabla 16, la cual especifica el partido y la declaración política de cada gobernador de los departamentos de Colombia en el periodo 2016 a 2019. Esta consideración de la afinidad política o ideológica de los dirigentes de los departamentos no muestra una claridad en la correspondencia de las ideologías políticas con respecto al impacto en la eficiencia del sistema educativo de las instituciones. Se presenta una situación de discrepancia, tal como que los dos departamentos líderes en eficiencia, como los dos departamentos con menor rendimiento en eficiencia, son partidos afines al Gobierno Nacional de ese momento.

Tabla 16: Partidos políticos y declaración política de gobernadores.

Departamento	Partido político	Declaración política
Amazonas	Cambio Radical	Gobierno
Antioquia	Liberal - Cambio Radical	Gobierno
Arauca	Cambio Radical	Gobierno
Atlántico	Liberal	Independiente
Bogotá	Cambio Radical	Gobierno
Bolívar	Liberal	Independiente
Boyacá	Alianza Verde - Liberal	Oposición - Independiente
Caldas	La U - Cambio Radical	Gobierno - Gobierno
Caquetá	Liberal	Independiente
Casanare	Centro Democrático	Oposición
Cauca	Liberal - Cambio Radical - AICO	Independiente - Gobierno - Independiente
Cesar	La U	Gobierno
Choco	Liberal - La U - AICO	Independiente - Gobierno - Independiente
Córdoba	La U - Liberal - AICO	Gobierno - Independiente - Independiente
Cundinamarca	Cambio Radical - La U - ASI	Gobierno - Gobierno - Oposición
Guainía	Liberal - Cambio Radical	Independiente - Gobierno
Guaviare	AICO	Independiente
Huila	Cambio Radical - ASI	Gobierno - Oposición
La Guajira	Cambio Radical	Gobierno
Magdalena	Cambio Radical	Gobierno
Meta	Liberal - Alianza Verde	Independiente - Oposición
Nariño	Somos Nariño	Independiente
Norte de Santander	La U - Liberal	Gobierno - Independiente
Putumayo	Alianza Verde - La U - Cambio Radical	Oposición - Gobierno - Gobierno
Quindío	Liberal - Conservador	Independiente - Oposición
Risaralda	Conservador	Oposición
San Andrés	Liberal - La U	Independiente - Gobierno
Santander	Liberal	Independiente

Departamento	Partido político	Declaración política
Sucre	Cambio Radical	Gobierno
Tolima	Conservador - Centro Democrático	Oposición - Oposición
Valle	La U	Gobierno
Vaupés	Cambio Radical	Gobierno
Vichada	La U - Cambio Radical	Gobierno - Gobierno

Elaboración propia, a partir de la Registraduría Nacional del Estado Civil de Colombia.

De manera puntual y en contravía a lo que se podría esperar, los departamentos con mejores índices de eficiencia tuvieron administraciones previas a la del periodo analizado con ideología contraria. Para el caso de Bogotá, la administración precedente correspondía al partido Movimiento Progresistas, totalmente contrario y opositor declarado al Gobierno.

Así mismo, para el caso de Antioquia, la administración precedente estaba a cargo del Partido Verde, el cual, aunque no es opositor declarado al Gobierno, sí es de una línea contraria a la que este presenta. Esto respalda la investigación de Brunner y otros (2022), mostrando que, en términos educativos, los ciudadanos de una región responden al direccionamiento adecuado de los administradores públicos; la cual se da, sin tener una preferencia o parcialidad definida.

De otro lado, la administración anterior en el Departamento de Guainía estaba liderada por el partido del Centro Democrático, lo cual indica que, aunque no compartían el mismo partido que sus sucesores, tenían la misma declaración política, de lado del Gobierno. Para el caso del Guaviare, la administración anterior correspondía al partido Alianza Social Independiente, el cual es independiente al igual que la declaración del partido en este periodo.

En San Andrés, se dio el continuismo, dado que en el periodo previo también estuvo a cargo del Partido Liberal. En contraste, para el Amazonas la situación fue contraria, puesto que la administración previa estaba a cargo de Alianza Verde, partido con declaración política contraria al Gobierno.

En Vaupés, precedió la administración por Autoridades Indígenas de Colombia (AICO), también contraria a la línea del Gobierno, la cual estuvo en este periodo. Por último, en Vichada, el partido que gobernó en el periodo anterior fue Alianza Social Independiente (ASI), con una línea de trabajo contraria a la que se presentó en el periodo de estudio. Lo anterior estaría en concordancia con lo presentado por Rymarzak y Marmot (2020), marcando la diferencia de la ubicación geográfica, las intenciones institucionales y, en este caso, el poco control del gobierno central.

El escenario anteriormente planteado establece una discrepancia de consideración. Para los dos departamentos con mejores niveles de eficiencia, no tuvieron un continuismo en sus administraciones, por el contrario, tuvieron dirigentes con pensamientos y líneas administrativas muy distintas. Sin embargo, para el caso de los seis departamentos con menores niveles de eficiencia, la connotación fue compartida. Tres departamentos tuvieron continuismo en cuanto a la declaración política de sus administraciones, ya fueran con el mismo partido o partidos distintos, pero afines, y los otros tres departamentos tuvieron partidos de ideología contraria a la línea de Gobierno de ese entonces.

No obstante, hubo un común denominador con las gobernaciones de estos seis departamentos, relacionado con situaciones de índole legal, por distintos hechos cometidos

en sus administraciones, que iban en contravía de lo estipulado por la ley. En contraste con lo presentado por Johnes y Virmani (2019), para el caso colombiano las brechas de eficiencia se dan principalmente en las áreas rurales.

Estos resultados cobran sentido al hacer un análisis relacional de las administraciones regionales y las coaliciones resultantes en ese momento, donde se identifican las mecánicas multipartidistas de partidos fragmentados a lo largo de la historia. Este comportamiento es más notorio en los comicios para la gobernación, donde son mucho más significativos desde el punto de vista de la asignación y la distribución de recursos.

Más aún, cuando se tiene en vista los próximos comicios presidenciales y legislativos de 2018, teniendo en cuenta que los periodos administrativos locales y nacionales no coinciden (Milanese et al., 2016). Sería de gran interés analizar cómo el “centralismo descentralizado” planteado por Du Plassis (2020) podría influir en el sistema educativo colombiano, de cara a presentar un posible beneficio en la centralización en el sistema educativo, en pro de la educación en país.

Para finalizar, se debe plantear otro punto de vista en el que es importante remarcar que la referencia de estas mecánicas puede ser circunstancial y temporal, de acuerdo con el comportamiento democrático, mencionado por Mazurek y Mielcová (2019) y la igualdad democrática mencionada por Nix y otros (2020). En este escenario se ajusta a la definición del partido como franquicia en la que concurren coyunturalmente líderes provenientes de distintos orígenes (inclusive ideologías).

Esto como consecuencia de la necesidad de un aval como criterio formal necesario para lanzarse a los comicios de una determinada región o país, en el caso colombiano (Milanese y Jaramillo, 2015). Esta idea genera una discusión mayor en cuanto a la linealidad de las afinidades políticas de los dirigentes en relación con los resultados que se puedan obtener en mediciones, como la de eficiencia, en el caso de instituciones educativas.

4.6. Conclusiones, limitaciones y líneas futuras

4.6.1. Conclusiones

En primera instancia, con este estudio se logra reafirmar la utilización del método StoNED, introducido por Kuosmanen y Kortelainen (2012), en la medición de eficiencia técnica, especialmente en la línea de educación. Aunque ya se había trabajado este método en esta línea, no había sido desarrollado el método con un panel de datos, lo cual presenta una implementación no referida, haciendo uso de datos de instituciones educativas en Colombia. Esta metodología permite desarrollar un análisis temporal por medio del modelo StoNED, siendo este estudio la primera aplicación en el sector de la educación, según nuestro conocimiento.

Se ha logrado caracterizar la dinámica de la eficiencia de las instituciones educativas en el periodo de tiempo entre 2016 y 2019, periodo que corresponde a la administración de los gobiernos locales en Colombia. Esta dinámica reveló una variabilidad que exhibe un progreso muy limitado en los indicadores de eficiencia, lo que sugiere que la gestión en las instituciones educativas durante este período ha sido ineficiente. Así, aunque al final del

periodo se concluye una variación promedio positiva, existen aspectos que deja mucho que desear en la mejora de la eficiencia por parte de las instituciones de cada departamento. La falta de avance significativo en los indicadores de eficiencia es preocupante, ya que refleja una carencia en la administración de recursos y en la implementación de estrategias efectivas para mejorar la calidad educativa. Una gestión deficiente puede resultar en la falta de optimización de recursos, una asignación inadecuada de personal y la ausencia de programas y políticas educativas eficaces.

Las variaciones presentadas fueron muy bajas, tomando como base el año 2016, lo cual implica que al final del periodo los índices de eficiencia, aunque fueron mejores, no fueron mucho mayores en comparación con el base. Esto se puede ver reflejado, al encontrarse variaciones considerablemente bajas (cercas al 0%), variaciones nulas (del 0%) y variaciones aún negativas. Las variaciones, a nivel general, oscilaron entre el -6,00% y el 2,86%. Adicionalmente, al hacer un análisis longitudinal, tratando de identificar la evolución de la eficiencia en las instituciones educativas con los mismos datos trabajados de una forma transversal, en la que se analizó un comportamiento año a año, se confirman los resultados encontrados con algunos departamentos.

Por el lado de los departamentos que presentan mejores índices de eficiencia en sus instituciones educativas, están los departamentos de Bogotá y Antioquia, seguido de lejos por el Valle del Cuaca. Del otro lado, el departamento que menos nivel de eficiencia presenta en el departamento de Guainía, seguido muy de cerca por los departamentos de Guaviare, San Andrés, Amazonas, Vaupés y Vichada. Estos resultados confirman la centralización, no solo de los recursos, sino de la gestión y el desarrollo directivo en el campo educativo. También

se reitera la brecha de desigualdad que se presenta en Colombia, entre los departamentos llamados fuertes o grandes y los departamentos llamados marginados en este país, los cuales muestran diferencias significativas entre los sectores.

No obstante, estas brechas lo que implican es que haya resultados generales, en promedio, muy bajos. El estudio presenta cifras tales como que, el promedio de la eficiencia lograda fue del 52,12%, siendo el menor valor de eficiencia el 48,67% (dado en 2018) y el mayor valor 55,53% (dado en 2019). Esto indica que, aunque se presenta un incremento promedio en los niveles de eficiencia en el panorama nacional, la tendencia es a presentar niveles de eficiencia muy bajos y con una evolución variacional en el tiempo muy pequeña.

Es por eso por lo que la mayoría de los departamentos de Colombia muestran que sus instituciones educativas no llegan ni siquiera al 50% de la eficiencia y la evolución, en promedio, de estos niveles de eficiencia no supera ni el 1% de variación. De esto se puede concluir que, si bien los recursos con los que se cuentan en las diferentes regiones del país no necesariamente son los mejores, los resultados que están logrando con lo que se tiene, no es lo que se debería lograr. En otras palabras, con los recursos actuales con que se cuenta, se podría llegar a obtener un rendimiento productivo mucho mayor al que se está obteniendo.

Para finalizar, se logra concluir que, en medio de una marcada diferencia y pluralidad política, no se logra identificar si una línea de pensamiento o afinidad política se ve reflejada en la medición de la eficiencia. Por un lado, no se puede establecer que los partidos afines al Gobierno del momento, por su u afinidad política, marquen una diferencia en las instituciones de sus departamentos. De lado contrario, tampoco se puede evidenciar que los departamentos

con líneas administrativas distintas al enfoque de Gobierno manejen o presenten niveles de eficiencia sobresalientes o inferiores de forma clara. Por último, es así como, a causa quizás de la unión multipartidista, no se logre definir una clara línea de dirección que haya generado gestión de eficiencia durante el periodo administrativo en cuestión.

4.6.2. Limitaciones

En estudios basados en evidencia empírica, es común encontrarse con dificultades relacionadas con la calidad de la base de datos empleada. En esta situación específica, aunque se emplearon bases de datos suministradas por las autoridades nacionales competentes (ICFES y DANE), existe la posibilidad de que los registros de las instituciones o las autoridades locales no hayan sido precisos o que se hayan producido errores durante su digitalización. Además, dado que el estudio abarca un período de cuatro años, puede haber limitaciones en la selección de instituciones debido a la falta de información de algunos años en algunas de ellas, lo que restringe su inclusión en el estudio.

4.6.3. Líneas futuras de investigación

Un desarrollo que despierta gran interés es lograr hacer un estudio transversal y longitudinal en el periodo administrativo siguiente. Esto con el ánimo de poder analizar dos contextos de importancia: uno, el poder comparar cómo fue la evolución de la eficiencia en las instituciones educativas, ante un posible cambio o no de líderes departamentales. Dos, poder medir el alcance que tuvo la situación de salud en 2020 en relación con la eficiencia de las instituciones educativas, bajo premisas de la cantidad de estudiantes, estudio de forma

remota, recursos tecnológicos disponibles, cualidades didácticas de los docentes, niveles socioeconómicos institucionales e individuales distintos, entre otros.

5. Conclusiones generales

5.1. Principales hallazgos

A continuación, de manera general, se mencionarán los principales hallazgos mencionados y discutidos en los capítulos de este documento. Inicialmente, es de importancia relacionar que el método StoNED es estable y consistente en la medición de eficiencia en instituciones educativas. Además, sus supuestos generales hacen que sea insesgado y estadísticamente consistente, superando las limitaciones de otros métodos. En este sentido, se logra presentar y ser aceptado por la academia, por medio de un artículo, dando el peso formal de la contribución literaria en el campo de la economía, particularmente en la eficiencia y producción.

En el contexto de la eficiencia de las instituciones educativas, se logra plantear un precedente con la medición de la eficiencia en el año 2016, como primer año del periodo analizado. Se logra identificar que, a nivel nacional, de las instituciones que presentan eficiencia tan solo el 2,80% son de naturaleza oficial y tan solo el 3,25% son instituciones que se encuentran en zona rural. Esto puede implicar que las instituciones no oficiales que muestran eficiencia la presentan por factores de gestión interna, siendo responsables de su éxito. Los departamentos que mayor porcentaje presentaron de eficiencia fueron Bogotá, Antioquia y Caldas, en contraste con San Andrés, Guaviare, Vaupés, Vichada y Guainía, que fueron los departamentos que menor porcentaje de instituciones con eficiencia presentaron.

Finalmente, se encuentra evidencia de que el realizar algún tipo de selección de los estudiantes, para la presentación de las pruebas Saber 11 es una práctica de la cual pueden sacar ventaja las instituciones que la efectúen. En otras palabras, los índices de eficiencia de las instituciones que acostumbren dicha actuación son mejores, en comparación con las instituciones que no tengan este proceder.

En cuanto al desarrollo del tercer capítulo, se logra implementar un desarrollo metodológico con variables de entorno para lograr robustecer la medición de eficiencia. Se establece la técnica de orden m para generar una variedad de muestras aleatorias, logrando un análisis más estable, robusto y menos costoso computacionalmente, del método StoNEZD. De esta manera se mantienen las características estadísticas necesarias y la menor cantidad de supuestos, en comparación con las requeridas por otros estimadores.

Siguiendo lo expuesto en el segundo capítulo, los departamentos de Bogotá y Antioquia se destacan como aquellos con los coeficientes de eficiencia más altos, seguidos por Caldas, Valle del Cauca, Santander y Atlántico, aunque estos últimos con una diferencia considerable. Por otro lado, los departamentos de Guainía, Vichada y Vaupés una vez más muestran los coeficientes de eficiencia más bajos, siendo seguidos muy de cerca por Guaviare, San Andrés, Amazonas y Arauca.

De otro lado, se encuentra que las variaciones de la eficiencia año a año, tomando como base el año 2016, presenta un pequeño incremento al final del periodo; pese que de 2017 a 2018 tuvo una variación negativa en promedio. Se identifica una pequeña mejora en la dirección correspondiente a la zona rural, por medio acciones tales como la cobertura académica, la

capacitación de los docentes, la implementación de recursos tecnológicos y alianzas estratégicas, especialmente con el sector privado.

Por último, en lo que corresponde al cuarto capítulo, se ha logrado caracterizar la dinámica de la eficiencia en las instituciones educativas. Lamentablemente, los resultados muestran una variabilidad que revela un progreso muy limitado en los indicadores de eficiencia. Este panorama sugiere que las instituciones educativas han tenido dificultades en su gestión durante este período, reflejando una carencia en la administración de recursos y en la implementación de estrategias para evolucionar positivamente y así incrementar la calidad educativa.

Durante el periodo analizado, se observaron variaciones mínimas en los índices de eficiencia de las instituciones educativas. Aunque se registró una mejora, esta no fue significativa en comparación con el punto de partida. Estos resultados se alinean con el desarrollo abordado en el tercer capítulo y refuerzan la importancia de realizar un análisis longitudinal para comprender la evolución de la eficiencia en estas instituciones.

En este análisis, se destacan los departamentos de Bogotá y Antioquia como líderes en eficiencia, seguidos a cierta distancia por el Valle del Cauca. Por otro lado, se identifican departamentos con niveles más bajos de eficiencia, entre los cuales resalta Guainía, seguido de cerca por Guaviare, San Andrés, Amazonas, Vaupés y Vichada. La inclusión de estos departamentos en el análisis longitudinal se debe a su comportamiento más sólido y robusto, lo cual permite obtener resultados más fiables y reducir la cantidad de supuestos necesarios.

5.2. Contribuciones realizadas

A continuación, se presentan los aspectos trabajados en cuanto a las contribuciones realizadas a la literatura, en lo que respecta a procesos metodológicos. Un logro destacado es la aplicación del método StoNED en la evaluación de la eficiencia en el sector educativo. Según nuestro conocimiento, este es el primer estudio que utiliza dicho modelo en este ámbito, y se ha demostrado que establece una concordancia con las estadísticas pertinentes sin la necesidad de supuestos fuertes.

Además, se propone un desarrollo metodológico utilizando el modelo StoNEZD y el orden m , lo que permite trabajar con bases de datos más grandes y reducir el costo computacional. Gracias a esto, se ha logrado fortalecer la implementación de una metodología que se enfoca en la evaluación de la eficiencia, especialmente en el ámbito educativo. Se logra potencializar la implementación de una metodología que se fortalece en estudios de eficiencia, empleando un modelo de panel de datos, permitiendo desarrollar un análisis temporal evolutivo a través del modelo StoNED, particularmente, en el contexto educativo.

En lo que respecta a las contribuciones realizadas a la literatura en estudios empíricos, se ha logrado obtener resultados significativos. Se ha encontrado evidencia que destaca las implicaciones de la eficiencia en relación con el posible sesgo de selección de estudiantes para participar en las pruebas, una práctica que algunas instituciones llevan a cabo. Además, se ha analizado la eficiencia productiva de las instituciones educativas en Colombia a lo largo de los años. Este análisis ha fortalecido el uso y desarrollo de variables de entorno en la medición de la eficiencia, especialmente en contextos educativos. Por último, se ha realizado

una investigación preliminar sobre la conexión entre las ideologías de los gobiernos locales y la gestión administrativa de las instituciones educativas para lograr la eficiencia del sistema educativo.

Finalmente, se presenta las contribuciones en cuanto a políticas educativas, la cual puede ser de gran importancia para las respectivas autoridades y responsables del ámbito académico, de cara a mejorar la eficiencia del sistema educativo en Colombia. Así, al realizar una medición de la eficiencia productiva de las instituciones en Colombia, se logra establecer que no se están logrando los objetivos y los planteamientos en términos de eficiencia, según lo estipulado por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), de acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo (PND) y en concordancia con la UNESCO. Lo anterior, adicionado a una notoria centralización en cuanto al desarrollo y gestión de recursos, de acuerdo con los departamentos que muestran, tanto mayor como menor eficiencia en el país.

Con base en lo mencionado, se propone el planteamiento de dos escenarios para diferenciar posibles implicaciones de política educativa. Por un lado, un escenario macro en el cual desde la instancia gubernamental nacional se desarrollen proyectos que conlleven a una mayor descentralización en la toma de decisiones y gestión de recursos en las instituciones educativas, permitiendo adaptar las estrategias a las necesidades locales y fomentando la autonomía de estas. Implementando inversiones en programas de capacitación y desarrollo profesional del personal educativo, con el fin de mejorar sus habilidades en la gestión de recursos y en la implementación de prácticas pedagógicas eficientes.

Asimismo, establecer mecanismos de evaluación y seguimiento continuo de la eficiencia institucional, con indicadores claros y objetivos que permitan identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas en materia de políticas educativas. Promoviendo el reconocimiento y premiación del desempeño eficiente de las instituciones educativas, así como asignar recursos adicionales a aquellas que enfrenten mayores desafíos en términos de eficiencia, con el fin de apoyar su mejora continua.

Igualmente, exhortar a la participación de todos los actores involucrados en el ámbito educativo, incluyendo docentes, directivos, padres de familia y comunidad en general, en la identificación de problemas y la búsqueda de soluciones que contribuyan al fortalecimiento del sistema educativo en su conjunto.

Por otra parte, un escenario micro, en el que las instituciones educativas realicen un análisis profundo de los factores que están afectando su eficiencia y tomen medidas adecuadas para abordar estas problemáticas, a partir de una revisión de los procesos internos actuales de capacitación del personal, obtención de tecnología y mejoras locativas de las instituciones. Fomentando la elaboración de planes estratégicos institucionales que estén alineados con los objetivos del MEN, el PND y la UNESCO, con énfasis en la mejora de la eficiencia productiva.

Implementar prácticas de gestión eficiente de recursos, incluyendo una adecuada asignación y uso de presupuestos, optimización de infraestructuras y tecnologías, así como una gestión efectiva del talento humano. Generando oportunidades de desarrollo profesional y capacitación para el personal docente y administrativo, con el fin de fortalecer sus habilidades

en áreas clave como la planificación curricular, la evaluación del aprendizaje y la gestión del tiempo y los recursos.

Asimismo, promover una cultura organizacional que valore la eficiencia, la innovación y la mejora continua, incentivando la participación activa de todos los miembros de la comunidad educativa en la búsqueda de soluciones creativas y eficaces a los desafíos institucionales. Establecer sistemas de evaluación interna y externa que permitan monitorear el desempeño de la institución en términos de eficiencia, con el fin de identificar áreas de mejora y tomar decisiones basadas en evidencia para optimizar los resultados educativos. Ofreciendo un entorno propicio para la autonomía institucional, permitiendo a las escuelas y colegios tomar decisiones flexibles y adaptadas a sus contextos específicos, siempre dentro del marco normativo y los lineamientos establecidos a nivel nacional.

Es fundamental implementar estrategias específicas para optimizar la gestión de recursos, mejorar la calidad académica y compartir las buenas prácticas de todos los actores institucionales, locales, departamentales y nacionales para impulsar la mejora de la eficiencia y la descentralización de la educación en Colombia.

5.3. Limitaciones

Aunque en el desarrollo de este estudio investigativo se ha tratado y logrado cumplir con los objetivos propuestos, mostrando resultados y logrando contribuciones de importancia en el contexto educativo de Colombia, se presenta a continuación limitaciones que se llevaron a cabo a lo largo del estudio.

Inicialmente, como en muchos casos de estudios empíricos, la principal limitante tiene que ver con las fuentes de las bases de datos. En este caso, aunque los datos fueron tomados de fuentes confiables a nivel país, no dejan de ser fuentes alimentadas con información dada por la sociedad o por directivos de instituciones, la cual no necesariamente refleja la realidad de la situación. Adicionalmente, la herramienta que se tiene para la realización de este tipo de estudios son pruebas, tales como las pruebas Saber 11. Sin embargo, existentes académicos que discuten la fidelidad y viabilidad de este tipo de pruebas en los estudiantes, argumentando que no permiten evaluar realmente el conocimiento o el desarrollo cognitivo de los estudiantes de una institución.

De otro lado, aunque es válido y está soportado con la literatura, existen discrepancias con los niveles de agregación tomados. Hay líneas de pensamiento que plantean un desarrollo de análisis más minucioso haciendo uso de unidades de decisión dadas por los mismos estudiantes. Asimismo, se plantea la posibilidad de trabajar niveles de agregación más puntuales, no tan agregados, para evaluar contextos locales. En este sentido, para analizar localidades administrativas, se podrían trabajar con los municipios y no con los departamentos del país. Así se podrían tener en cuenta connotaciones tales como si el municipio está o no certificado, la clasificación categórica de los municipios e incluso las situaciones ambientales que pueden llegar a influir de manera regional o sectorial.

En cuanto al uso de las variables, algunos estudios empíricos se pueden quedar cortos por la información a la cual se tiene acceso. En nuestro caso, se podría robustecer el contexto académico con más variables institucionales y con connotaciones socioeconómicas y culturales más explícitas. De la misma manera, se deben considerar las limitaciones

tecnológicas que impiden realizar cálculos computacionales de costo considerable, para poder hacer uso de una mayor, y más detallada, cantidad de información.

Finalmente, este estudio plantea un punto de partida para futuras comparaciones con la medida de la eficiencia en otros periodos de tiempo, en particular el de 2020 a 2023 que correspondería al siguiente año de administración local. Sin embargo, la situación a nivel mundial, vivida durante el tiempo de pandemia (por el COVID-19) y, la situación a nivel nacional, vivida por el estallido social, hace que sea muy complicado medir y analizar las estimaciones de la eficiencia en las instituciones para este periodo de tiempo.

5.4. Futuras investigaciones

Una propuesta de investigación, directa y sumamente inquietante, consiste en llevar a cabo un análisis exhaustivo tanto transversal como longitudinal durante el siguiente periodo administrativo (de 2020 a 2023). Este enfoque busca arrojar luz sobre dos contextos de gran relevancia. En primer lugar, permitiría comparar la evolución de la eficiencia en las instituciones educativas en respuesta a posibles cambios o la continuidad de liderazgos departamentales. En segundo lugar, se pretende evaluar el impacto que la situación de salud de 2020 tuvo en relación con la eficiencia de las instituciones educativas. Este análisis tomaría en consideración diversos factores como la cantidad de estudiantes, la adopción de la educación remota, la disponibilidad de recursos tecnológicos, las cualidades didácticas de los docentes, así como los diferentes niveles socioeconómicos tanto a nivel institucional como individual, entre otros elementos.

No obstante, de manera más detallada, este trabajo puede abrir puertas al desarrollo de estudios y análisis en diversos sentidos, de cara a hacer más relevante lo mencionado y concluido en este estudio. Uno de ellos tendría que ver con la medición y el análisis de la eficiencia de todas las instituciones educativas de carácter oficial, haciendo la discriminación por la locación, urbana o rural. Para esto se necesitaría recopilar, de primera mano, toda la información pertinente para poder trabajar de manera estándar con todas estas instituciones.

Otra línea de estudio podría ser el desarrollo de la medición y análisis de eficiencia de cada municipio de cada departamento de Colombia; es decir realizando una agregación por municipios, la cual permitiría acercarse a una realidad más local. Así, con este desglose se podría trabajar de forma más detallada el comportamiento y evolución de la eficiencia de las instituciones a nivel interno de los departamentos (Montes y Galvis, 2017). De esta manera, se podrían identificar posibles causas que conlleven a una serie de recomendaciones de políticas educativas que permitan ver mejor reflejada la gestión de las instituciones en línea con las directrices dadas por municipios, teniendo en cuenta particularidades que no se examinan al trabajar con todo el territorio nacional.

Un ejemplo de ello es la problemática en el ámbito educativo, de los municipios certificados versus los no certificados, la cual particulariza el planteamiento realizado en esta investigación y deja abierta la posibilidad de dar continuidad al desarrollo presentado, haciendo enfoques más regionales. De igual manera, se podría hacer un trabajo detallado, por zonas, por categorías, por áreas, entre otros posibles ítems de discriminación. Más aún, se podría considerar, realizar el desarrollo de este estudio, haciendo uso de otras metodologías más pertinentes o complementarias a la metodología StoNED, tales como las metafronteras,

o las fronteras locales; las cuales podrían permitir una explicación más detallada de la situación (Battese et al., 2004).

Finalmente, pero no menos importante, sería el planteamiento de análisis cualitativos, por medio de estudios de casos, en los que se puedan establecer de manera más precisa los pormenores que están implicando la obtención de niveles tan poco adecuados de eficiencia en las distintas instituciones educativas del país. Este tipo de estudios permitirían también establecer diferentes focos de atención en cada una de las localidades en los que se realicen, buscando esquematizar las connotaciones de cada región, logrando plantear agregaciones más allá de una argumentación geográfica.

Bibliografía

- Afriat, S. N. (1972). Efficiency estimation of production functions. *International economic review*, 13(3), 568-598.
- Afsharian, M. (2017). Metafrontier efficiency analysis with convex and non-convex metatechnologies by stochastic nonparametric envelopment of data. *Economics Letters*, 160(1), 1-3.
- Agasisti, T. y Dal Bianco, A. (2006). Data envelopment analysis to the Italian university system: theoretical issues and policy implications. *International Journal of Business Performance Management*, 8(4), 344-367.
- Agasisti, T. y Dal Bianco, A. (2009). Reforming the university sector: Effects on teaching efficiency - evidence from Italy. *Higher Education*, 57(4), 477-498.
- Agasisti, T. y Pérez-Esparrells, C. (2010). Comparing efficiency in a cross-country perspective: The case of Italian and Spanish state universities. *Higher Education*, 59(1), 85-103.
- Agasisti, T. (2011). How competition affects schools' performances: Does specification matter? *Economics Letters*, 110(3), 259-261.
- Agasisti, T. (2014). The efficiency of public spending on education: An empirical comparison of EU countries. *European Journal of Education*, 49(4), 543-557.
- Agasisti, T. y Bonomi, F. (2014). Benchmarking universities' efficiency indicators in the presence of internal heterogeneity. *Studies in Higher Education*, 39(7), 1237-1255.
- Agasisti, T., Egorov, A. y Serebrennikov, P. (2023). Universities' efficiency and the socioeconomic characteristics of their environment—Evidence from an empirical analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 85(1), 14-45.

- Agasisti, T., Egorov, A., Zinchenko, D. y Leshukov, O. (2020). Efficiency of regional higher education systems and regional economic short-run growth: Empirical evidence from Russia. *Industry and Innovation*, 1(1), 1-28.
- Aigner, D.; Lovell, C. y Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37.
- Alvarez, N. L., Callejas, Z., Griol, D. y Benejam, M. D. (2017). La deserción estudiantil en educación superior: SOS en carreras de ingeniería informática. *In Congresos CLABES*.
- Andor, M. y Hesse, F. (2014). The StoNED age: The departure into a new era of efficiency analysis? A Monte Carlo comparison of StoNED and the “oldies” (SFA and DEA). *Journal of Productivity Analysis*, 41(1), 85-109.
- Andrejević-Panić, A. y Lozanov-Crvenković, Z. (2019). Analysis of higher education indicators coherency in central and eastern Europe. *Business Systems Research Journal*, 10(2), 6-17.
- Aparicio, J., Crespo-Cebada, E., Pedraja-Chaparro, F. y Santín, D. (2017). Comparing school ownership performance using a pseudo-panel database: A Malmquist-type index approach. *European Journal of Operational Research*, 256(2), 533–542.
- Arbona, A., Giménez, V., López-Estrada, S. y Prior, D. (2022a). Efficiency and quality in Colombian education: An application of the metafrontier Malmquist-Luenberger productivity index. *Socio-Economic Planning Sciences*, 79(1), 101-122.
- Arbona, A., García, V. G., López-Estrada, S. y Prior, D. (2022b). The Relationship between Armed Conflict and Efficiency of Educational Quality in Colombia. *Available at SSRN 4309983*.

- Arévalo, A., Giménez, V. y Prior, D. (2022). Análisis de eficiencia en educación: una aplicación del método StoNED. *Desarrollo y Sociedad*, 92(1), 45-91.
- Ayala, J., Marrugo, S. y Saray, B., (2011). Antecedentes familiares y rendimiento académico en los colegios oficiales de Cartagena. *Economía y Región*, 5(2), 43-85.
- Bădin, L., Daraio, C. y Simar, L. (2014). Explaining inefficiency in nonparametric production models: the state of the art. *Annals of Operations Research*, 214(1), 5-30.
- Bădin, L., Daraio, C. y Simar, L. (2019). A bootstrap approach for bandwidth selection in estimating conditional efficiency measures. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 784-797.
- 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.
- Banker, R. y Maindiratta, A. (1992). Maximum likelihood estimation of monotone and concave production frontiers. *Journal of Productivity Analysis*, 3(4), 401-415.
- Banker, R. y Natarajan, R. (2008). Evaluating contextual variables affecting productivity using data envelopment analysis. *Operations Research*, 56(1), 48-58.
- Banker, R., Natarajan, R. y Zhang, D. (2019). Two-stage estimation of the impact of contextual variables in stochastic frontier production function models using data envelopment analysis: Second stage OLS versus bootstrap approaches. *European Journal of Operational Research*, 278(2), 368-384.
- Barrow, M.H. (1991) Measuring local education authority performance: A frontier approach. *Economics of Education Review*, 10(1), 19–27.
- Baskaran, A. (2017). UNESCO science report: towards 2030. *Institutions and Economies*, 8(1), 125-127.

- Bates, J. M. (1997). Measuring predetermined socioeconomic "inputs" when assessing the efficiency of educational outputs. *Applied Economics*, 29(1), 85-93.
- Battese, G. E., Rao, D. P. y O'donnell, C. J. (2004). A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies. *Journal of Productivity Analysis*, 21(1), 91-103.
- Bayraktar, Z., Komurcu, M., Bossard, J. A. y Werner, D. H. (2013). The wind driven optimization technique and its application in electromagnetics. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61(5), 2745-2757.
- Beasley, J. E. (1995). Determining teaching and research efficiencies. *Journal of the Operational Research Society*, 46(4), 441-452.
- Becerril-Torres, O. U., Álvarez-Ayuso, I. C. y Nava-Rogel, R. M. (2012). Frontera tecnológica y eficiencia técnica de la educación superior en México. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(54), 793-816.
- Bessent, A. y Bessent, W. (1980). Determining the comparative efficiency of schools through data envelopment analysis. *Educational Administration Quarterly*, 16(2), 57-75.
- Bessent, A., Bessent, W., Kennington, J. y Reagan, B. (1982). An application of mathematical programming to assess productivity in the Houston independent school district. *Management Science*, 28(12), 1355-1367.
- Bradley, S., Johnes, J. y Little, A. (2010). Measurement and determinants of efficiency and productivity in the further education sector in England. *Bulletin of Economic Research*, 62(1), 1-30.
- Brunner, E., Hoen, B. y Hyman, J. (2022). School district revenue shocks, resource allocations, and student achievement: Evidence from the universe of US wind energy installations. *Journal of Public Economics*, 206(1), 1-26.

- Brzezicki, Ł., Pietrzak, P. y Cieciora, M. (2020). The total efficiency of teaching activity of polish higher education institutions. *Foundations of Management*, 12(1), 19-30.
- Brzezicki Ł, Pietrzak, P. y Cieciora, M. (2022). Efficiency of the Education System (Primary, Secondary and Tertiary) in Particular Voivodeships of Poland. *Экономика Региона*, 18(2), 494-508.
- Buitrago-Suescún, O. Y., Espitia-Cubillos, A. A. y Mejías-Acosta, A. A. (2017). Análisis de factores para la medición de la satisfacción estudiantil en educación superior: Caso ingeniería industrial, Universidad Militar Nueva Granada. *Revista Educación en Ingeniería*, 12(24), 107-112.
- Burgess, S. y Briggs, A. (2010). School assignment, school choice and social mobility. *Economics of Education Review*, 29(4), 639-649.
- Cabrera, A. F., Nora, A. y Castaneda, M. B. (1993). Structural equations modeling test of an integrated model of student retention. *Journal of Higher Education*, 64(2), 123-139.
- Caiazza, S., Pozzolo, A. F. y Trovato, G. (2016). Bank efficiency measures, MyA decision and heterogeneity. *Journal of Productivity Analysis*, 46(1), 25-41.
- Canales, A. y De los Ríos, D. (2007). Factores explicativos de la deserción universitaria. *Calidad en la Educación*, 26(1), 173-201.
- Cárcamo, C. y Mola, J. (2012). Diferencias por sexo en el desempeño académico en Colombia: Un análisis regional. *Economía y Región*, 6(1), 133-169.
- Castro, G., Giménez, G. y Pérez, D., (2017). Educational inequalities in Latin America, 2012 PISA: Causes of differences in school performance between public and private schools. *Revista de Educación*, 376(1), 33-61.

- Castro, G., Giménez, G. y Pérez, D., (2018). Estimación de los factores condicionantes de la adquisición de competencias académicas en América Latina en presencia de endogeneidad. *Revista CEPAL Chile*, 124(1), 35-59.
- Cazals, C., Florens, J. P. y Simar, L. (2002). Nonparametric frontier estimation: a robust approach. *Journal of Econometrics*, 106(1), 1-25.
- CEPAL. (2018). Segundo informe anual sobre el progreso y los desafíos regionales de la *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe*.
- Chakraborty, K. y Harper, R. K. (2017). Measuring the impact of socio-economic factors on school efficiency in Australia. *Atlantic Economic Journal*, 45(2), 163-179.
- Chaovanapoonphol, Y. y Somyana, W. (2018). Production efficiency of maize farmers under contract farming in Laos PDR. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 41(1), 104-109.
- Charnes, A., Cooper, W. y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W. y Rhodes, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: An application of data envelopment analysis to program follows through. *Management Science*, 27(6), 668-697.
- Charnes, A., Cooper, W., Lewin, A. Y. y Seiford, L. M. (1997). Data envelopment analysis theory, methodology and applications. *Journal of the Operational Research Society*, 48(3), 332-333.
- Chandio, A. A., Jiang, Y., Gessesse, A. T. y Dunya, R. (2019). The nexus of agricultural credit, farm size and technical efficiency in Sindh, Pakistan: A stochastic production frontier approach. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 348-354.

- Chen, X., Liu, X., Gong, Z. y Xie, J. (2021). Three-stage super-efficiency DEA models based on the cooperative game and its application on the RyD green innovation of the Chinese high-tech industry. *Computers y Industrial Engineering*, 156, 107-234.
- Cheng, X., Bjørndal, E. y Bjørndal, M. (2014). Cost efficiency analysis based on the DEA and StoNED models: case of Norwegian electricity distribution companies. *In 11th International Conference on the European Energy Market (EEM14)*, 1-6.
- Cho, J. S., Phillips, P. C. y Seo, J. (2022). Parametric conditional mean inference with functional data applied to lifetime income curves. *International Economic Review*, 63(1), 391-456.
- Coleman, J. S., Campbell, E. Q., Hobson, C. J., McPartland, F., Mood, A. M., Weinfeld, F. D. y York, R. L. (1966): Equality of Educational Opportunity. *Government Printing Office*. Washington D.C., United States.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., y Tone, K. (2006). Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. *Springer Science y Business Media*. New York, United States.
- Cordero, J. M., García-García, A., Lau-Cortés, E. y Polo, C. (2023). Assessing Panamanian hospitals' performance with alternative frontier methods. *International Transactions in Operational Research*, 30(1), 394-420.
- Cordero, J. M., Polo, C. y Simancas, R. (2022). Assessing the efficiency of secondary schools: Evidence from OECD countries participating in PISA 2015. *Socio-Economic Planning Sciences*, 81(1), 19-27.
- Cordero, J. M., Prior, D. y Simancas, R. (2016). A comparison of public and private schools in Spain using robust nonparametric frontier methods. *Central European Journal of Operations Research*, 24(3), 659-680.

- Cordero, J. M., Santín, D. y Simancas, R. (2017). Assessing European primary school performance through a conditional nonparametric model. *Journal of the Operational Research Society*, 68(4), 364–376.
- Cordero, R., Vetri, M. G. S. y González, T. B. (2017). Educación comunitaria, impacto familiar y social en la aparición de labio leporino y paladar hendido. *AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, 61(1), 65-72.
- Crespo-Cebada, E., Pedraja-Chaparro, F. y Santín, D. (2014). Does school ownership matter? An unbiased efficiency comparison for regions of Spain. *Journal of Productivity Analysis*, 41(1), 153-172.
- Cubbin, J. y Zamani, H. (1996) A comparison of performance indicators for training and enterprise councils in the UK. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 67(4), 603–632.
- Dai, X. y Kuosmanen, T. (2014). Best-practice benchmarking using clustering methods: Application to energy regulation. *Omega*, 42(1), 179-188.
- Daraio, C., Bonaccorsi, A. y Simar, L. (2015). Rankings and university performance: A conditional multidimensional approach. *European Journal of Operational Research*, 244(3), 918-930.
- Daraio, C. y Simar, L. (2005). Introducing environmental variables in nonparametric frontier models: a probabilistic approach. *Journal of Productivity Analysis*, 24(1), 93-121.
- Daraio, C. y Simar, L. (2007). Conditional nonparametric frontier models for convex and nonconvex technologies: a unifying approach. *Journal of Productivity Analysis*, 28(1), 13-32.

- Davis, B. (2002). Is it possible to avoid a lemon? Reflections on choosing a poverty mapping method (en línea). Recuperado de http://www.povertymap.net/pub/Pov_mapping_methods_18-9-02.pdf.
- De Witte, K. y Kortelainen, M. (2013). What explains the performance of students in a heterogeneous environment? Conditional efficiency estimation with continuous and discrete environmental variables. *Applied Economics*, 45(17), 2401-2412.
- De Witte, K. y López-Torres, L. (2015). Efficiency in education: A review of literature and a way forward. *Journal of the Operational Research Society*, 68(4), 339–363.
- De Witte, K. y López-Torres, L. (2017). Efficiency in education: A review of literature and a way forward. *Journal of the operational research society*, 68(4), 339-363.
- Witte, K. D. y Marques, R. C. (2011). Big and beautiful? On non-parametrically measuring scale economies in non-convex technologies. *Journal of Productivity Analysis*, 35(1), 213-226.
- De Witte, K. y Rogge, N. (2011). Accounting for exogenous influences in performance evaluations of teachers. *Economics of Education Review*, 30(4), 641-653.
- De Witte, K. y Saal, D. S. (2010). Is a little sunshine all we need? On the impact of sunshine regulation on profits, productivity and prices in the Dutch drinking water sector. *Journal of Regulatory Economics*, 37(1), 219-242.
- De Witte, K., Thanassoulis, E., Simpson, G., Battisti, G. y Charlesworth-May, A. (2010). Assessing pupil and school performance by non-parametric and parametric techniques. *Journal of the Operational Research Society*, 61(8), 1224–1237.
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica. Journal of the Econometric Society*, 19(3), 273-292.

- Deller, S.C. y Rudnicki, E.R. (1993) Production efficiency in elementary education: The case of Maine public schools. *Economics of Education Review*, 12(1), 45–57.
- Diamond, A. M. y Medewitz, J. N. (1990). Use of data envelopment analysis in an evaluation of the efficiency of the DEEP program for economic education. *The Journal of Economic Education*, 21(3), 337-354.
- Dong, Y., Hamilton, R. y Tippett, M. (2014). Cost efficiency of the chinese banking sector: A comparison of stochastic frontier analysis and data envelopment analysis. *Economic Modelling*, 36(1), 298-308.
- Du Plessis, A. (2020). The emergence of decentralised centralism in the South African education governance system. *Journal of Southern African Studies*, 46(1), 165-183.
- East, L., Stokes, R. y Walker, M. (2014). Universities, the public good and professional education in the UK. *Studies in Higher Education*, 39(9), 1617-1633.
- Emrouznejad, A. y De Witte, K. (2010). COOPER-framework: A unified process for non-parametric projects. *European Journal of Operational Research*, 207(3), 1573-1586.
- Emrouznejad, A., Parker, B. R., y Tavares, G. (2008). Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(3), 151–157.
- Erdogan, U., Dipaola, M. F. y Donmez, B. (2022). School-level variables that enhance student achievement: examining the role of collective teacher efficacy and organizational citizenship behavior. *International Journal of Educational Management*, 36(7), 1343-1361.
- Eskelinen, J. y Kuosmanen, T. (2013). Intertemporal efficiency analysis of sales teams of a bank: Stochastic semi-nonparametric approach. *Journal of Banking y Finance*, 37(12), 5163-5175.

- Eyzaguirre, S., Gazmuri, J. y Parra, G. (2022). Sesgo en las Notas de Enseñanza Media (NEM): propuestas para perfeccionar los instrumentos de selección a la educación superior. *Estudios Públicos*, 168(1), 73-106.
- Fan, Y., Li, Q. y Weersink, A. (1996). Semiparametric estimation of stochastic production frontier models. *Journal of Business y Economic Statistics*, 14(4), 460-468.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M. y Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review*, 84(1), 66-83.
- Farías, M. y Carrasco, R. (2012). Diferencias en resultados académicos entre educación técnico-profesional y humanista-científica en Chile. *Calidad en la Educación*, 36(1), 87-121.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281.
- Fernández-Mellizo, M. (2022). ¿Cómo ha evolucionado la desigualdad de oportunidades educativas en España? Controlando el sesgo de selección de los modelos de transiciones educativas. *Reis: Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 177(1), 21-42.
- Ferro G. y D'Elia V. (2020). Higher education efficiency frontier analysis: A review of variables to consider. *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, 13(3), 140-153.
- Fertig, M. y Wright, R. E. (2005). School quality, educational attainment and aggregation bias. *Economics Letters*, 88(1), 109-114.

- Filmer, D. y Pritchett, L. H. (2001). Estimating wealth effects without expenditure data or tears: An application to educational enrollments in states of India. *Demography*, 38(1), 115-132.
- Franz, S., Fackler, S. y Paetsch, J. (2022). Profiles of pre-service teachers' personality traits and cognitive abilities: relations with graduation and teacher self-efficacy. *European Journal of Teacher Education*, 22(1), 1-20.
- Gallegos, J. A., Campos, N. A., Canales, K. A. y González, E. N. (2018). Factores determinantes en la deserción universitaria: caso Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile). *Formación Universitaria*, 11(3), 11-18.
- Ganley, J. A. y Cubbin, J. S. (1992). Public sector efficiency measurement: Applications of data envelopment analysis. *Elsevier Science Inc.* New York, United States.
- García-Díaz, R., Castillo, E. D. y Cabral, R. (2020). Efficiency in Mexican Elementary Schools: A Regional Comparative. *Investigación económica*, 79(313), 112-141.
- García-Robelo, O., Cáceres-Mesa, M. L., Veytia-Bucheli, M. G., Cisneros-Herrera, J. y León-González, J. L. (2020). Uso de un objeto virtual del aprendizaje para desarrollar competencias de investigación en educación superior. *MediSur*, 18(2), 154-160.
- Giménez, V., Prior, D. y Thieme, C. (2007). Technical efficiency, managerial efficiency and objective-setting in the educational system: An international comparison. *The Journal of the Operational Research Society*, 58(8), 996–1007.
- Giménez, V., Thieme, C., Prior, D. y Tortosa-Ausina, E. (2017). An international comparison of educational systems: A temporal analysis in presence of bad outputs. *Journal of Productivity Analysis*, 47(1), 83–101.

- Giménez, V., Thieme, C., Prior, D. y Tortosa-Ausina, E. (2019). Comparing the performance of national educational systems: Inequality versus achievement? *Social Indicators Research*, 141(2), 581-609.
- Coleman, J., Hoffer, T. y Kilgore, S. (1982). Achievement and segregation in secondary schools: A further look at public and private school differences. *Sociology of Education*, 55(2), 162-182.
- Gearhart III, R. S. y Michieka, N. M. (2018). A comparison of the robust conditional order-m estimation and two stage DEA in measuring healthcare efficiency among California counties. *Economic Modelling*, 73(1), 395-406.
- Gómez-Silva, C. A. (2016). Schools' classification according ICFES Saber 11 tests: An analysis using marginal models (MM). *Sociedad y Economía*, 30(1), 69-89.
- Greco, S., Ishizaka, A., Tasiou, M. y Torrasi, G. (2018). On the methodological framework of composite indices: A review of the Issues of weighting, aggregation, and robustness. *Social Indicators Research*, 141(61) 1–34.
- Greene, W. (1999). Marginal effects in the censored regression model. *Economics Letters*, 64(1), 43-49.
- Greene, W. H., Hensher, D. A. y Rose, J. (2006). Accounting for heterogeneity in the variance of unobserved effects in mixed logit models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(1), 75-92.
- Greene, W. H. (2008). The econometric approach to efficiency analysis. *The measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*, 1(1), 92-250.
- Gronberg, T. J., Jansen, D. W. y Taylor, L. L. (2012). The relative efficiency of charter schools: A cost frontier approach. *Economics of Education Review*, 31(2), 302-317.

- Grosskopf, S., Hayes, K. y Taylor, L.L. (2009). The relative efficiency of charter schools. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 80(1), 67-87.
- Grosskopf, S., Hayes, K. y Taylor, L.L. (2014). Efficiency in education: Research and implications. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 36(2), 175-210.
- Haelermans, C. y De Witte, K. (2012). The role of innovations in secondary school performance—Evidence from a conditional efficiency model. *European Journal of Operational Research*, 223(2), 541-549.
- Haelermans, C. y Ruggiero, J. (2017). Non-parametric estimation of the cost of adequacy in education: the case of Dutch schools. *Journal of the Operational Research Society*, 68(4), 390-398.
- Haksever, C. y Muragishi, Y. (1998). Measuring value in MBA programs. *Education Economics*, 6(1), 11-26.
- Hanushek, E. A. (1979). Conceptual and empirical issues in the estimation of educational production functions. *Journal of Human Resources*, 14(3), 351-388.
- Hanushek, E. A. (1987). Educational production functions. *Economics of Education*, 2(1), 33-42.
- Hanushek, E. A. (1997). Assessing the effects of school resources on student performance: An update. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 19(2), 141-164.
- Hanushek, E. A. (2002). Publicly provided education. *Handbook of Public Economics*, 4(2), 2045-2141.
- Hanushek, E. A. y Luque, J. A. (2003). Efficiency and equity in schools around the world. *Economics of Education Review*, 22(5), 481-502.

- Haug, A. A. y Blackburn, V. C. (2017). Government secondary school finances in New South Wales: Accounting for students' prior achievements in a two-stage DEA at the school level. *Journal of Productivity Analysis*, 48(1), 69-83.
- Herrero, E. T., Cervero, A., Esteban, M. y Bernardo, A. (2018). ¿Por qué abandonan los alumnos universitarios? Variables de influencia en el planteamiento y consolidación del abandono. *Educación XXI*, 21(2), 131-154.
- Heyder, A. (2019). Teachers' beliefs about the determinants of student achievement predict job satisfaction and stress. *Teaching and Teacher Education*, 86(1), 29-56.
- Hofflinger, A. y Von-Hippel, P. T. (2020). Does achievement rise fastest with school choice, school resources, or family resources? Chile from 2002 to 2013. *Sociology of Education*, 93(2), 132-152.
- Horrace, W. C., Rothbart, M. W. y Yang, Y. (2022). Technical efficiency of public middle schools in New York City. *Economics of Education Review*, 86(1), 10-22.
- Hoxby, C. M. (2003). School choice and school productivity. Could school choice be a tide that lifts all boats? *The Economics of School Choice*, 8(1), 287-342. University of Chicago Press.
- Ibáñez-Martín, M. M., Morresi, S. S. y Delbianco, F. (2017). Una medición de la eficiencia interna en una universidad argentina usando el método de fronteras estocásticas. *Revista de la Educación Superior*, 46(183), 47-62.
- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES) (2016). SABER en breve. 5 ed. ICFES. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Iregui, A. M., Melo, L. y Ramos, J. (2007). Análisis de eficiencia de la educación en Colombia. *Revista de Economía del Rosario*, 10(1), 21-41.

- Jeong, S. O., Park, B. U. y Simar, L. (2010). Nonparametric conditional efficiency measures: asymptotic properties. *Annals of Operations Research*, 173(1), 105-122.
- Johnes, G. y Virmani, S. (2019). The efficiency of private and public schools in urban and rural areas: Moving beyond the development goals. *International Transactions in Operational Research*, 27(4), 1869-1885.
- Johnes, J. (2014). Efficiency and mergers in English higher education 1996/7 to 2008/9: Parametric and non-parametric estimation of the multi-input multi-output distance function. *The Manchester School*, 82(4), 465-487.
- Johnes, J., Bradley, S. y Little, A. (2012). Efficiency in the further education sector in England. *Open Journal of Statistics*, 2(1), 131-140.
- Johnes, J. y Taylor, J. (1989). Undergraduate non-completion rates: differences between UK universities. *Higher Education*, 18(2), 209-225.
- Johnson, A. L. y Kuosmanen, T. (2011). One-stage estimation of the effects of operational conditions and practices on productive performance: Asymptotically normal and efficient, root-n consistent StoNEZD method. *Journal of Productivity Analysis*, 36(2), 219-230.
- Johnson, A. L. y Kuosmanen, T. (2012). One-stage and two-stage DEA estimation of the effects of contextual variables. *European Journal of Operational Research*, 220(2), 559-570.
- Johnson, A. L. y Ruggiero, J. (2014). Nonparametric measurement of productivity and efficiency in education. *Annals of Operations Research*, 221(1), 197-210.
- Kamalja, K. K. y Khangar, N. V. (2017). Multiple Correspondence Analysis and its applications. *Electronic Journal of Applied Statistical Analysis*, 10(2), 432-462.

- Kempkes, G. y Pohl, C. (2010). The efficiency of German universities—some evidence from nonparametric and parametric methods. *Applied Economics*, 42(16), 2063-2079.
- King, K. (2019). Education, digital literacy and democracy: The case of Britain's proposed "exit" from the European Union (Brexit). *Asia Pacific Education Review*, 20(2), 285–294.
- Koçak, D., Türe, H. y Atan, M. (2019). Efficiency measurement with network DEA: An application to sustainable development goals 4. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 6(3), 415-435.
- Kovernuk, N. (2016). Efficiency financial resources in vocational education. *Baltic Journal of Economic Studies*, 2(4), 53-58.
- Kumar, A. y Thakur, R. R. (2019). Objectivity in performance ranking of higher education institutions using dynamic data envelopment analysis. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68(4), 774-796.
- Kumbhakar, S. C. (1987). The specification of technical and allocative inefficiency in stochastic production and profit frontiers. *Journal of Econometrics*, 34(3), 335-348.
- Kuosmanen, T. (2006). Stochastic nonparametric envelopment of data: combining virtues of SFA and DEA in a unified framework. *Agrifood Research Finland*, 6(3), 1-51.
- Kuosmanen, T. (2007). Performance measurement and best-practice benchmarking of mutual funds: combining stochastic dominance criteria with data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 28(1), 71-86.
- Kuosmanen, T. (2011). Attitudes and perceptions about legislation prohibiting the purchase of sexual services in Sweden. *European Journal of Social Work*, 14(2), 247-263.

- Kuosmanen, T. (2012). Stochastic semi-nonparametric frontier estimation of electricity distribution networks: Application of the StoNED method in the Finnish regulatory model. *Energy Economics*, 34(6), 2189-2199.
- Kuosmanen, T. y Johnson, A. L. (2010). Data envelopment analysis as nonparametric least-squares regression. *Operations Research*, 58(1), 149-160.
- Kuosmanen, T. y Johnson, A. L. (2017). Modeling joint production of multiple outputs in StoNED: Directional distance function approach. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 792-801.
- Kuosmanen, T. y Kortelainen, M. (2007). Valuing environmental factors in cost-benefit analysis using data envelopment analysis. *Ecological Economics*, 62(1), 56-65.
- Kuosmanen, T. y Kortelainen, M. (2012). Stochastic non-smooth envelopment of data: Semi-parametric frontier estimation subject to shape constraints. *Journal of Productivity Analysis*, 38(1), 11-28.
- Kuosmanen, T. y Kuosmanen, N. (2009). Role of benchmark technology in sustainable value analysis: An application to Finnish dairy farms. *Agricultural and Food Science*, 18(1), 302-316.
- Kuosmanen, T., Johnson, A. y Saastamoinen, A. (2015). Stochastic nonparametric approach to efficiency analysis: A unified framework. In *Data Envelopment Analysis. International Series in Operations Research y Management Science*, 221(1), 191-244.
- Kuosmanen, T., Saastamoinen, A. y Sipiläinen, T. (2013). What is the best practice for benchmark regulation of electricity distribution? Comparison of DEA, SFA and StoNED methods. *Energy Policy*, 61(1), 740-750.

- Kweh, Q. L., Ting, I. W. K., Lu, W. M. y Le, H. T. M. (2022). Nonlinearity in the relationship between intellectual capital and corporate performance: Evidence from Vietnamese listed companies. *Journal of Intellectual Capital*, 23(6), 1246-1275.
- Lee, L. F. y Tyler, W. G. (1978). The stochastic frontier production function and average efficiency: An empirical analysis. *Journal of Econometrics*, 7(3), 385-389.
- Lee, C. Y. y Wang, K. (2019). Nash marginal abatement cost estimation of air pollutant emissions using the stochastic semi-nonparametric frontier. *European Journal of Operational Research*, 273(1), 390-400.
- Li, H. Z., Kopsakangas-Savolainen, M., Xiao, X. Z., Tian, Z. Z., Yang, X. Y. y Wang, J. L. (2016). Cost efficiency of electric grid utilities in China: A comparison of estimates from SFA–MLE, SFA–Bayes and StoNED–CNLS. *Energy Economics*, 55(1), 272-283.
- Liu, W. H. y Kweh, Q. L. (2022). Reexamining nonlinear effects of intellectual capital on firm efficiency. *Annals of Operations Research*, 315(2), 1319-1344.
- Liu, F., Li, L., Ye, B. y Qin, Q. (2023). A novel stochastic semi-parametric frontier-based three-stage DEA window model to evaluate China's industrial green economic efficiency. *Energy Economics*, 119(1), 506-566.
- Liu, F. y Xu, H. (2017). Effects of educational efficiency on national competitiveness based on cross-national data. *Education Sciences*, 7(4), 81-92.
- López-Torres, L. y Prior, D. (2016). Centralized allocation of human resources. An application to public schools. *Computers y Operations Research*, 73(1), 104-114.
- Lotero, R. y Castellanos, P. (2008). La eficiencia económica: una aproximación teórica. *Cuadernos Latinoamericanos de Administración*, 4(7), 19-28.

- Louca, C. N. y Demosthenous, A. (2015). Education and sustainable economic growth: A theoretical approach of measuring efficiency in education. *International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 1(3), 235-246.
- Lovell, C. K. (1993). Production frontiers and productive efficiency. *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, 1(1), 3-67.
- Lovell, C. K. (2003). The decomposition of Malmquist productivity indexes. *Journal of Productivity Analysis*, 20(1), 437-458.
- Lovell, C. K., Grosskopf, S., Ley, E., Pastor, J. T., Prior, D. y Eeckaut, P. V. (1994). Linear programming approaches to the measurement and analysis of productive efficiency. *Top*, 2(2), 175-248.
- Luo, K., Liu, Y., Chen, P. F., y Zeng, M. (2022). Assessing the impact of digital economy on green development efficiency in the Yangtze River Economic Belt. *Energy Economics*, 112(1), 106-127.
- Mancebón, M. y Bandres, E. (1999). Efficiency evaluation in secondary schools: the key role of model specification and of ex post analysis of results. *Education Economics*, 7(2), 131-152.
- Mancebón, M. y Muñiz, M. A. (2008). Private versus public high schools in Spain: Disentangling managerial and programme efficiencies. *The Journal of the Operational Research Society*, 59(7), 892-901.
- Mancebón, M. J., Calero, J., Choi, Á. y Ximénez-de-Embún, D. P. (2012). The efficiency of public and publicly subsidized high schools in Spain: Evidence from PISA-2006. *Journal of the Operational Research Society*, 63(11), 1516-1533.

- Mang, J., Küchenhoff, H., Meinck, S. y Prenzel, M. (2021). Sampling weights in multilevel modelling: an investigation using PISA sampling structures. *Large-Scale Assessments in Education*, 9(1), 1-39.
- Manski, C. F. (2000). Economic analysis of social interactions. *Journal of Economic Perspectives*, 14(3), 115-136.
- Martín, P. G., de Pascual, A. D., Lezama, E. T. y Olmos, E. G. (1994). Una aplicación del análisis de componentes principales en el área educativa. *Economía*, 19(9), 55-72.
- Marschak, J. y Andrews, W. H. (1944). Random simultaneous equations and the theory of production. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 12(3), 143-205.
- Mayston, D. J. (2015). Analysing the effectiveness of public service producers with endogenous resourcing. *Journal of Productivity Analysis*, 44(1), 115-126.
- Mazurek, J. y Mielcová E. (2019). On the relationship between selected-socio-economic indicators and student performances in the PISA 2015 study. *Economy and Management*, 22(2), 22-39.
- Meeusen, W. y van Den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18(2), 435-444.
- Mekaroonreung, M. y Johnson, A. L. (2012). Estimating the shadow prices of SO₂ and NO_x for US coal power plants: A convex nonparametric least squares approach. *Energy Economics*, 34(3), 723-732.
- Melo-Becerra, L. A. y Espinosa-Rodríguez, N. J. (2005). Ineficiencia en la distribución de energía eléctrica: una aplicación de las funciones de distancia estocástica. *Revista Ensayos Sobre Política Económica*, 23(49), 88-132.

- Melo-Becerra, L. A., Ramos-Forero, J. E. y Hernández-Santamaría, P. O. (2017). La educación superior en Colombia: situación actual y análisis de eficiencia. *Revista Desarrollo y Sociedad*, 78, 59-111.
- Mendoza, A. M. (2011). Propuesta para la medición del rendimiento académico de los estudiantes de la universidad libre utilizando análisis envolvente de datos (DEA). *Revista Academia Libre*, 8(9), 77-82.
- Michaelis, C. y Richter, M. (2022). Discontinuities in vocational education and training: the influence of early-risk factors and personality constructs on premature training termination and subsequent trajectories. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, 14(7), 1-31.
- Milanese, J. P. y Jaramillo L. E. (2015). Impacto de los factores institucionales del sistema electoral en la fragmentación partidaria. Un análisis de las elecciones para concejos municipales en el Valle del Cauca (1997-2011). *Colombia Internacional*, 84(2), 43-70.
- Milanese, J. P., Abadía, A. A. y Manfredi, L. (2016). Elecciones regionales en Colombia 2015: Análisis de las nuevas gobernaciones y asambleas departamentales. *Revista Uruguay de Ciencia Política*, 25(1), 1-26.
- Ministerio de Educación Nacional (2006). Al tablero (en línea). Recuperado de <https://www.mineduccion.gov.co/1621/article-107321.html>.
- Ministerio de Educación Nacional (2014). Sistema nacional de indicadores educativos para los niveles de preescolar, básica y media en Colombia (en línea). Recuperado de https://www.mineduccion.gov.co/1621/articles-329021_archivo_pdf_indicadores_educativos_enero_2014.pdf

- Ministerio de Educación Nacional (2016). Revisión de políticas nacionales de educación: La educación en Colombia (en línea). Recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-356787_recurso_1.pdf.
- Miranda J. C. y Araya, L. (2003). Eficiencia económica en las escuelas del MECE/Rural desde la perspectiva del análisis envolvente de datos (DEA). *Estudios Pedagógicos*, 29, 27-39
- Molinos-Senante, M. y Maziotis, A. (2021). Benchmarking the efficiency of water and sewerage companies: Application of the stochastic non-parametric envelopment of data (stoned) method. *Expert Systems with Applications*, 186(1), 115-171.
- Molinos-Senante, M. y Maziotis, A. (2022). Evaluation of energy efficiency of wastewater treatment plants: The influence of the technology and aging factors. *Applied Energy*, 310(1), 518-535.
- Moncayo–Martínez, L. A., Ramírez–Nafarrate, A. y Hernández–Balderrama, M. G. (2020). Evaluation of public HEI on teaching, research, and knowledge dissemination by Data Envelopment Analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69(1), 100-718.
- Montes, M. A. M. y Galvis, L. A. R. (2017). Desarrollo del sistema educativo en municipios certificados y no certificados en Colombia en 2005, 2008 y 2011. *Voces y Silencios. Revista Latinoamericana de Educación*, 8(1), 103-128.
- Morales, J. C. (2016). El informe Coleman, 50 años después. *Revista de Sociología de la Educación-RASE*, 9(1), 9-21.
- Murillo, J. y Carrillo, S. (2021). Incidence of socioeconomic school segregation on academic performance: A study from Peru. *Education Policy Analysis Archives*, 29(1), 1-49.

- Murillo-Melchor, C. (1999). An analysis of technical efficiency and productivity changes in Spanish airports using the Malmquist index. *International Journal of Transport Economics*, 26(2), 271-292.
- Murillo-Melchor, C., Pastor, J. M. y Tortosa-Ausina, E. (2010). A bootstrap approach to analyse productivity growth in European banking. *Journal of the Operational Research Society*, 61(1), 1729-1745.
- Myeki, L. W. y Temoso, O. (2019). Efficiency assessment of public universities in South Africa, 2009-2013: Panel data evidence. *South African Journal of Higher Education*, 33(5), 264-280.
- Nguyen, T. T., Prior, D. y Van Hemmen, S. (2020). Stochastic semi-nonparametric frontier approach for tax administration efficiency measure: Evidence from a cross-country study. *Economic Analysis and Policy*, 66(1), 137-153.
- Nieswand, M. y Seifert, S. (2018). Environmental factors in frontier estimation—A Monte Carlo analysis. *European Journal of Operational Research*, 265(1), 133-148.
- Nix, A. N., Jones, T. B., Brower, R. L. y Hu, S. (2020). Equality, efficiency, and developmental education reform: The impact of SB 1720 on the mission of the Florida college system. *Community College Review*, 48(1), 55-76.
- Ngo, T. y Tsui, K. W. H. (2022). Estimating the confidence intervals for DEA efficiency scores of Asia-Pacific airlines. *Operational Research*, 22(4), 3411-3434.
- OECD/UNESCO (2016). Education in Thailand: An OECD-UNESCO perspective. *Reviews of National Policies for Education*. Paris, France.
- OECD. (2019). OECD/G20 Base Erosion and Profit Shifting Project Prevention of Treaty Abuse-Peer Review Report on Treaty Shopping Inclusive Framework on BEPS: Action 6: Inclusive Framework on BEPS: Action 6. *OECD Publishing*.

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2016). Results (Volume II): Policies and Practices for Successful Schools. *OCDE Publishing*.
- Oh, D. (2010). A global Malmquist-Luenberger productivity index. *Journal of Productivity Analysis*, 34(164), 183–197.
- Olesen, O. B. y Petersen, N. C. (2016). Stochastic data envelopment analysis: A review. *European Journal of Operational Research*, 251(1), 2-21.
- Padilla, A., Cachanosky, N. y Beck, J. (2020). Immigration and economic freedom: Does education matter? *The Journal of Private Enterprise*, 35(1), 29–57.
- Palomares, R. D., Paz, J. M. M. y Pleite, F. M. C. (2006). El análisis de eficiencia con variables de entorno: un método de programas con tres etapas. *Estudios de Economía Aplicada*, 24(1), 477-497.
- Pasini, G. (2017). Principal component analysis for stock portfolio management. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 115(1), 153-167.
- Pena-López, J. A. y Sánchez-Santos, J. M. (2017). Individual social capital: Accessibility and mobilization of resources embedded in social networks. *Social Networks*, 49(1), 1-11.
- Perelman, S. y Santín, D. (2011). Measuring educational efficiency at student level with parametric stochastic distance functions: An application to Spanish PISA results. *Education Economics*, 19(1), 29-49.
- Peretto, C. (2016). Métodos para medir y evaluar la eficiencia de unidades productivas. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 24(39), 5-25.
- Perović, L.M. y Kosor, M.M. (2020). The efficiency of universities in achieving sustainable development goals. *Amfiteatru Economic*, 22(54), 516-532.

- Podinovski, V. V., Ismail, I., Bouzdine-Chameeva, T. y Zhang, W. (2014). Combining the assumptions of variable and constant returns to scale in the efficiency evaluation of secondary schools. *European Journal of Operational Research*, 239(2), 504-513.
- Pomeroy, R. S., Pollnac, R. B., Katon, B. M. y Predo, C. D. (1997). Evaluating factors contributing to the success of community-based coastal resource management: the Central Visayas Regional Project-1, Philippines. *Ocean & Coastal Management*, 36(3), 97-120.
- Portela, M. C. A. y Thanassoulis, E. (2001). Decomposing school and school-type efficiency. *European Journal of Operational Research*, 132(2), 357-373.
- Portela, M. C. y Camanho, A. S. (2007). Performance assessment of Portuguese secondary schools. *Working Paper in Economics*, 7(1), 1-33.
- Portela, M. C., Camanho, A. S. y Borges, D. (2012). Performance assessment of secondary schools: the snapshot of a country taken by DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 63(1), 1098-1115.
- Portela, M. C., Camanho, A. S. y Keshvari, A. (2013). Assessing the evolution of school performance and value-added: Trends over four years. *Journal of Productivity Analysis*, 39(1), 1-14.
- Prior, D. (1992). Los modelos de frontera en la evaluación de la productividad. *Esic Market*, 78(1), 113-131.
- Ray, S. C., Kumbhakar, S. C. y Dua, P. (2015). Benchmarking for performance evaluation: A production frontier approach. *Springer*. New Delhi, India.
- Rodriguez-Murillo, I. (2014). Eficiencia de la educación superior en Colombia: Un análisis mediante fronteras. *Revista CIFE: Lecturas de Economía Social*, 16(24), 163-194.

- Roohr, K., Olivera-Aguilar, M., Ling, G. y Rikoon, S. (2019). A multi-level modeling approach to investigating students' critical thinking at higher education institutions. *Assessment y Evaluation in Higher Education*, 44(6), 946-960.
- Rouse, C. E. y Barrow, L. (2009). School vouchers and student achievement: Recent evidence and remaining questions. *Annual Review of Economics*, 1(1), 17-42.
- Ruel, M.T. y Menon, P. (2002). Creating a child feeding index using the demographic and health surveys: An example from Latin America. *Food Consumption and Nutrition Division Discussion*, 130(1), 1-32.
- Ruggiero, J. (2004). Data envelopment analysis with stochastic data. *Journal of the Operational Research Society*, 55(9), 1008-1012.
- Rymarzak, M., y Marmot, A. (2020). Higher education estate data accountability: The contrasting experience of UK and Poland. *Higher Education Policy*, 33(1), 179-194.
- Sagarra, M., Mar-Molinero, C. y Agasisti, T. (2017). Exploring the efficiency of mexican universities: Integrating data envelopment analysis and multidimensional scaling. *Omega*, 67(1), 123-133.
- Salas-Velasco, M. (2020). Does greater school resource allocation improve efficiency in education production? Performance assessment of Spanish public sector-funded schools. *International Journal of Educational Management*, 34(5), 903-915.
- Salinas, P. y Solé-Ollé, A. (2018). Partial fiscal decentralization reforms and educational outcomes: A difference-in-differences analysis for Spain. *Journal of Urban Economics*, 107, 31-46.
- Sánchez, A. (2011). Etnia y desempeño académico en Colombia, documentos de trabajo sobre economía regional en Cartagena, Colombia. *Banco de la República, Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER)*. Cartagena, Colombia.

- Schaefer, J. y Clermont, M. (2018). Stochastic non-smooth envelopment of data for multi-dimensional output. *Journal of Productivity Analysis*, 50(3), 139-154.
- Schmidt, P. y Sickles, R. C. (1984). Production frontiers and panel data. *Journal of Business y Economic Statistics*, 2(4), 367-374.
- Sengupta, J. K. y Sfeir, R. E. (1986). Production frontier estimates of scale in public schools in California. *Economics of Education Review*, 5(3), 297-307.
- Sengupta, J. K. y Sfeir, R. E. (1988). Efficiency measurement by data envelopment analysis with econometric applications. *Applied Economics*, 20(3), 285-293.
- Sengupta, J. K. (1987). Production frontier estimation to measure efficiency: A critical evaluation in light of data envelopment analysis. *Managerial and Decision Economics*, 8(2), 93-99.
- Sexton, T. R., Comunale, C. L. y Gara, S. C. (2012). Efficiency-based funding for public four-year colleges and universities. *Education Finance and Policy*, 7(3), 331-359.
- Shen, X. y Lin, B. (2017). The shadow prices and demand elasticities of agricultural water in China: A StoNED-based analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(1), 21-28.
- Showalter, D. A. y Mullet, L. B. (2017). Sniffing Out the Secret Poison: Selection Bias in Educational Research. *Mid-Western Educational Researcher*, 29(3), 207-234.
- Silander, C. y Stigmar, M. (2019). Individual growth or institutional development? Ideological perspectives on motives behind swedish higher education teacher training. *Higher Education*, 77(2), 265-281.
- Simar, L. y Wilson, P. W. (2013). Estimation and inference in nonparametric frontier models: Recent developments and perspectives. *Foundations and Trends in Econometrics*, 5(3-4), 183-337.

- Simar, L. y Wilson, P. W. (2015). Statistical approaches for non-parametric frontier models: a guided tour. *International Statistical Review*, 83(1), 77-110.
- Simar, L. y Wilson, P. W. (2020). Technical, allocative and overall efficiency: Estimation and inference. *European Journal of Operational Research*, 282(3), 1164-1176.
- Soria-Barreto, K. y Zúñiga-Jara, S. (2014). Aspectos determinantes del éxito académico de estudiantes universitarios. *Formación Universitaria*, 7(5), 41-50.
- Sosa, E. R. C., Barrientos, L. G., Castro, P. E. G. y García, J. H. (2010). Academic performance, school desertion and emotional paradigm in university students. *Contemporary Issues in Education Research*, 3(7), 25-36.
- Sothan, S. (2019). The determinants of academic performance: evidence from a Cambodian University. *Studies in Higher Education*, 44(11), 2096-2111.
- Stuart, E. A. (2010). Matching methods for causal inference: A review and a look forward. *Statistical Science: A Review Journal of the Institute of Mathematical Statistics*, 25(1), 1-21.
- Sulis, I., Giambona, F. y Porcu, M. (2020). Adjusted indicators of quality and equity for monitoring the education systems over time. Insights on EU15 countries from PISA surveys. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69(1), 100-718.
- Teddlie, C. y Reynolds, D. (2001). Countering the critics: Responses to recent criticisms of school effectiveness research. *School Effectiveness and School Improvement*, 12(1), 41-82.
- Temoso, O. y Myeki, L. W. (2023). Estimating South African higher education productivity and its determinants using Färe-Primont index: Are historically disadvantaged universities catching up? *Research in Higher Education*, 64(2), 206-227.

- Teremetskyi, V., Grynko, P. y Karmaza, O. (2017). Conceptual principles for increasing the efficiency of legislative regulation of the educational process in Ukraine. *Science y Education*, 26(6), 174-80.
- Thanassoulis, E. y Portela, M. C. A. (2002). School outcomes: sharing the responsibility between pupil and school. *Education Economics*, 10(2), 183–207
- Thanassoulis, E., Kortelainen, M., Johnes, G. y Johnes, J. (2011). Costs and efficiency of higher education institutions in England: A DEA analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 62(7), 1282–1297.
- Thieme, C., Prior, D., y Tortosa-Ausina, E. (2013). A multilevel decomposition of school performance using robust nonparametric frontier techniques. *Economics of Education Review*, 32, 104-121.
- Thieme, C., Prior, D., Giménez, V. y Tortosa-Ausina, E. (2011). Desempeño de los centros educativos: ¿Un problema de recursos o capacidades organizativas? *Hacienda Pública Española*, 199(4), 81–118.
- Tinto, V. (1975). Dropout from higher education: A theoretical synthesis of recent research. *Review of Educational Research*, 45(1), 89-125.
- Tran, C. D. T. y Villano, R. A. (2018). Measuring efficiency of Vietnamese public colleges: An application of the DEA-based dynamic network approach. *International Transactions in Operational Research*, 25(2), 683-703.
- Tsai, S. L., Smith, M. L. y Hauser, R. M. (2017). Families, schools, and student achievement inequality: a multilevel MIMIC model approach. *Sociology of Education*, 90(1), 64-88.
- Tsuyuguchi, K. (2023). Analysis of the determinants of teacher well-being: Focusing on the causal effects of trust relationships. *Teaching and Teacher Education*, 132(1), 14-40.

- Umaña, Y. L., Ramírez, D. M. y Albarracín, J. A. (2022). Saber pro tests in business administration programs in Colombia. *Cuadernos de Administración*, 38(74), 11 - 46.
- United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (2015). UNESCO Science *Report: Towards 2030*. Paris, France.
- United Nations. Statistical Division, & National Household Survey Capability Programme (2005). Household surveys in developing and transition countries. *United Nations Publications*. New York, USA.
- Van Meensel, J., Lauwers, L., Van Huylenbroeck, G. y Van Passel, S. (2010). Comparing frontier methods for economic–environmental trade-off analysis. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 1027-1040.
- Vélez, E. C., Gómez, S. G., Portilla, K. G. y Velásquez, J. V. (2006). Análisis de los factores asociados a la deserción y graduación estudiantil universitaria. *Lecturas de Economía*, 65(1), 9-36.
- Viana, R. A., Arranz, J. M. y García-Serrano, C. (2020). Efficiency of university education: A partial frontier analysis. *Latin American Economic Review*, 29(1), 1-16.
- Vidoli, F. y Ferrara, G. (2015). Analyzing Italian citrus sector by semi-nonparametric frontier efficiency models. *Empirical Economics*, 49(1), 641-658.
- Visbal-Cadauid, D., Martínez-Gómez, M. y Guijarro, F. (2017). Assessing the efficiency of public universities through DEA. A case study. *Sustainability*, 9(8), 2-19.
- Vries, W. D., León Arenas, P., Romero Muñoz, J. F. y Hernández Saldaña, I. (2011). ¿Desertores o decepcionados? Distintas causas para abandonar los estudios universitarios. *Revista de la Educación Superior*, 40(160), 29-49.
- Wang, D. D. (2019). Performance-based resource allocation for higher education institutions in China. *Socio-Economic Planning Sciences*, 65(1), 66-75.

- Worthington, A. C. (2001). An empirical survey of frontier efficiency measurement techniques in education. *Education Economics*, 9(3), 245–268.
- Worthington, A. C. y Lee, B. L. (2008). Efficiency, Technology and Productivity Change in Australian Universities, 1998-2003. *Economics of Education Review*, 27(3), 285-298.
- Yao, F., Wang, T., Tian, J. y Kumbhakar, S. C. (2018). Estimation of a smooth coefficient zero-inefficiency panel stochastic frontier model: A semiparametric approach. *Economics letters*, 166(1), 25-30.