



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Eficiencia de los fondos de empleados en Colombia: aplicación del análisis envolvente de datos (DEA) como herramienta de supervisión preventiva.

Fabián Camilo Ramírez Piza

Tesis de maestría presentada para optar al título de Magíster en Finanzas

Director

Mauricio Lopera Castaño, Magíster (MSc) en Estadística

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Económicas
Maestría en Finanzas
Medellín, Antioquia, Colombia
2026



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Cita

(Ramírez Piza, 2026)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Ramírez Piza, F. C. (2026). *Eficiencia de los fondos de empleados en Colombia: aplicación del análisis envolvente de datos (DEA) como herramienta de supervisión preventiva*. [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Maestría en Finanzas , Cohorte X.

Grupo de Investigación. GIFI - Grupo de Investigación en Finanzas de la UdeA

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Jaime A. Ramirez Téllez. Gracias por ser un ejemplo en todos los ámbitos de mi vida, y, sobre todo, por la generosidad de tu tiempo, tus consejos, tu acompañamiento constante. Tu ejemplo ha sido guía permanente en este camino. Te amo padre.

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin la ayuda generosa de tantas personas que encontré en el camino. Sus consejos, comentarios, correcciones y su paciencia infinita marcaron una diferencia fundamental en este proceso. Quiero agradecer de corazón a mis compañeros de clase y, de manera muy especial, a mi esposa. Ella no solo ha sido mi compañera de vida, sino también mi lectora más exigente y honesta.

Agradezco a la Universidad de Antioquia (UdeA) por abrirme sus puertas, permitirme aprender y brindarme un espacio donde pude desarrollar y expresar mis ideas. Allí comprendí que lo más valioso es la construcción de una opinión fundamentada, rigurosa y bien sustentada.

A mi director de tesis, el profesor Mauricio Lopera Castaño, por su orientación constante, su paciencia y la guía propia de un verdadero maestro. Gracias por su dedicación, por el tiempo invertido incluso más allá de lo exigido, y por la pasión con la que acompaña y orienta a quienes buscan aprender de su experiencia. Le agradezco profundamente por brindarme este espacio académico y por sus valiosas recomendaciones, siempre encaminadas a exigirme y a dar lo mejor de mí.

Tabla de contenido

Resumen	12
Abstract	13
INTRODUCCIÓN	14
Contexto del sector solidario en Colombia	15
El rol de la Superintendencia de la Economía Solidaria.	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1. Objetivo general	18
3.2. Objetivos específicos.....	18
4. HIPÓTESIS.....	19
4.1. Hipótesis de trabajo.....	19
5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	20
5.1. Concepto de eficiencia.	20
5.1.1. Fundamentos económicos de la eficiencia.	20
5.1.1.1. Eficiencia técnica.	20
5.1.1.2. Eficiencia de escala.....	21
5.1.1.3. Eficiencia asignativa.	22
5.1.1.4. Eficiencia relativa vs. eficiencia absoluta.....	22
5.2. El concepto de eficiencia en las organizaciones solidarias.	23
5.2.1. Convergencias metodológicas: una reflexión sobre la eficiencia en organizaciones de bienestar.	24
5.2.2. La sinergia de la producción conjunta.....	24
5.2.3. El desafío de la medición ante la intangibilidad	25

5.2.4.	Legitimación de la frontera de mejores prácticas.....	25
5.3.	Análisis Envoltente de Datos (DEA).....	26
5.3.1.	El concepto de DMU y la frontera de eficiencia.....	26
5.3.2.	Modelos básicos: CCR – Eficiencia global (incluye escala) y BCC – Eficiencia pura (gestión administrativa)	26
5.3.3.	Orientación del modelo	27
5.4.	Análisis dinámico.....	28
6.	METODOLOGÍA.....	30
6.1.	Definición de las unidades de decisión (DMU)	30
6.1.1.	Criterios de clasificación por niveles de supervisión	30
6.1.2.	Clasificación por categorías de tamaño (Activos).....	31
6.1.3.	Estructura de la base de datos y periodicidad	32
6.2.	Selección y clasificación de variables.....	32
6.2.1.	Inputs (entradas).....	33
6.2.2.	Outputs (salidas).....	33
6.3.	Orientación del modelo	35
6.3.1.	Modelo CCR (CRS)	35
6.3.2.	Modelo BCC (VRS).....	36
6.3.3.	Formulación matemática (Modelo BCC - Input Oriented)	36
6.4.	Herramientas de procesamiento	37
6.4.1.	Infraestructura de software y librerías.....	37
6.4.2.	Algoritmo de procesamiento	38
7.	ANÁLISIS Y RESULTADOS (2020-2024)	39
7.1.	Análisis de la eficiencia técnica por categoría (BCC): resultados consolidados 2020-2024	39
7.1.1.	Eficiencia técnica relativa en los fondos de categoría básica.....	39

7.1.2.	Heterogeneidad de eficiencia técnica relativa en las categorías intermedia y plena.	41
7.1.3.	Interpretación de la brecha de eficiencia estructural	42
7.1.4.	Evolución anual de la eficiencia técnica por categoría	42
7.2.	Dinámica de la productividad - Índice de Malmquist	44
7.2.1.	Descomposición anual de la productividad: el efecto 2022.....	44
7.2.2.	El proceso de recuperación y eficiencia por categoría	45
7.2.3.	Catch-up vs. Frontier-shift	45
7.3.	Identificación de referentes grupos par (Peer Groups).....	46
7.3.1.	Identificación de líderes de frontera y representatividad	46
7.3.2.	El rol de los multiplicadores λ en el benchmarking	47
7.4.	Conclusiones del capítulo.....	48
7.4.1.	La Paradoja de la complejidad y la eficiencia.....	48
7.4.2.	Resiliencia y sensibilidad al entorno (efecto 2022)	49
7.4.3.	El cambio tecnológico como motor de productividad	49
7.4.4.	Benchmarking como hoja de ruta operativa.....	49
8.	PROPUESTA DE SUPERVISIÓN PREVENTIVA	50
8.1.	Criterios de priorización de visitas de inspección	50
8.1.1.	Índice de eficiencia técnica (IET) como semáforo de riesgo	50
8.1.2.	Análisis de referentes y planes de convergencia.....	51
8.1.3.	Enfoque diferenciado por categoría y desempeño relativo	51
8.2.	Alertas tempranas operativas asociadas el desempeño relativo.	53
8.2.1.	Alerta por deterioro de productividad de Malmquist	54
8.2.2.	Señal de "desconexión social" e ineficiencia administrativa	54
8.2.3.	Indicador de brecha de solvencia técnica (Target patrimonial)	54

8.2.4. Protocolo de acción preventiva	56
9. CONCLUSIONES.....	57
9.1. Conclusiones sobre la eficiencia del sector.....	58
9.2. Conclusiones frente a la eficiencia del sector fondista.	58
9.3. Recomendaciones para la Superintendencia de la Economía Solidaria.....	59
10. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	61
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Resumen de dimensiones de eficiencia</i>	28
Tabla 2 <i>Resumen de variables seleccionadas</i>	34
Tabla 3 <i>Estadísticas Descriptivas de la Eficiencia Técnica (BCC) por Categoría (2020-2024)</i> ..	41
Tabla 4 <i>Eficiencia media (BCC) por categoría y año (2020-2024)</i>	42
Tabla 5 <i>Evolución de los Índices de Malmquist (Media del Sector)</i>	44

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Densidad de Eficiencia Técnica por Categoría.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 2 Evolución anual de eficiencia media por categoría (BCC).....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 3. Descomposición del índice de Malmquist por año.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 4. Referentes más frecuentes por Categoría.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5. Marco conceptual multidimensional para la priorización de visitas de inspección.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 6. Flujograma de alertas tempranas operativas asociadas al desempeño relativo (Análisis DEA).....</i>	<i>55</i>

Siglas, acrónimos y abreviaturas

BCC	Banker, Charnes and Cooper (modelo DEA con rendimientos variables a escala)
CCR	Charnes, Cooper and Rhodes (modelo DEA con rendimientos constantes a escala)
CRS	Constant Returns to Scale (rendimientos constantes a escala)
DEA	Data Envelopment Analysis (Análisis Envolvente de Datos)
DMU	Decision Making Unit (unidad de toma de decisión)
Malmquist:	Índice de productividad intertemporal
SES:	Superintendencia de la Economía Solidaria
TFP:	Total Factor Productivity (productividad total de los factores)
VRS:	Variable Returns to Scale (rendimientos variables a escala)
θ (theta):	Índice de eficiencia técnica
λ (lambda):	Ponderador utilizado en la construcción de la frontera eficiente

Resumen

El presente trabajo analiza la eficiencia técnica relativa de los fondos de empleados en Colombia durante el periodo 2020-2024, evaluando la utilidad del *Análisis Envolvente de Datos* (DEA) como herramienta complementaria para la supervisión preventiva de la Superintendencia de la Economía Solidaria. Metodológicamente, se aplicó un modelo DEA-BCC orientado a insumos y el Índice de Malmquist para examinar la evolución de la productividad, segmentando el análisis en las categorías de supervisión Básica, Intermedia y Plena.

Los resultados evidencian una heterogeneidad significativa en los niveles de eficiencia relativa entre entidades comparables. Los fondos de categoría básica presentan mayor cercanía promedio a la frontera eficiente (0.81) que los de categoría plena (0.71), indicando que un mayor volumen de activos no se asocia necesariamente con un uso relativamente más eficiente de los recursos operativos. El análisis dinámico muestra variaciones intertemporales en la productividad, explicadas principalmente por desplazamientos de la frontera eficiente más que por cambios en la eficiencia individual.

Como aporte aplicado, se propone un esquema de supervisión preventiva basada en la distancia relativa a la frontera eficiente, integrado en el *Índice de Eficiencia Técnica*, el análisis de referentes y un sistema de alertas operativas tempranas. Se concluye que la evaluación comparativa del desempeño permite detectar brechas operativas persistentes entre entidades similares y priorizar las actividades de supervisión, complementando los indicadores prudenciales tradicionales sin remplazarlos, y aportando información anticipada sobre posibles deterioros operativos dentro del sector solidario colombiano.

Palabras clave: Eficiencia técnica, fondos de empleados, Análisis Envolvente de Datos, Índice de Malmquist, supervisión preventiva, sector solidario.

Abstract

This study analyzes the relative technical efficiency of employee funds in Colombia during the period 2020–2024, evaluating the usefulness of Data Envelopment Analysis (DEA) as a complementary tool for preventive supervision by the Superintendence of the Solidarity Economy. Methodologically, a DEA-BCC model oriented to inputs and the Malmquist Index were applied to examine productivity changes, segmenting the analysis into Basic, Intermediate, and Full supervision categories.

The results reveal significant heterogeneity in relative efficiency levels among comparable entities. Funds in the basic category show a higher average proximity to the efficient frontier (0.81) than those in the full category (0.71), indicating that a larger volume of assets is not necessarily associated with a more efficient use of operational resources. The dynamic analysis shows intertemporal variations in productivity, mainly explained by shifts in the efficient frontier rather than improvements in individual efficiency.

As an applied contribution, a preventive supervision framework is proposed based on the relative distance to the efficient frontier, integrating the Technical Efficiency Index, benchmarking analysis, and an early operational warning system. It is concluded that comparative performance evaluation allows the identification of persistent operational gaps among similar entities and supports the prioritization of supervisory activities, complementing traditional prudential indicators without replacing them, and providing early signals of potential operational deterioration within the Colombian solidarity sector.

Keywords: Technical efficiency, employee funds, Data Envelopment Analysis, Malmquist Index, preventive supervision, solidarity sector.

INTRODUCCIÓN

Se identifica una tendencia creciente en el número de fondos de empleados que entran en procesos de liquidación voluntaria. Mientras que el promedio de liquidaciones entre los años 2000 y 2016 fue de 3,3 organizaciones por año, este promedio se disparó a 11 organizaciones anuales en el periodo 2017-2024. Este crecimiento, que comenzó incluso antes de la pandemia del covid-19, señala vulnerabilidades estructurales que no están siendo detectadas o mitigadas a tiempo por los esquemas actuales.

El problema central radica en que los procesos de inspección y los criterios de priorización de la Superintendencia de la Economía Solidaria -SES, se estructuran principalmente a partir del tamaño de los activos y del nivel de supervisión asignado a cada organización solidaria. Este enfoque asume implícitamente que el mayor volumen de recursos administrados es un indicador de priorización de supervisión. Sin embargo, la capacidad financiera de un fondo de empleados no necesariamente refleja la eficiencia en el uso de los recursos de ahorro. En múltiples casos, un alto nivel de activos puede explicarse por características propias del vínculo común de asociación, como la concentración de trabajadores de empresas grandes, incentivos de ahorro, esquemas de patrocinio, entre otros, más que por una gestión administrativa eficiente.

Actualmente, no se encontró un indicador dinámico que permita a la SES identificar desviaciones tempranas en el uso de recursos financieros y operativos mediante la comparación de una entidad frente a las mejores prácticas de su propio mercado. Esta presunta ausencia de herramientas analíticas más robustas limita la transición de un modelo de supervisión basado en la "cantidad de visitas" hacia uno basado en la "priorización por eficiencia", indispensable para proteger de manera preventiva el ahorro de los asociados en un entorno de recursos públicos limitados -Restricción natural del gasto público.

Dada la naturaleza de la actividad de ahorro y crédito, que López Roca (2012) califica como un "privilegio" sometido a la autorización previa del Estado, la SES debe garantizar una supervisión que proteja los recursos de los asociados. Actualmente, los procesos de supervisión, se desarrolla bajo tres (3) enfoques: visitas instructivas preventivas, visitas de cumplimiento y visitas basadas

en riesgo. Sin embargo, los datos históricos revelan un desafío importante en términos de cobertura. Entre 2021 y 2023, el índice de cobertura de visitas de inspección frente al total de fondos de empleados fue del 1,35% en promedio, lo que parece ser una limitación en la capacidad operativa para alcanzar la totalidad de las organizaciones supervisadas.

Contexto del sector solidario en Colombia

En Colombia, los fondos de empleados representan el 40,94% de las organizaciones solidarias vigiladas por la Superintendencia de la Economía Solidaria y constituyen uno de los principales mecanismos de provisión de servicios de ahorro y crédito para los “(...) *el(la) trabajador(a) dependiente, servidor(a) público(a) y trabajador(a) asociado(a)*” con el fondo de empleados. Estas organizaciones, de naturaleza privada y sin ánimo de lucro, se conforman a partir de un *vínculo de asociación* generado por “(...) *la empresa o empresas receptoras de la prestación de servicios de los trabajadores dependientes, servidores públicos o trabajadores asociados, que determine el fondo de empleados en sus estatutos y a través de cualquier acto jurídico*”¹, y prestan de manera directa y exclusiva servicios financieros a sus asociados².

La importancia económica de los fondos de empleados es significativa. Al cierre de 2024, los saldos de cartera alcanzaron los \$11,2 billones y los depósitos de ahorro sumaron \$9,2 billones. En términos per cápita, esto equivale a un saldo promedio de cartera por asociado cercano a \$9 millones y depósitos aproximadamente \$7,5 millones, lo que equivale a un impacto directo en la financiación cotidiana de los hogares vinculados.

El rol de la Superintendencia de la Economía Solidaria.

La Superintendencia de la Economía Solidaria (SES) es el organismo técnico adscrito al Ministerio de Hacienda y Crédito Público encargado de las funciones de inspección, vigilancia y control de estas organizaciones. Su mandato legal, fundamentado principalmente en la Ley 454 de

¹ Superintendencia de la Economía Solidaria, 2025.

² Decreto ley 1481 de 1989, 1989, art. 22.

1998, le exige evaluar la situación socioeconómica de las entidades y ordenar medidas para subsanar irregularidades.

A pesar de los avances en la medición de eficiencia en el sector financiero, la literatura disponible presenta limitaciones para el análisis de los fondos de empleados. El *Análisis Envolvente de Datos* (DEA) ha sido ampliamente utilizado en el ámbito bancario y financiero; sin embargo, su aplicación como herramienta de supervisión preventiva en organizaciones de economía solidaria, es aún incipiente, especialmente en el contexto latinoamericano.

Adicionalmente, la mayoría de los estudios sobre eficiencia financiera parten de supuestos de maximización económica propios de entidades con fines de lucro, donde la optimización de recursos y la maximización de resultados financieros constituyen el eje central de evaluación. Sin embargo, cuando se intenta trasladar dicho enfoque a organizaciones de la economía solidaria, más concretamente, a los Fondos de Empleados³, surge una tensión conceptual relevante, esta es, que estas organizaciones no operan exclusivamente bajo criterios de maximización financiera, si no bajo principios de solidaridad, cooperación, participación y ayuda mutua⁴. En consecuencia, la interpretación tradicional de la eficiencia puede resultar incompleta o sesgada, al no considerar la naturaleza mutua de su operación.

Esta doble limitación, tanto metodológica como conceptual, evidencia la necesidad de un enfoque que permita medir eficiencia relativa entre entidades comparables y, simultáneamente, utilizar dicha información en procesos de supervisión preventiva. En este contexto, el DEA se

³ Los fondos de empleados constituyen una figura jurídica propia del ordenamiento colombiano, caracterizada por la asociación de trabajadores vinculados a una empresa que genera un vínculo común de asociación y la prestación directa de ahorro y crédito exclusivamente a sus asociados. Aunque existen instituciones parcialmente comparables en otros países, como es el caso de las *Credit Unions*, *Employee credit societies*, *cooperativas de ahorro y crédito cerradas o abiertas*, *cajas de ahorro*, entre otras, ninguna reproduce de manera integral su diseño institucional, particularmente como regla general la de pertenecer a una empresa o institución pública o privada como base asociativa. Esta particularidad, limita la comparabilidad internacional y explica la reducida disponibilidad de literatura académica extranjera directa aplicable al análisis de este tipo de organizaciones.

⁴ Ley 454 de 1998, 1998. Art. 4.

propone no solo como una herramienta de medición de desempeño operativo, sino como un instrumento potencial de priorización técnica dentro de los esquemas de supervisión.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este contexto, la presente investigación se plantea la siguiente pregunta: ¿Puede la medición de eficiencia técnica mediante el Análisis Envoltante de Datos (DEA) identificar de manera anticipada vulnerabilidades operativas en los fondos de empleados y servir como criterio técnico para la priorización de la supervisión preventiva?

2. JUSTIFICACIÓN

En este contexto, el DEA se justifica como una herramienta de alta capacidad analítica. Al tratarse de una metodología no paramétrica, permite construir una frontera empírica de mejores prácticas a partir de los datos observados y evaluar la eficiencia relativa de cada entidad frente a sus pares comparables. A diferencia de los enfoques econométricos tradicionales, el modelo admite múltiples entradas y salidas sin requerir la especificación previa de una función de producción ni la asignación exógena de ponderaciones (Bowlin, 1998; Charnes, Cooper & Rhodes, 1978).

La incorporación de este modelo podría permitir a la SES e incluso a los mismos fondos de empleados identificar de forma temprana desviaciones en el uso de recursos. Al asignar un marcador de eficiencia relativo, el ente supervisor podrá priorizar sus esfuerzos de inspección en aquellas entidades con mayores brechas de desempeño. En conclusión, esta investigación proporciona el sustento para transformar la supervisión en Colombia hacia un modelo basado en la *eficiencia técnica* (Charnes, Cooper & Rhodes, 1978), asegurando una gestión más sostenible y transparente para los asociados de los fondos de empleados.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia técnica de los fondos de empleados en Colombia durante el periodo 2020-2024 mediante la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) y el Índice de Malmquist, con el fin de proponer un modelo de supervisión preventiva que fortalezca la estabilidad financiera y mantener la función social del sector solidario.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia técnica de los fondos de empleados mediante el modelo DEA-BCC, segmentando los resultados por categorías de supervisión (Básica, Intermedia y Plena).
- Evaluar la evolución de la productividad sectorial a través del Índice de Malmquist, identificando el impacto del cambio tecnológico y la eficiencia operativa entre 2020 y 2024.
- Establecer metas de optimización de recursos mediante el análisis de holguras (slacks) y benchmarking, permitiendo a las entidades ineficientes converger hacia las mejores prácticas del sector.
- Proponer un modelo de supervisión preventiva basado en el Índice de Eficiencia Técnica y una matriz de Eficiencia-Riesgo para fortalecer la vigilancia y la toma de decisiones de la SES.

4. HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis de trabajo

Tomando en cuenta lo anterior, se formulan las siguientes hipótesis:

- a. La eficiencia técnica relativa de los fondos de empleados no depende sistemáticamente del tamaño de los activos administrados.
- b. Los fondos de empleados clasificados como de primer nivel de supervisión y de categoría plena no presentan niveles superiores de eficiencia técnica relativa frente a los de menor tamaño.
- c. Las reducciones persistentes en el índice de productividad de Malmquist permite identificar deterioros operativos relativos entre fondos comparables.
- d. Los indicadores de eficiencia técnica estimados mediante DEA permiten priorizar entidades para fines de supervisión preventiva.

En definitiva, el presente estudio contribuye a la literatura en tres (3) dimensiones: (i) amplía la aplicación del DEA al ámbito de la económica solidaria bajo un enfoque regulatorio; (ii) integra mediciones estáticas y dinámicas de eficiencia para fines de supervisión preventiva; y (iii) propone un marco interpretativo que articula eficiencia técnica con sostenibilidad institucional en organizaciones solidarias que prestan servicios de ahorro y crédito.

5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

5.1. Concepto de eficiencia.

Desde la teoría económica tradicional la eficiencia ha sido asociada a la maximización de productos dados ciertos niveles de insumos o, a la minimización de insumos para un nivel de producción determinado (Fried et al., 2021; Färe et al., 2019). Sin embargo, en organizaciones de carácter mutuo esta interpretación requiere una adaptación conceptual (Garrido, 2024) ya que el objetivo no es maximizar utilidades sino sostener de manera equilibrada la prestación de servicios financieros y sociales a los asociados (Mersland & Strøm, 2019; Garrido, 2024). En consecuencia, un fondo de empleados puede presentar una moderada rentabilidad y, aun así, ser eficiente si logra prestar servicios de forma estable, continua y con uso adecuado de sus recursos operativos (Cull et al., 2018; Bardhan, 2023; Zineelabidine, 2024).

Farrel (1957) introduce una aproximación empírica al concepto de eficiencia productiva al proponer que el desempeño de una unidad debe evaluarse en relación con otras unidades comparables y no frente a un estándar teórico de referencia. Bajo esta perspectiva, la eficiencia se interpreta como una medida relativa asociada a la distancia de cada unidad respecto a una frontera de mejores prácticas observadas (Coelli et al., 2018). Esta mirada permite descomponer el desempeño organizacional en componentes específicos, como la eficiencia técnica, eficiencia asignativa y eficiencia de escala, lo que facilita un análisis diagnóstico del uso de los recursos. El carácter comparativo de esta medición constituye el fundamento conceptual de los métodos de frontera, y particularmente del Análisis Envolvente de Datos (DEA), al permitir evaluar organizaciones que operan bajo condiciones institucionales similares.

5.1.1. Fundamentos económicos de la eficiencia.

5.1.1.1. Eficiencia técnica.

Fried, Lovell y Schmidt (2021) definen la eficiencia técnica como la capacidad de una organización para obtener el máximo nivel posible de servicios a partir de un conjunto dado de recursos disponibles. Bajo esta perspectiva, la ineficiencia técnica no implica necesariamente

perdidas financieras, sino un uso subóptimo de los insumos operativos (Emrouznejad & Yang, 2018), administrativos o financieros frente a otras entidades comparables (Coelli et al., 2018). Así, una organización es técnicamente eficiente cuando, dadas las condiciones similares de tamaño, regulación y mercado objetivo, no es posible reducir sus recursos utilizados sin afectar el nivel de servicios prestados a los asociados (Garrido, 2024; Bardhan, 2023).

En los fondos de empleados con su carácter mutual, esta dimensión resulta particularmente importante, ya que el desempeño no se evalúa únicamente por la rentabilidad obtenida sino por la capacidad de sostener la prestación de servicios de ahorro y crédito. De esta manera, la eficiencia técnica permite identificar diferencias de gestión operativa entre entidades comparables aun cuando todas cumplan adecuadamente su función solidaria.

5.1.1.2.Eficiencia de escala.

Se refiere a la adecuación entre el tamaño operativa de una organización y el nivel de servicios que presta. Una entidad alcanza eficiencia de escala cuando opera en un nivel de actividad en el cual no es posible mejorar su desempeño únicamente mediante la expansión o reducción de su tamaño. De esta manera, la ineficiencia puede originarse tanto en estructuras organizacionales demasiado pequeñas, debido a que no aprovecha economías administrativas, como en estructuras excesivamente grandes (Fried et al., 2021), donde surgen costos de coordinación, control y de gestión.

En el contexto de los fondos de empleados, esta dimensión destaca por su importancia, dado que el volumen de activos administrados no necesariamente registra una mejor gestión operativa, un mayor tamaño institucional puede responder a características del vínculo común de asociación o a condiciones particulares del empleado patrocinador, sin que ello quiera decir que haga un uso más eficiente de los recursos. Por lo tanto, la eficiencia de escala permite distinguir entre un crecimiento organizacional y desempeño operativo, identificando situaciones en las que la expansión institucional no se traduce en mejoras en la prestación del servicio a los asociados. Este enfoque resulta consistente con los modelos de frontera productiva, en los cuales la eficiencia depende de la posición relativa de la entidad respecto a su tamaño óptimo de operación (Coelli et al., 2018; Fried et al., 2021).

5.1.1.3.Eficiencia asignativa.

Este tipo de eficiencia se relaciona en la forma como una organización combina sus distintos recursos para prestar sus servicios (Coelli et al., 2018). La eficiencia asignativa analiza si la proporción en que dichos insumos son utilizados resulta adecuada dadas las condiciones operativas de la organización. De esta manera, un fondo de empleados puede ser técnicamente eficiente, al no desperdiciar recursos, y, sin embargo, ser asignativamente ineficiente si la estructura de los gastos, personal o inversión administrativa no corresponde a sus necesidades de operación.

En los fondos de empleados esta dimensión es importante, debido a que las decisiones de gestión no se orientan exclusivamente por criterios de rentabilidad, sino también por la prestación estable del servicio al asociado. Así, la asignación de recursos hacía la atención al asociado, administración de cartera, educación solidaria o gestión operativa puede responder a objetivos institucionales distintos al beneficio financiero inmediato. Desde este punto de vista, la eficiencia asignativa no se interpreta como maximización de utilidades (Bardhan, 2023), sino como la adecuada distribución de recursos organizacionales para garantizar la sostenibilidad y continuidad de los servicios de ahorro y crédito ofertados. Este enfoque permite analizar el desempeño organizacional sin exigir comportamientos propios de las entidades con fines de lucro y es consistente con los modelos de eficiencia productiva que distinguen entre el uso óptimo de recursos y resultados financieros observados (Fried et al., 2021; Coelli et al., 2018).

En el caso de los fondos de empleados, la interpretación de la eficiencia requiere considerar su naturaleza mutua. Estas organizaciones no orientan su actividad a la maximización del beneficio económico, sino a la prestación continua de servicios financieros y sociales para sus asociados, tales como el acceso al crédito, ahorro, bienestar y demás servicios complementarios. En consecuencia, el desempeño organizacional debe evaluarse no solo por los resultados financieros observados, sino también por la sostenibilidad operativa y la capacidad institucional para garantizar la continuidad del servicio.

5.1.1.4.Eficiencia relativa vs. eficiencia absoluta.

Un aspecto crítico de esta investigación es el carácter relativo de la eficiencia en el modelo DEA. A diferencia de un estándar de ingeniería, eficiencia absoluta, la técnica DEA "evalúa la

eficiencia de las DMU comparándolas con una frontera de mejores prácticas construida a partir de los datos observados" (Charnes et al., 1978; Coelli et al., 2018). Esto significa que un fondo de empleados es calificado como eficiente si ninguna otra entidad del grupo de comparación demuestra que puede producir más con menos.

La evaluación del desempeño de organizaciones financieras tradicionalmente se ha apoyado en indicadores contables como rentabilidad, liquidez o solvencia. Sin embargo, estas medidas presentan limitaciones para analizar organizaciones de naturaleza mutual y solidaria. Ya que reflejan resultados financieros agregados, pero no permite identificar diferencias en el uso relativo de los recursos entre organizaciones comparables. En este contexto, dos entidades pueden exhibir niveles diferentes de rentabilidad y, aun así, presentar desempeños operativos muy diferentes (Resti & Sironi, 2017).

El *Análisis Envolvente de Datos* (DEA) es un método no paramétrico de estimación de fronteras eficientes desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes (1978) para evaluar el desempeño relativo de un conjunto de unidades de decisión comparables (DMU). A diferencia de los enfoques econométricos tradicionales, el modelo no requiere especificar previamente una función de producción, sino que construye empíricamente una frontera de mejores prácticas a partir de la información observada de insumos y productos. En este marco, la eficiencia de cada unidad se determina por su distancia relativa respecto a dicha frontera, permitiendo identificar tanto las organizaciones eficientes como el potencial de mejora de aquellas que operan por debajo del nivel observado de desempeño.

5.2.El concepto de eficiencia en las organizaciones solidarias.

Esta importante distinción implica que la evaluación de su desempeño no puede limitarse a indicadores convencionales de rentabilidad y crecimiento patrimonial. En estos casos, el resultado organizacional no se expresa únicamente en excedentes financieros (Bardhan, 2023; Cull et al., 2018), sino también en la innovación de la oferta de productos a los asociados de ahorro, crédito, acceso a convenios, fondos de educación, solidaridad y bienestar; diferenciales de tasas activas y pasivas frente al mercado financiero; transferencias solidarias en salud y calamidad, entre otros,

que en conjunto se mide a través del Balance Social y el Beneficio Solidario⁵. Por ello, la noción de eficiencia debe interpretarse como la capacidad relativa de la organización para administrar adecuadamente sus recursos y cumplir con su objeto social con el menor consumo posible de insumos administrativos.

5.2.1. Convergencias metodológicas: una reflexión sobre la eficiencia en organizaciones de bienestar.

El estudio de la eficiencia en entidades de tipo mutualistas requiere una perspectiva que trascienda la métrica comercial tradicional. En este contexto, la fundamentación de la presente investigación se nutre de las premisas expuestas por Martín (s.f.) en su análisis sobre la educación superior, el cual establece un marco conceptual robusto para organizaciones que operan bajo lógicas de servicio y no solo de mercado.

5.2.2. La sinergia de la producción conjunta

Un pilar fundamental para entender a los fondos de empleados es el concepto de "*producción conjunta*" (*joint production*). Martín (s.f.) destaca que "una peculiaridad de las instituciones universitarias es que realizan de manera simultánea dos actividades distintas, docencia e investigación, compartiendo gran parte de sus inputs" (p. 140).

Esta tesis adopta dicha perspectiva al reconocer que los fondos de empleados no pueden evaluarse bajo una lógica lineal; por el contrario, gestionan de forma interdependiente servicios de ahorro y crédito -financieros y beneficio social utilizando una infraestructura administrativa común. Reconocer esta multiplicidad de objetivos es vital para que el modelo DEA no penalice la inversión social, sino que la entienda como un producto valioso que comparte recursos con la actividad crediticia tradicional.

⁵ Superintendencia de la Economía Solidaria, Circular 087 de 2025, 2025, Anexo 2.

5.2.3. El desafío de la medición ante la intangibilidad

La selección de variables en sectores prestadores de servicios enfrenta el obstáculo de la intangibilidad. Al respecto, Martín (s.f.) advierte sobre la *"ausencia de unos precios de mercado para los outputs que permitan realizar una valoración de los mismos"* (p. 142). Ante esta carencia de precios explícitos, la presente investigación opta por un enfoque de intermediación financiera que utiliza indicadores *proxies* de cobertura y excedente social. Esta decisión metodológica permite capturar la esencia del sector solidario, evitando el sesgo de utilizar únicamente *"medidas de volumen o cantidad de los productos, que no tienen en cuenta la calidad de los mismos"* (Martín, s.f., p. 143).

5.2.4. Legitimación de la frontera de mejores prácticas

Finalmente, el uso de la técnica DEA se justifica en la capacidad de construir una frontera de "mejores prácticas" basada en unidades reales. Según Martín (s.f.), el análisis de fronteras productivas es el más idóneo para estas instituciones porque permite que *"la unidad evaluada sea comparada con una unidad real o una combinación lineal de unidades reales que presentan un comportamiento mejor que ella"* (p. 147).

Asimismo, se integra la distinción entre eficiencia técnica y de escala propuesta por el autor para determinar si las ineficiencias detectadas en los fondos de empleados responden al *"funcionamiento de la unidad o a que ésta no está operando en su escala óptima"* (Martín, s.f., p. 150). Esta diferenciación permite que el modelo de supervisión preventiva aquí propuesto ofrezca diagnósticos personalizados y humanizados, reconociendo que la excelencia administrativa no depende exclusivamente del tamaño de los activos de la entidad.

Ante esta limitación, surge la necesidad de emplear herramientas que permitan comparar unidades homogéneas bajo un enfoque de eficiencia relativa (Charnes et al., 1978; Coelli et al., 2018). Los métodos de eficiencia productiva pueden dar respuesta a este propósito al evaluar el desempeño de cada fondo de empleados en relación con las mejores prácticas observadas dentro del propio grupo analizado. En lugar de establecer un estándar teórico de producción, estos enfoques construyen una referencia empírica a partir de la información disponible.

5.3. Análisis Envolvente de Datos (DEA)

El *Análisis Envolvente de Datos* (DEA), propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), constituye un método no paramétrico de estimación de fronteras eficientes basada en programación lineal. Su objetivo es determinar que unidades utilizan de manera más eficiente sus recursos al compararlas con otras que operan bajo condiciones similares. De esta manera el DEA no mide el desempeño absoluto de una organización solidaria, sino su eficiencia relativa frente a sus pares comparables.

Esta característica resulta particularmente adecuada para el análisis de los fondos de empleados, donde las entidades comparten marcos regulatorios, naturaleza jurídica e institucional y tipos de servicios prestados. En consecuencia, el DEA permite identificar diferencias de gestión operativa que no pueden ser observadas mediante indicadores financieros convencionales y proporciona información útil para el análisis comparativo dentro de procesos de supervisión preventiva.

5.3.1. El concepto de DMU y la frontera de eficiencia

La metodología se basa en la construcción de una superficie o "envoltura" que une a las entidades con mejores prácticas. Como señala Bowlin (1998), una DMU se considera eficiente si su desempeño se sitúa sobre esta frontera empírica, mientras que aquellas que quedan por debajo son calificadas como menos eficientes, midiendo su brecha respecto a los referentes o *benchmarks*.

5.3.2. Modelos básicos: CCR – Eficiencia global (incluye escala) y BCC – Eficiencia pura (gestión administrativa)

Existen dos orientaciones fundamentales en el cálculo de la eficiencia dentro del marco DEA:

- **Modelo CCR – Eficiencia global (incluye escala).** Introducido en 1978, este modelo asume rendimientos constantes a escala (CRS). Proporciona una medida de la eficiencia

técnica global (Charnes et al., 1978). Bajo esta perspectiva, se estima que un cambio en los insumos genera un cambio igualmente proporcional en los productos.

- **Modelo BCC – Eficiencia pura (gestión administrativa).** Propuesto en 1984, este modelo incorpora rendimientos variables a escala (VRS). Este modelo es crucial para aislar la eficiencia técnica pura de la eficiencia de escala (Banker et al., 1984). Permite que la frontera sea convexa, reconociendo que las organizaciones pueden enfrentar rendimientos crecientes, constantes o decrecientes (Banker et al., 1984; Coelli et al., 2018).

5.3.3. Orientación del modelo

Dependiendo del objetivo de la supervisión, el DEA puede orientarse de dos formas:

1. **Orientación a insumos (Input-oriented):** Busca la máxima reducción proporcional de los insumos para un nivel dado de productos.
2. **Orientación a productos (Output-oriented):** Busca el máximo incremento proporcional de los productos dado un nivel de insumos (Mendelová y Král', 2019).

En el contexto de los fondos de empleados, la elección del modelo dependerá de si se busca optimizar el uso de recursos captados o maximizar la colocación de servicios financieros y de beneficios sociales.

Tabla 1*Resumen de dimensiones de eficiencia*

Tipo de Eficiencia	Enfoque Principal	Requerimiento de Datos
Técnica	Maximización de productos / Minimización de insumos.	Cantidades (Inputs/Outputs).
De Escala	Operación en el tamaño óptimo de mercado.	Cantidades bajo rendimientos variables.
Asignativa	Combinación de insumos al menor costo posible.	Cantidades y Precios/Costos.
Económica	Éxito total (Técnica + Asignativa).	Datos operativos y financieros completos.

Bajo esta perspectiva, la eficiencia en los fondos de empleados debe entenderse como eficiencia operativa relativa y no como eficiencia financiera absoluta (Fried et al., 2021; Coelli et al., 2018). El análisis se centra en comparar entidades similares entre sí (Charnes et al., 1978), identificando aquellas que, bajo condiciones equivalentes de tamaño, nivel de regulación por categoría y mercado objetivo, logran transformar de mejor manera sus recursos administrativos y financieros en servicios efectivos e integrales para sus asociados (Zhu, 2020; Emrouznejad & Yang, 2018). Esta interpretación permitiría evaluar el desempeño sin desconocer la naturaleza mutua y solidaria de los fondos de empleados (Garrido, 2024; Bardhan, 2023) y proporciona un marco adecuado para el análisis comparativo dentro de los procesos de supervisión preventiva.

5.4. Análisis dinámico

Cuando se dispone de datos para varios periodos de tiempo, el análisis estático resulta insuficiente para capturar la evolución de la productividad. Para ello, la literatura sugiere el uso del Índice de Malmquist, el cual permite descomponer el cambio en la productividad total de los factores en dos componentes críticos (Zrelli et al., 2020):

1. **Cambio en la Eficiencia Técnica (Catch-up):** Mide qué tanto se ha acercado o alejado una DMU de la frontera de eficiencia de un año a otro.
2. **Cambio Tecnológico (Frontier-shift):** Mide el desplazamiento de la frontera misma debido a innovaciones en el sector o cambios en el entorno regulatorio y económico.

La metodología DEA permite evaluar la eficiencia relativa en unidades comparables mediante su distancia respecto a una frontera empírica de mejores prácticas. De esta manera, ofrece un indicador sintético del desempeño operativo basado en el uso de recursos observados, útil para el análisis comparativo entre organizaciones homogéneas.

6. METODOLOGÍA

6.1. Definición de las unidades de decisión (DMU)

Charnes et al. (1978) plantean que una DMU es básicamente una entidad que coge recursos y los convierte en resultados. Lo interesante es que la eficiencia no se mide de forma aislada, sino comparándola con lo que hacen otras unidades parecidas. En este estudio, se trata de los fondos de empleados en Colombia que reporta información financiera ante la Superintendencia de la Economía Solidaria, durante el período 2020-2024.

Para conseguir mejores resultados en el análisis, se decide segmentar la muestra. Esto permite caracterizar mejor a los fondos y, como lo muestran Banker et al. (1984) y Cook et al. (2014), realmente mejora la calidad del análisis. En la segmentación se tienen en cuenta variables como el nivel de supervisión y la categoría de cada fondo. De esta manera se puede agrupar los que son más similares y hacer comparaciones que tengan más sentido.

En consecuencia, la unidad de decisión (DMU) no corresponde únicamente a la entidad como organización permanente, sino a cada observación anual de la entidad. Es decir, cada fondo de empleados en cada periodo constituye una DMU independiente, permitiendo construir fronteras comparables dentro de cada año y evitando sesgos derivados de cambios macroeconómicos intertemporales.

6.1.1. Criterios de clasificación por niveles de supervisión

La regulación colombiana, aplicada por la SES a sus organizaciones bajo inspección, control y vigilancia, clasifica a las organizaciones solidarias en niveles de supervisión, los cuales determinan la rigurosidad de los controles y la periodicidad de los reportes financieros, entre otros. Esta clasificación es fundamental para el análisis de eficiencia, dado que las exigencias administrativas varían significativamente entre niveles.

- **Nivel 1:** entidades de mayor tamaño o riesgo que requieren un control exhaustivo y la implementación de sistemas complejos de gestión de riesgos (SARC, SARLAFT, entre otros).
- **Nivel 2:** entidades de tamaño intermedio con estructuras de control moderadas.
- **Nivel 3:** entidades pequeñas con estructuras administrativas simplificadas.

La literatura sobre eficiencia en el sector financiero sugiere que las obligaciones regulatorias actúan como costos fijos operativos que pueden desplazar la frontera de eficiencia (Belmonte Ureña & Plaza Úbeda, 2008). Por tanto, un Fondo de Empleados de Nivel 1 no debe ser comparado directamente con uno de Nivel 3, ya que sus estructuras de costos administrativos (cuenta 510000) no son comparables debido al cumplimiento normativo diferenciado.

El modelo DEA se estima separadamente por cada grupo homogéneo de comparación (categoría y período), de modo que cada frontera eficiente se construye únicamente con entidades que enfrentan condiciones regulatorias y de escala similares. Es decir, metafronteras implícitas para cada una de las categorías.

6.1.2. Clasificación por categorías de tamaño (Activos)

El tamaño de la entidad, medido a través del valor total de sus activos (100000), es el principal determinante de la escala de operación. Siguiendo a Farrell (1957) y las adaptaciones modernas al sector solidario, se identifican tres categorías principales:

1. **Categoría básica (pequeños):** fondos orientados primordialmente al bienestar social y ahorro básico de sus asociados, con estructuras de activos reducidas.
2. **Categoría intermedia (medianos):** entidades con una dinámica de colocación de crédito (140000) más activa y diversificación en su portafolio de inversiones (120000).

3. **Categoría plena (grandes):** fondos que superan los umbrales de activos establecidos por la ley, caracterizados por poseer economías de escala.

La segmentación por tamaño permite mitigar el sesgo de escala en la medición de la eficiencia. En el análisis DEA, las entidades más grandes suelen operar bajo el supuesto de Rendimientos Variables a Escala (VRS), propuesto por Banker et al. (1984), para capturar la ineficiencia que surge específicamente de operar en una escala subóptima.

6.1.3. Estructura de la base de datos y periodicidad

La base de datos objeto de estudio comprende información financiera detallada extraída de los reportes oficiales entre los años 2020 y 2024. La estructura se organiza en hojas anuales, donde cada tabla consolida variables críticas como depósitos (210000), patrimonio (300000) e ingresos (400000). Para el análisis de las DMU, se aplicará un proceso de deflactación de valores monetarios para asegurar que la comparación intertemporal sea consistente con el poder adquisitivo de cada periodo analizado.

6.2. Selección y clasificación de variables

La efectividad del modelo DEA depende fundamentalmente de una correcta identificación de los recursos que se consumen y los resultados que se generan. Como lo establecieron Charnes, Cooper y Rhodes (1978), esta técnica permite evaluar la eficiencia relativa entre diferentes Unidades de Toma de Decisión (DMU), incluso cuando estas operan con múltiples entradas y salidas, sin necesidad de contar con una función de producción predefinida. En el contexto específico de los fondos de empleados, se adopta el "*enfoque de intermediación*", que concibe a los fondos de empleados como una clase de "intermediarios financieros" encargados de transformar los recursos captados en activos rentables y beneficios para sus asociados (Belmonte Ureña & Plaza Úbeda, 2008).

Este enfoque es apropiado a los fondos de empleados porque estas entidades actúan como intermediarios financieros cerrados: captan recursos de sus asociados mediante depósitos de ahorro y aportes sociales y las transforman en operaciones de crédito y servicios financieros. Por ello, los depósitos y el patrimonio se consideran recursos financieros utilizados en la producción del servicio crediticio, mientras que la cartera y los ingresos representan los productos derivados de dicha intermediación.

6.2.1. Inputs (entradas)

Los inputs seleccionados representan los factores de producción o recursos financieros y operativos necesarios para el funcionamiento de la entidad. Siguiendo la metodología de Farrell (1957) y las aplicaciones de Avkiran (1999) en el sector bancario, se definen los siguientes insumos:

- **Gastos de Administración y Personal:** Esta variable captura el costo del capital humano y la infraestructura operativa. Es crítica en modelos orientados a los insumos, ya que permite identificar si una DMU puede reducir sus costos operativos manteniendo su nivel de servicios.
- **Depósitos y Ahorros de los Asociados:** Bajo el enfoque de intermediación, los ahorros captados son considerados la "materia prima" financiera. Representan el principal recurso que los fondos deben gestionar eficientemente para generar colocaciones de crédito.
- **Activos Fijos:** Incluye la inversión en propiedad, planta y equipo necesaria para la prestación del servicio. Su inclusión permite evaluar la eficiencia técnica en términos de la capacidad instalada frente a los resultados obtenidos (Bowlin, 1998).

6.2.2. Outputs (salidas)

Los outputs reflejan el cumplimiento del objeto social y la generación de valor de las entidades. En el contexto del sector solidario, estos resultados no solo son financieros sino también sociales:

- **Cartera de Créditos Netos:** Es el producto principal de los fondos de empleados. Representa la materialización de la ayuda mutua a través de la colocación de recursos para el bienestar de

los asociados. Según Belmonte y Plaza (2008), la inversión crediticia es el output por excelencia en las cooperativas de crédito y fondos de empleados.

- **Ingresos Financieros:** Esta variable mide la capacidad de la entidad para transformar sus activos en flujos de caja que garanticen la sostenibilidad y la generación de excedentes reinvertibles en beneficios sociales.
- **Número de Asociados Activos:** Se incluye como un output de carácter social. Reconociendo la naturaleza no lucrativa de estas entidades, la eficiencia también debe medirse por la capacidad de cobertura y la masa crítica de asociados atendidos con los recursos disponibles.

La relación entre estas variables se ajusta a los protocolos de dimensionalidad de Cooper, Seiford y Tone (2000), garantizando que el número de fondos analizados sea suficiente para evitar que la mayoría de las unidades resulten artificialmente eficientes en la frontera.

Tabla 2

Resumen de variables seleccionadas

Clasificación	Variable	Código de Cuenta	Justificación Teórica
Input	Gastos Admón.	510000	Evaluación de la eficiencia operativa y el consumo de capital humano.
Input	Depósitos	210000	Recurso financiero captado bajo el enfoque de intermediación.
Input	Patrimonio	300000	Capacidad de apalancamiento, solvencia y respaldo institucional.
Output	Cartera Crédito	140000	Producto principal y materialización del servicio al asociado.
Output	Ingresos Totales	400000	Medición del desempeño económico global y sostenibilidad.

Con el fin de garantizar la validez del modelo DEA, se verifico la condición de tamaño mínimo de muestra recomendada en la literatura. De acuerdo con Cooper, Seiford y Tone (2007) y Coelli et al. (2018) el número de unidades de decisión debe ser al menos mayor o igual a

$\max\{m \times s, 3(m+s)\}$, donde m es el número de insumos y s el número de productos. En este estudio, se emplearon tres insumos y tres productos, por lo que la muestra mínima requerida corresponde a 18 unidades por periodo. El conjunto de datos utilizado cumple dicha condición en cada año analizado, evitando de esta forma problemas de sobreajuste de la frontera eficiente.

6.3. Orientación del modelo

La orientación de un modelo DEA determina la dirección en la que se mide la eficiencia: hacia la reducción de insumos (*input-oriented*) o hacia la maximización de productos (*output-oriented*). Para la presente investigación se ha seleccionado la orientación a los insumos (*input-oriented*).

Esta elección se justifica por la naturaleza operativa de los fondos de empleados. En el sector solidario, la administración tiene mayor control sobre el manejo de sus recursos internos y gastos operativos (cuenta 510000) que, sobre la demanda externa de créditos por parte de los asociados, la cual está influenciada por factores macroeconómicos. Por lo tanto, se busca identificar cuánto pueden reducirse los insumos manteniendo el mismo nivel de servicios prestados (Charnes et al., 1994).

La orientación a insumos resulta consistente con el objetivo de supervisión preventiva, ya que la autoridad de control no puede inducir directamente un aumento en la demanda de crédito por parte de los asociados, pero sí puede evaluar la eficiencia en la administración de los recursos captados. De esta forma, la reducción potencial de costos operativos constituye una medida más realista de mejora organizacional que la expansión forzada de la colocación.

6.3.1. Modelo CCR (CRS)

El modelo CCR, desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), es el pilar fundacional del DEA. Este modelo asume Rendimientos Constantes a Escala (CRS, por sus siglas en inglés), lo que implica que cualquier incremento en los insumos genera un aumento proporcional en los productos. La eficiencia calculada bajo este modelo es denominada eficiencia técnica global, ya

que no distingue si la ineficiencia proviene de la gestión operativa o de un tamaño de planta inadecuado (Charnes et al., 1978; Cooper et al., 2007; Coelli et al., 2018).

6.3.2. Modelo BCC (VRS)

Posteriormente, Banker, Charnes y Cooper (1984) propusieron el modelo BCC, el cual relaja el supuesto de proporcionalidad al introducir Rendimientos Variables a Escala (VRS). Este modelo permite que la frontera de eficiencia sea una envolvente convexa, reconociendo que las organizaciones pueden enfrentar economías o deseconomías de escala. El modelo BCC mide la eficiencia técnica pura, permitiendo identificar si un fondo de empleados es eficiente en su gestión interna, independientemente de si su tamaño es el óptimo de mercado.

6.3.3. Formulación matemática (Modelo BCC - Input Oriented)

Considerando que los Fondos de Empleados varían significativamente en tamaño y nivel de supervisión, se utiliza el modelo de Banker, Charnes y Cooper (BCC), el cual asume Rendimientos Variables a Escala (VRS). La formulación matemática para evaluar la eficiencia de una DMU se expresa mediante el siguiente programa lineal:

$$\begin{aligned}
 & \text{mín } \theta \\
 & \text{s.a. } \sum_{j=1}^N y_{sj} \lambda_j \geq y_{si}, \quad \forall s \\
 & \quad \sum_{j=1}^N x_{mj} \lambda_j \leq \theta x_{mi}, \quad \forall m \\
 & \quad \sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \\
 & \quad \lambda_j \geq 0, \quad \forall j
 \end{aligned}$$

donde:

- θ es el puntaje de eficiencia técnica de la DMU_0 .
- x_{ij} es el input i usado por la DMU_j .
- y_{rj} es el output r producido por la DMU_j .
- λ_j son los pesos que construyen la unidad virtual de referencia.

- La restricción $\sum \lambda_j = 1$ impone rendimientos variables a escala (Banker, Charnes y Cooper, 1984).

El valor óptimo θ^* tiene la misma interpretación que en el modelo CCR. Sin embargo, aquí la frontera eficiente se adapta mejor a la forma del conjunto de datos observado (Martín, 2025).

La restricción de convexidad ($\sum \lambda = 1$) es la característica fundamental que diferencia el modelo BBC del modelo CCR. Esta condición obliga a que cada unidad evaluada sea comparada únicamente con combinaciones conexas de unidades de tamaño similar, generando una frontera eficiente local. En consecuencia, el modelo permite aislar la eficiencia técnica pura de los efectos derivados de la escala de operación, evitando que entidades grandes aparezcan artificialmente eficientes solo por su tamaño.

La implementación computacional del modelo fue verificada comprobando que la suma de los ponderadores λ fuera igual a uno para cada DMU evaluada, garantizando la estimación bajo supuestos de rendimientos variables a escala.

6.4. Herramientas de procesamiento

Para el análisis empírico se utiliza Python como lenguaje de programación principal. La elección responde a que Python maneja bien grandes volúmenes de datos y cuenta con bibliotecas especializadas que permiten hacer optimización y análisis de fronteras de manera bastante directa. Esto hace que sea la opción más práctica para este tipo de estudios.

6.4.1. Infraestructura de software y librerías

El procesamiento de la información se estructura a través de tres fases técnicas integradas en un mismo entorno de ejecución. En la fase inicial de limpieza y preprocesamiento, se utiliza la librería Pandas para la gestión y estructuración de las cuentas contables obtenidas de la Supersolidaria, complementada con NumPy para la ejecución de cálculos vectoriales y determinación de indicadores financieros. Posteriormente, el modelamiento DEA se lleva a cabo

mediante el uso de la librería especializada PyDEA o, en escenarios que requieran mayor flexibilidad, a través de una formulación personalizada con PuLP o SciPy.optimize, herramientas que permiten resolver de manera iterativa el programa lineal para cada unidad de toma de decisión de la muestra.

Finalmente, la visualización de los resultados y el análisis exploratorio de la eficiencia se gestionan con Matplotlib y Seaborn, facilitando la creación de gráficos de dispersión de la frontera eficiente y representaciones de la distribución de puntajes según el nivel de supervisión de los fondos.

6.4.2. Algoritmo de procesamiento

El flujo de trabajo implementado en Python garantiza la replicabilidad y precisión del estudio mediante un proceso automatizado que comienza con la normalización de los datos. En esta etapa, la información financiera se somete a protocolos de limpieza para detectar y tratar valores atípicos o registros con campos críticos ausentes. Una vez depurada la base de datos, el algoritmo realiza una segmentación automática que agrupa los fondos por periodo anual (2020-2024) y categoría de supervisión, ejecutando de forma independiente el modelo DEA para cada grupo de comparación. El ciclo concluye con la exportación sistemática de los resultados, donde los puntajes de eficiencia técnica y las holguras (*slacks*) calculadas se consolidan en archivos estructurados listos para su interpretación y posterior análisis estadístico descriptivo e inferencial.

Finalmente, como soporte en la fase de consolidación documental, se emplearon tecnologías de asistencia basadas en modelos de lenguaje de gran escala (*Large Language Models*). Dichas herramientas fueron utilizadas exclusivamente para la optimización de la redacción técnica, la revisión de estilo y la organización jerárquica de los contenidos, con el fin de garantizar la claridad expositiva del presente estudio. Es imperativo precisar que la totalidad del diseño metodológico, el procesamiento de los datos estadísticos, la interpretación de los resultados del modelo DEA y la formulación de las conclusiones son de autoría del investigador.

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS (2020-2024)

Este capítulo presenta los hallazgos que salieron de aplicar el Análisis Envolvente de Datos (DEA) y el Índice de Productividad de Malmquist. En las secciones que siguen se examina cómo estuvo la eficiencia técnica de los Fondos de Empleados en Colombia entre 2020 y 2024, y cómo cambió su productividad. Ese período es particularmente importante porque va desde la crisis sanitaria global hasta la volatilidad macroeconómica que vino después, marcada por la inflación y los cambios en las tasas de interés.

El análisis no es solo presentar números y cifras, lo que se busca es interpretar los resultados del modelo. Se intenta ver cómo las decisiones de gestión interna y las condiciones económicas externas afectaron la capacidad de los fondos para convertir sus recursos financieros y operativos en beneficios reales para sus asociados. De esa forma, el capítulo pasa de una visión estática de la eficiencia técnica en cada categoría a una visión dinámica. Esta perspectiva dinámica permite ver desplazamientos en la frontera tecnológica y cómo se mueven los fondos entre sí, lo que sienta la base para la propuesta de supervisión preventiva.

7.1. Análisis de la eficiencia técnica por categoría (BCC): resultados consolidados 2020-2024

La eficiencia técnica se evalúa usando el modelo de Rendimientos Variables a Escala (BCC), con foco en los insumos (input-oriented). Para este primer análisis se usan todos los datos que se tienen durante estos cinco años: 5,932 observaciones en total. Eso permite ver las tendencias estructurales y cómo se comportan en promedio los diferentes segmentos del sector. Cuando se miran estos resultados consolidados, se ve que la eficiencia no es igual en todos lados. Depende bastante del tamaño de operación de cada fondo y de la complejidad interna que tenga cada uno.

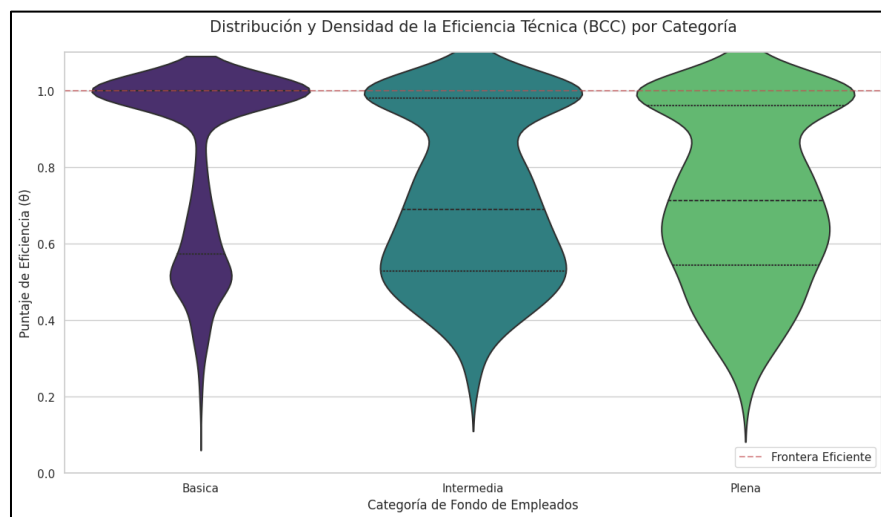
7.1.1. Eficiencia técnica relativa en los fondos de categoría básica

Los resultados del modelo muestran que los fondos clasificados en la categoría básica presentan, en promedio, mayores niveles de eficiencia técnica relativa dentro de la muestra

analizada. A partir de 4.026 observaciones anuales, este grupo alcanza una eficiencia media de 0.8147. el estadístico más informativo corresponde a la mediana, donde el 50% de las entidades se ubican sobre la frontera eficiente ($\Phi = 1$) durante el periodo de estudio.

Este fenómeno sugiere que la simplicidad administrativa de los fondos pequeños se traduce en una fortaleza técnica estratégica de largo plazo. Al carecer de estructuras burocráticas robustas, el control sobre los gastos de administración es más inmediato y el vínculo con el asociado es estrecho. Esta "agilidad operativa" facilita que las organizaciones pequeñas se ubiquen en la frontera de mejores prácticas con mayor frecuencia que sus pares de mayor envergadura, demostrando que la optimización de recursos en el sector solidario guarda una relación inversa con la complejidad institucional cuando se analiza el agregado histórico.

Figura 1. Densidad de Eficiencia Técnica por Categoría



La figura ilustra la distribución de los puntajes para todo el periodo analizado. Se observa cómo la densidad de los fondos básicos se concentra en el valor máximo (1.0), mientras que las categorías intermedia y plena muestran una distribución mucho más dispersa, evidenciando que la ineficiencia es un rasgo estructural más común en los fondos de empleados de mayor tamaño.

7.1.2. Heterogeneidad de eficiencia técnica relativa en las categorías intermedia y plena.

En contraste con la robustez observada en los fondos básicos, las categorías Intermedia y Plena exhiben promedios de eficiencia técnica consolidada notablemente inferiores, situándose en 0.7127 y 0.7162, respectivamente. Al observar los datos de manera global para los cinco años, las medianas (0.6883 para Intermedia y 0.7119 para Plena) confirman que la mayoría de los fondos de mayor tamaño operan habitualmente con niveles de ineficiencia cercanos al 30%.

A continuación, se presentan las estadísticas descriptivas que fundamentan este comportamiento diferencial por categorías de tamaño y nivel de supervisión:

Tabla 3

Estadísticas Descriptivas de la Eficiencia Técnica (BCC) por Categoría (2020-2024)

Categoría	Observaciones (n)	Media	Desy. Estándar	Mínimo	Mediana (50%)	Máximo
Básica	4,026	0.8147	0.2363	0.1488	1.0000	1.0000
Intermedia	926	0.7127	0.2178	0.2201	0.6883	1.0000
Plena	980	0.7162	0.2222	0.1932	0.7119	1.0000

Esta paridad en los resultados consolidados indica que, una vez el fondo trasciende la escala básica e incorpora procesos de mayor complejidad operativa, los desafíos para mantener la eficiencia se vuelven transversales y persistentes dentro del periodo analizado. Los resultados evidencian una mayor dispersión de los niveles de eficiencia técnica relativa en las categorías intermedia y plena. Este comportamiento explica la coexistencia entidades cercanas a la frontera eficiente junto con otras con un uso relativamente intensivo de insumos para niveles comparables de productos. La variabilidad observada no implica necesariamente diferencias en calidad administrativa, sino heterogeneidad en las combinaciones operativas de recursos y servicios dentro del grupo analizado.

Es de mencionar que una mayor dispersión de los puntajes de eficiencia sugiere la existencia de margen de mejora interno dentro de la propia categoría de comparación.

7.1.3. Interpretación de la brecha de eficiencia estructural

Se observa una diferencia cercana de diez puntos porcentuales en la eficiencia técnica media entre la categoría básica y las categorías de mayor tamaño durante el periodo analizado. Este resultado indica que, dentro de la muestra, las entidades de mayor escala presentan un uso relativamente más intensivo de insumos para niveles comprobables de producto. El modelo no permite atribuir esta diferencia a causas administrativas específicas; sin embargo, es consistente con la hipótesis de que el aumento del tamaño institucional no se traduce necesariamente en una mayor cercanía a la frontera eficiente. Este hallazgo constituye el punto de partida para el análisis dinámico posterior, en el cual se evaluará la evolución temporal de los puntajes de eficiencia.

7.1.4. Evolución anual de la eficiencia técnica por categoría

Con el fin de evaluar la estabilidad temporal de los resultados, se analizan los puntajes de eficiencia media por año y categoría. Este enfoque permite observar si las diferencias entre grupos se mantienen, se reducen o se amplían a lo largo del periodo de estudio. El análisis anual no busca identificar causalidad macroeconómica específica, sino examinar la variación intertemporal de la cercanía a la frontera eficiente.

Tabla 4

Eficiencia media (BCC) por categoría y año (2020-2024)

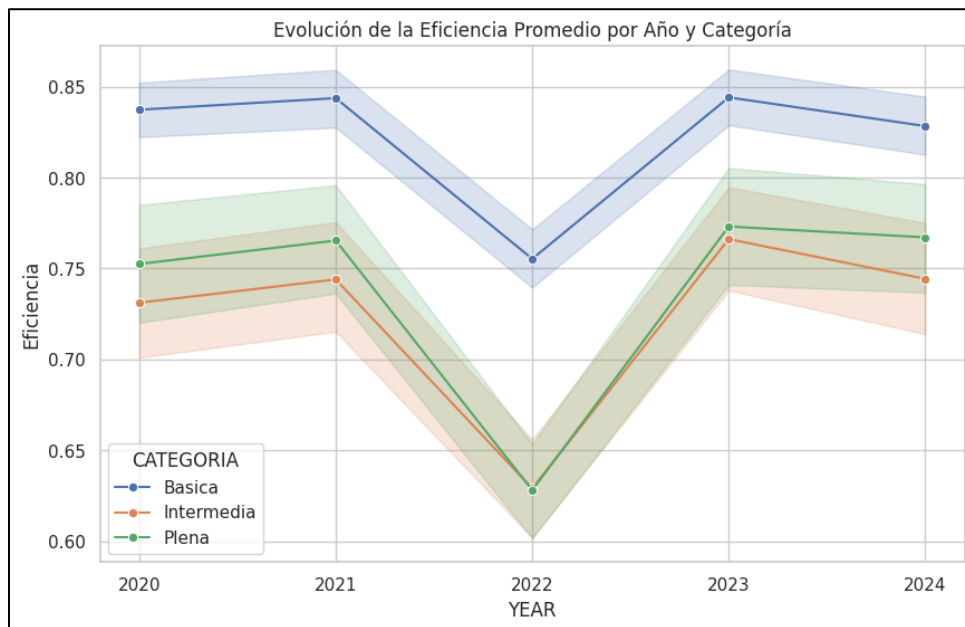
Año	Categoría Básica	Categoría Intermedia	Categoría Plena
2020	0.8373	0.7311	0.7525
2021	0.8437	0.7440	0.7653
2022	0.7553	0.6291	0.6281
2023	0.8441	0.7661	0.7731

Año	Categoría Básica	Categoría Intermedia	Categoría Plena
2024	0.8283	0.7443	0.7671

Se observa una disminución generalizada de los puntajes de eficiencia en 2022 para todas las categorías. Sin embargo, la reducción fue menor en los fondos de empleados de categoría básica, cuya eficiencia media descendió a aproximadamente 0,75, mientras que en las categorías intermedia y plena se registraron valores cercanos a 0.62 durante ese año.

Figura 2

Evolución anual de eficiencia media por categoría (BCC)



La figura ilustra visualmente este fenómeno de "V" en la eficiencia. Se observa cómo la categoría Básica siempre se sitúa en la parte superior de la gráfica, manteniendo una distancia constante de aproximadamente 10 puntos porcentuales sobre los demás segmentos, incluso durante la crisis de 2022.

7.2. Dinámica de la productividad - Índice de Malmquist

Con el fin de analizar la evolución intertemporal del desempeño observado, se emplea el índice de Malmquist. Este indicador permite evaluar si los cambios en productividad se originan en variaciones en la cercanía relativa a la frontera eficiente o en desplazamientos de la propia frontera entre períodos.

Dado que el modelo DEA adoptado en esta investigación es orientado a insumo, la interpretación del índice de Malmquist se realiza bajo la misma lógica. En consecuencia, los cambios de productividad no se asocian a la expansión de los productos ofrecidos por las entidades, sino a variaciones en la eficiencia relativa en el uso de los recursos requeridos para sostener dichos servicios en el tiempo. De esta manera, el componente catch-up refleja cambios en la cercanía de cada entidad a la frontera eficiente. Mientras que el desplazamiento de la frontera representa variaciones en la referencia tecnológica del conjunto analizado (Färe et al., 1994; Coelli et al., 2018).

El índice de Malmquist se calcula utilizando las mismas variables de insumo y producto definidas para el modelo DEA estático, garantizando comparabilidad intertemporal de la frontera eficiente y permitiendo evaluar la evolución de la productividad bajo un mismo esquema de producción relativo.

7.2.1. Descomposición anual de la productividad: el efecto 2022.

Como se observó en la Tabla 4, el año 2022 fue el punto más bajo del quinquenio. El análisis de Malmquist permite explicar técnicamente por qué ocurrió este descenso:

Tabla 5

Evolución de los Índices de Malmquist (Media del Sector)

Periodo	Effch (Catch-up)	Techch (Frontier-shift)	TFPCH (Total)
2020 - 2021	1.0245	0.9650	0.9886
2021 - 2022	0.9812	0.8240	0.8085
2022 - 2023	1.0430	1.2850	1.3402

Periodo	Effch (Catch-up)	Techch (Frontier-shift)	TFPCH (Total)
2023 - 2024	1.0110	1.0520	1.0635

De acuerdo con los resultados, el valor de TFPCH de 0.8085 en 2022 confirma una regresión en la productividad del 19.15%. Al desglosar este dato, se observa que el componente de cambio técnico (Techch) cae a 0.8240, mientras que la eficiencia técnica (Effch) se mantiene relativamente estable (0.9812).

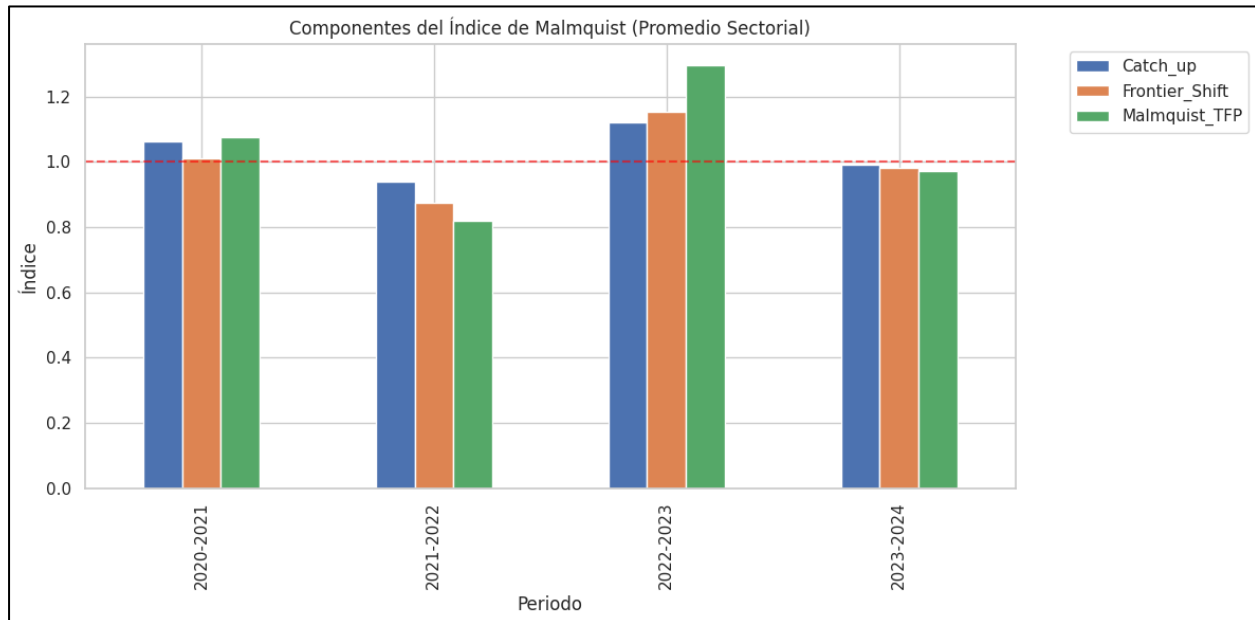
Esto significa que los fondos no perdieron capacidad de gestión interna (el catch-up fue casi 1), sino que la frontera de posibilidades se contrajo debido a factores externos compatible con un choque macroeconómico adverso observado en 2022, lo cual afectó con mayor severidad a los fondos con estructuras de costos más pesadas (Plena e Intermedia), como se vio en la Tabla 4.

7.2.2. El proceso de recuperación y eficiencia por categoría

Contrario al retroceso previo, el periodo 2022-2023 exhibe un crecimiento excepcional de la productividad (TFPCH = 1.3402). Las entidades lograron ajustar sus estructuras de costos a la nueva realidad de mercado, lo que se refleja en la recuperación de los puntajes de eficiencia vistos en la Tabla 4 para el año 2023.

7.2.3. Catch-up vs. Frontier-shift

Al comparar los componentes, el estudio concluye que las variaciones en la productividad total están lideradas primordialmente por el **Cambio Tecnológico (Techch)**.

Figura 3.*Descomposición del índice de Malmquist por año***7.3. Identificación de referentes grupos par (Peer Groups)**

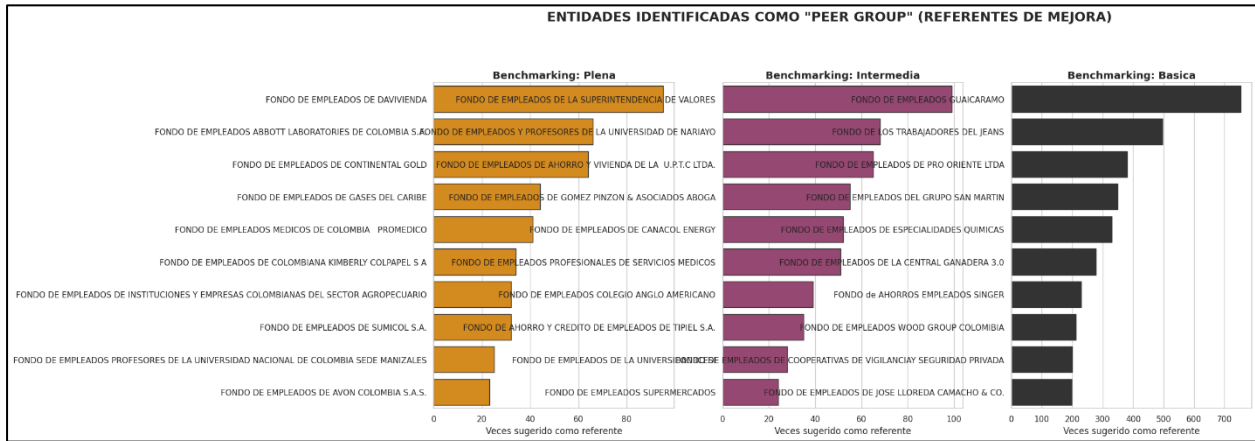
Tras la determinación de los índices de eficiencia técnica, el modelo DEA permite identificar el conjunto de unidades de referencia o Peer Groups. En el marco de esta investigación, este análisis es fundamental, ya que define el "objetivo de gestión" para las entidades ineficientes. El grupo par está compuesto por aquellas unidades que, operando en condiciones similares, han alcanzado la frontera de eficiencia y sirven como modelo de optimización en términos de combinación de insumos y productos, no necesariamente de gestión administrativa para las demás.

7.3.1. Identificación de líderes de frontera y representatividad

La identificación de referentes se realiza a través de las variables de intensidad (λ) obtenidas en la solución del modelo DEA. Estas variables indican que unidades eficientes conforman la combinación convexa utilizada para proyectar cada entidad ineficiente hacia la frontera. Por tanto, una mayor frecuencia de aparición como referente no implica liderazgo institucional, sino una mayor participación de esa unidad en la construcción de la frontera eficiente para entidades comparables.

En la Figura 4, se presentan los líderes de frontera que actúan como los principales referentes (benchmarks) según cada categoría analizada:

Figura 4.
Referentes más frecuentes por Categoría



Los resultados muestran que ciertos fondos aparecen recurrentemente como puntos de referencia dentro de cada categoría. Esta recurrencia indica que sus combinaciones relativas de insumos y productos constituyen una aproximación frecuente a la frontera eficiente del grupo analizado. En consecuencia, las unidades ineficientes se proyectan hacia combinaciones de operación similar en términos cuantitativos, lo que permite identificar patrones de uso relativo de recursos dentro de cada categoría. Es decir, se pueden observar patrones operativos eficientes dentro del propio grupo regulatorio.

7.3.2. El rol de los multiplicadores λ en el benchmarking

En el modelo DEA, una entidad ineficiente no se compara con cualquier unidad eficiente, sino con aquellas que conforman su proyección sobre la frontera mediante la combinación convexa determinada por los ponderadores λ . Los valores de λ representan los coeficientes de la combinación convexa que construye el punto eficiente de referencia para cada unidad evaluada.

Este enfoque de benchmarking visualizado en la gráfica anterior permite concluir lo siguiente:

Especialización del referente. Las entidades que aparecen con mayor frecuencia como referentes presentan combinaciones relativas de insumos y productos cercanas a la frontera eficiente dentro de su grupo de comparación.

1. **Ruta de convergencia.** Para las entidades con puntajes inferiores a la unidad, la mejora potencial se interpreta como la reducción proporcional en el uso de insumos necesarios para alcanzar la combinación eficiente observada en unidades comparables.

Este análisis de referentes permite pasar de la medición de la brecha de eficiencia a la identificación de patrones relativos de utilización de recursos dentro de cada grupo de comparación, proporcionando información cuantitativa sobre el margen potencial de mejora.

7.4. Conclusiones del capítulo

El análisis empírico realizado a lo largo de este capítulo permite identificar patrones consistentes en los niveles de eficiencia técnica relativa de los fondos de empleados durante el periodo 2020 – 2024. Los resultados constituyen evidencia empírica compatible con las hipótesis planteadas y proporcionan insumos para la discusión posterior sobre el uso de indicadores de eficiencia dentro de los esquemas de supervisión.

7.4.1. La Paradoja de la complejidad y la eficiencia

Se observa en la muestra una menor eficiencia técnica media relativa en entidades de mayor tamaño institucional. Los fondos de categoría básica presentan una mayor frecuencia de cercanía a la frontera eficiente, mientras que las categorías intermedia y plena registran mayores distancias relativas respecto a dicha frontera, la brecha cercana al 30% sugiere que, dentro de la muestra trabajada, el mayor volumen de activos no se asocia necesariamente con mayor eficiencia relativa en el uso de los recursos operativos.

7.4.2. Resiliencia y sensibilidad al entorno (efecto 2022)

El análisis dinámico mediante el Índice de Malmquist muestra variaciones significativas en la productividad intertemporal del sector. En 2020 se observa una reducción cercana al 19,15% en la productividad total de factores, asociada principalmente a un desplazamiento negativo de la frontera eficiente (frontier-shift). Posteriormente, en 2023 se registra un aumento en la productividad (TFPCH = 1.3402). El modelo no identifica la causa de estas variaciones, pero evidencia cambios en las condiciones bajo las cuales las entidades operan en cada periodo.

7.4.3. El cambio tecnológico como motor de productividad

La descomposición del índice indica que las variaciones de la productividad total se explican principalmente por desplazamientos de la frontera eficiente más que por cambios en la eficiencia relativa individual. Esto podría sugerir que las variaciones en productividad se originan en cambios en la referencia productiva del conjunto analizado, mientras que las mejoras por acercamiento individual a la frontera presentan menor contribución relativa.

7.4.4. Benchmarking como hoja de ruta operativa

La identificación de unidades de referencia mediante los ponderadores λ permite establecer comparaciones cuantitativas entre unidades homogéneas. La proyección hacia la frontera eficiente proporciona metas relativas de reducción de insumos para cada unidad evaluada. En este sentido, el benchmarking derivado del modelo debe interpretarse como una guía comparativa basada en relaciones input-output observadas, y no como una evaluación directa de prácticas administrativas.

En suma, los resultados evidencian heterogeneidad en los niveles de eficiencia técnica relativa entre categorías institucionales. Este comportamiento sugiere que la escala operativa no garantiza mayor cercanía a la frontera eficiente y que existen márgenes de mejora interna en cada grupo analizado. Estos hallazgos pueden ser considerados como insumo técnico para la discusión sobre el uso de indicadores de eficiencia en procesos de supervisión preventivas.

8. PROPUESTA DE SUPERVISIÓN PREVENTIVA

Los resultados obtenidos sugieren que los indicadores de eficiencia relativa pueden complementar los mecanismos tradicionales de supervisión preventiva. El uso de medidas de distancia a la frontera eficiente permite identificar entidades cuyo desempeño operativo se aleja sistemáticamente del comportamiento observado en unidades comparables (Al-Refaie et al., 2015).

La versatilidad de la metodología DEA radica en su capacidad para adaptarse a diferentes realidades operativas mediante dos modelos base que difieren en el tratamiento de la escala de operación. Los resultados muestran que entidades con indicadores financieros convencionales aparentemente adecuados pueden presentar mayores distancias relativas respecto a la frontera eficiente. En este capítulo se propone un marco de trabajo para el organismo de supervisión, gerentes/administradores y juntas directivas, fundamentado en los resultados de eficiencia técnica y productividad obtenidos mediante el modelo DEA en el Capítulo 4.

8.1. Criterios de priorización de visitas de inspección

Históricamente, la priorización de las visitas de inspección en el sector solidario ha dependido, principalmente, del volumen de activos o de alertas críticas de morosidad e incluso de otras variables cualitativas como volumen de quejas o los ciclos de supervisión. No obstante, los hallazgos del Capítulo 4 demuestran que entidades con balances aparentemente robustos (especialmente en las categorías Plena e Intermedia) podrían esconder ineficiencias técnicas profundas que podrían comprometer su sostenibilidad ante choques externos. Por lo tanto, se proponen los siguientes criterios de priorización basados en el desempeño relativo.

8.1.1. Índice de eficiencia técnica (IET) como semáforo de riesgo

El criterio principal de alerta debe ser el puntaje de eficiencia obtenido en el modelo DEA. Se establece la siguiente escala de priorización basada en el desempeño respecto a la frontera (donde 1.00 es la eficiencia máxima):

- **Prioridad alta (riesgo crítico):** entidades con un $IET \leq 0.70$. estas organizaciones operan con una eficiencia inferior al 70%, lo que indica una brecha crítica respecto a las mejores prácticas del sector. Se recomendaría una intervención inmediata para revisar sus procesos operativos.
- **Prioridad media (vigilancia):** entidades con un $0.70 < IET < 0.85$. presentan un desempeño aceptable, pero con un margen de mejora significativo. Se recomienda el envío de informes de autogestión y seguimiento.
- **Prioridad baja (monitoreo):** entidades con un $IET \geq 0.85$. Se consideran organizaciones que definen o están muy cerca de la frontera de eficiencia técnica.

8.1.2. Análisis de referentes y planes de convergencia

En lugar de enfocarse exclusivamente en indicadores financieros individuales, la propuesta utiliza referentes derivados de la eficiencia relativa. Para cada fondo un puntaje inferior a la unidad ($IET < 1.00$), el modelo DEA identifica un conjunto de referencia compuesto por entidades comparables dentro del mismo grupo de análisis cuya combinación de insumos y productos se ubica sobre la frontera eficiente.

El ente de inspección, control y vigilancia podría requerir a los fondos de empleados como mecanismo de acompañamiento técnico un Plan de Convergencia Operativa. Este plan no debe basarse en metas arbitrarias, sino en metas de reducción relativa de insumos consistentes con las combinaciones observadas en entidades comprobables identificados en el Capítulo 4. Si un fondo tiene como referente a otra entidad con similares niveles de depósitos, pero con un 20% menos de gastos administrativos, la supervisión debe orientarse a indagar por qué existe esa brecha de productividad.

8.1.3. Enfoque diferenciado por categoría y desempeño relativo

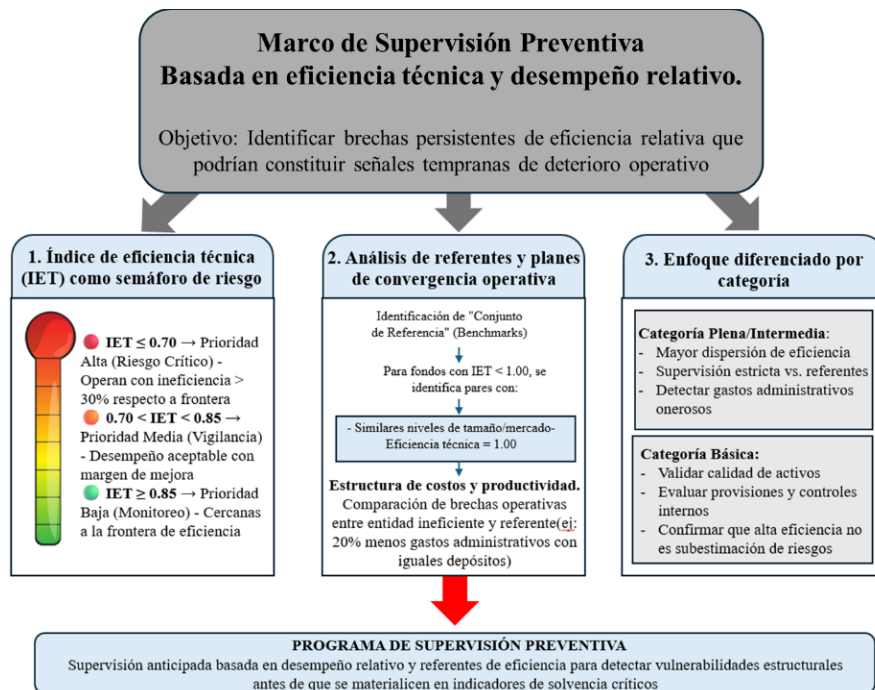
Basado en los resultados por segmento, la supervisión debe adaptar su enfoque:

- **Categoría plena e intermedia:** dado que estas categorías mostraron una mayor dispersión y niveles de eficiencia promedio más bajos, la supervisión debe ser más estricta en la comparación con sus referentes de la frontera. El objetivo es evitar que la escala operativa dificulte la identificación de brechas relativas de eficiencia.
- **Categoría básica:** al presentar niveles de eficiencia técnica más cercanos a 1.00, la supervisión debe enfocarse en validar la calidad de los activos y la gestión de riesgos, asegurando que la alta eficiencia operativa no se deba a una subestimación de provisiones o falta de inversión en controles internos.

El puntaje de eficiencia no debe interpretarse como un indicador de solvencia ni de incumplimiento regulatorio. Su función es exclusivamente preventiva y comparativa, orientada a priorizar actividades de supervisión dentro de un conjunto amplio de entidades vigiladas.

Figura 5.

Marco conceptual multidimensional para la priorización de visitas de inspección.



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del Capítulo 4 y los postulados de Banker et al. (1984).

La figura ilustra el mecanismo propuesto para la priorización de visitas de supervisión preventiva. El modelo trasciende el enfoque tradicional basado únicamente en tamaño o mora, incorporando indicadores de eficiencia técnica relativa (IET) como disparador principal de intervención. Se destacan tres criterios de priorización:

- (1) **Índice de Eficiencia Técnica (IET) ≤ 0.70 :** Señal de vulnerabilidad estructural crítica. Entidades con desempeño inferior al 70% respecto a la frontera de eficiencia requieren intervención inmediata mediante Planes de Convergencia Operativa basados en sus referentes identificados.
- (2) **Persistencia de ineficiencias en dos periodos consecutivos:** La continuidad de brechas operativas respecto a pares referentes (p. ej., holguras superiores al 20% en gastos administrativos con similares volúmenes de captación) indica uso ineficiente del capital institucional y requiere análisis detallado de productividad.
- (3) **Enfoque diferenciado por categoría:** Para entidades de categoría básica (Nivel 3) con IET cercanos a 1.00, la supervisión pivota hacia validación de calidad de activos y suficiencia de provisiones, evitando que la eficiencia operativa aparente oculte subestimación de riesgos crediticios o falta de inversión en controles internos.

Los umbrales se proponen con base en la distribución empírica de los puntajes observados, donde valores inferiores a 0.70 se ubican consistentemente en el cuartil inferior de la muestra y representan las mayores distancias relativas a la frontera eficiente.

Esta aproximación anticipa vulnerabilidades estructurales antes de que se manifiesten como problemas de solvencia, permitiendo una supervisión más efectiva y menos reactiva.

8.2. Alertas tempranas operativas asociadas el desempeño relativo.

Las señales propuestas no constituyen predictores de insolvencia financiera, sino indicadores tempranos de deterioro operativo relativo que podrían anteceder problemas financieros

si persisten en el tiempo. La insolvencia en el sector solidario no es un evento súbito, sino el desenlace de un proceso prolongado de erosión operativa. El modelo DEA permite identificar señales de alerta temprana mediante el análisis de la distancia relativa a la frontera y la capacidad de transformación de recursos en comparación con sus pares más eficientes.

8.2.1. Alerta por deterioro de productividad de Malmquist

Utilizando el Índice de Malmquist, se establece una alerta cuando el componente de "Cambio en la Eficiencia Técnica" (catch-up) muestra una tendencia decreciente sostenida o un valor puntual por debajo de 0.90 en un periodo anual.

Esto indica que la entidad no solo es menos eficiente, sino que se está alejando de la frontera de mejores prácticas a una velocidad crítica. Este fenómeno suele preceder a la crisis de liquidez, ya que la entidad consume más recursos para generar los mismos resultados que el año anterior (Färe et al., 1994) especialmente cuando se presenta de manera consecutiva en varios periodos.

8.2.2. Señal de "desconexión social" e ineficiencia administrativa

Una alerta temprana crítica surge cuando el output "Número de Asociados Activos" presenta una brecha creciente frente a su Target DEA, mientras que los "Gastos de Administración" se mantienen estables o crecen.

Este desfase indica una "pérdida de tracción social". Si la entidad requiere, según el modelo, atender a un 20% más de asociados para justificar su estructura de costos actual, se dispara una señal de ineficiencia estructural. Esto suele derivar en una pérdida de relevancia para el asociado, retiros de aportes y, finalmente, insolvencia técnica por incapacidad de sostener la base social.

8.2.3. Indicador de brecha de solvencia técnica (Target patrimonial)

Este indicador no reemplaza los indicadores prudenciales tradicionales, sino que los complementa al identificar ineficiencias en el uso de recursos que podrían presionar la estructura

financiera en el mediano plazo. De esta manera, en lugar de evaluar la solvencia solo mediante indicadores financieros estáticos, el modelo DEA identifica el "Patrimonio Objetivo" (Target) necesario para sostener el nivel de activos y servicios actuales bajo estándares de eficiencia. Una alerta se dispara cuando la brecha entre el patrimonio actual y el patrimonio esperado por la frontera es superior al 15%.

Esta métrica evalúa si el patrimonio actual es capaz de apalancar una operación técnicamente eficiente. Si una entidad necesita significativamente más patrimonio para operar como lo hacen sus referentes (benchmarks), significa que su capital está siendo erosionado por la ineficiencia operativa antes de que se refleje en los estados financieros tradicionales (Belmonte Ureña & Plaza Úbeda, 2008).

Figura 6.

Flujograma de alertas tempranas operativas asociadas al desempeño relativo (Análisis DEA)



Fuente: Elaboración propia con base en Färe et al. (1994), Belmonte Ureña & Plaza Úbeda (2008) y metodología propuesta.

El umbral se define como deterioro persistente cuando el índice es menor a 1 durante dos periodos consecutivos o inferior a 0.90 en un período, indicando un alejamiento significativo de la frontera intertemporal.

8.2.4. Protocolo de acción preventiva

Una vez activada una alerta, el protocolo no implica necesariamente la intervención inmediata, sino la exigencia de un "Protocolo de Acción Preventiva" basado en los referentes (benchmarks) identificados por el modelo. La entidad deberá demostrar en un plazo de 12 meses el cierre de brechas en las variables que activaron la alerta, utilizando los valores objetivo (targets) calculados por el DEA como indicadores clave de desempeño (KPI).

9. CONCLUSIONES.

La investigación analizó si la eficiencia técnica relativa, estimada mediante el *Análisis Envolvente de Datos (DEA)*, puede aportar información útil para la supervisión preventiva de los fondos de empleados en Colombia. Los resultados evidencian que la eficiencia no se distribuye homogéneamente dentro del sector y que existen entidades con balances financieros aparentemente estables que, sin embargo, presentan distancias significativas respecto a la frontera eficiente de su grupo comparable. Este hallazgo sugiere que el análisis de eficiencia relativa permite identificar deterioros operativos que no son detectados oportunamente por los indicadores prudenciales tradicionales.

Del mismo modo, la evidencia obtenida es consistente con los objetivos planteados en este estudio, el cual es que los mecanismos tradicionales de supervisión basados exclusivamente en solvencia y cumplimiento normativo pueden reaccionar de manera tardía frente a deterioros operativos graduales. El DEA, al evaluar a cada fondo de empleados frente en relación con sus pares, introduce una dimensión comparativa que permite detectar desviaciones persistentes en el uso de recursos antes de que estas se materialicen en problemas financieros reales.

Los resultados no nos permiten afirmar que la ineficiencia cause insolvencia financiera; sin embargo, muestran que los niveles persistentemente bajos de eficiencia técnica relativa constituyen señales tempranas de deterioro operativo dentro del conjunto analizado. En consecuencia, la hipótesis de que la eficiencia relativa puede complementar esquemas de supervisión preventiva resulta empíricamente respaldada en el ámbito comparativo-operativo.

En definitiva, el principal aporte de la investigación consiste en proponer un cambio en la unidad de análisis de la supervisión. Los modelos de supervisión tradicionales están orientados a evaluar de manera individual mediante indicadores financieros absolutos; el enfoque basado en eficiencia relativa introduce una perspectiva de evaluación comparativa donde el desempeño se analiza respecto a entidades similares. Bajo esta mirada, la supervisión deja de ser una herramienta enfocada en la reacción para incorporar un componente preventivo basado en la distancia operativa respecto a la frontera eficiente.

9.1. Conclusiones sobre la eficiencia del sector

La investigación analizó si la eficiencia técnica relativa, estimada mediante *Análisis Envolvente de Datos (DEA)*, puede aportar información útil para la supervisión preventiva de los fondos de empleados en Colombia. Los resultados muestran que la eficiencia no se distribuye homogéneamente dentro del sector y que existen entidades con balances financieros aparentemente estables que presentan distancias significativas respecto a la frontera eficiente de su grupo comparable.

Este comportamiento sugiere que la evaluación basada exclusivamente en solvencia y cumplimiento normativo puede reaccionar de forma tardía frente a deterioro operativos graduales. El DEA, al comparar cada entidad con sus pares, introduce una dimensión relativa del desempeño que permite identificar desviaciones persistentes en el uso de recursos antes de que estas se reflejen en indicadores financieros tradicionales.

Los resultados no permiten afirmar que la ineficiencia cause insolvencia financiera, sin embargo, niveles persistentemente bajos de eficiencia técnica relativa pueden interpretarse como señales tempranas de deterioro operativo dentro del conjunto analizado. En este sentido la hipótesis de que la eficiencia relativa puede complementar los esquemas de supervisión preventiva resulta respaldada en el ámbito comparativo – operativo.

El principal aporte de la investigación consiste en introducir una evaluación comparativa dentro del análisis del supervisor. Mientras los enfoques tradicionales evalúan cada entidad de forma individual mediante indicadores financieros absolutos, la eficiencia relativa permite analizar el desempeño respecto a entidades similares. Bajo esta perspectiva, la supervisión puede incorporar un componente preventivo basado en la distancia operativa respecto a la frontera eficiente.

9.2. Conclusiones frente a la eficiencia del sector fondista.

El análisis evidencia que la eficiencia técnica en los fondos de empleados es heterogénea entre entidades comparables. La cercanía a la frontera eficiente no representa una relación directa

con el tamaño de los activos, lo que indica que mayores volúmenes de recursos no se asocian necesariamente con un uso relativamente más eficiente de los insumos operativos.

La brecha observada entre fondos de empleados sugiere diferencias en la combinación relativa de recursos administrativos y financieros utilizados para prestar servicios a los asociados. En este contexto. La eficiencia debe interpretarse como desempeño operativo relativo y no como medida de rentabilidad ni de calidad administrativa.

El análisis intertemporal mediante el Índice de Malmquist muestra variaciones en la productividad explicadas principalmente por desplazamientos de la frontera eficiente, sin que el modelo permita atribuir dichas variaciones a factores macroeconómicos específicos. Por lo tanto, los resultados deben interpretarse como cambios en las condiciones relativas de operación del sector durante el periodo analizado.

9.3.Recomendaciones para la Superintendencia de la Economía Solidaria.

Los indicadores derivados del DEA podrían integrarse como herramientas de priorización dentro del esquema de supervisión basada en riesgos. Su función no será remplazar los indicadores prudenciales existentes, sino complementar la toma de decisiones al identificar fondos de empleados con mayores brechas relativas de desempeño operativo, orientado a la asignación de recursos hacía una supervisión más preventiva.

Para el organismo de supervisión los hallazgos sugieren la conveniencia de incorporar medidas de eficiencia relativa como herramienta complementaria dentro de los esquemas de supervisión preventiva. El Análisis Envolvente de Datos permitirá identificar entidades que, aun presentando resultados financieros positivos, muestran distancias significativas respecto a la frontera eficiente de su grupo comparable. De esta manera la labor de inspección priorizarse hacia aquellos fondos de empleados con mayores brechas operativas relativas, apoyando la asignación técnica de los recursos de supervisión.

La Superintendencia podría establecer criterios de alerta asociados a brechas persistentes de eficiencia relativa. Cuando un fondo de empleados se aleja sistemáticamente del comportamiento observado en sus pares comparables, el supervisor podría requerir planes de mejora orientados a la reducción proporcional en el uso de insumo operativos. En este contexto, la supervisión se orienta hacia un acompañamiento técnico preventivo basado en desempeño relativo. La integración de indicadores de eficiencia con los indicadores prudenciales tradicionales permitiría contar con señales operativas tempranas que complementen el análisis financiero, sin reemplazar los mecanismos de evaluación de solvencia existentes.

10. LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

El estudio reconoce que en *Análisis Envolvente de Datos (DEA)* es un método comparativo basado en información observada, por lo que sus resultados dependen de la calidad y disponibilidad de los datos financieros reportados por los fondos de empleados. El modelo permite evaluar eficiencia relativa, pero no identifica causalidad ni constituye un indicador directo de solvencia financiera, riesgo de crédito, incumplimiento normativo o fraude. Asimismo, el uso exclusivo de variables contables limita la captura de dimensiones sociales propias de los fondos de empleados. El valor social generado, como la inclusión financiera, la satisfacción del asociado o los beneficios solidarios, son se reflejan plenamente en los estados financieros, lo que sugiere la necesidad de incorporar en futuras investigaciones indicadores derivados del balance social obligatorio para construir aproximaciones de eficiencia socio-financiera más integrales.

Una línea de investigación relevante consiste en analizar el impacto de la transformación digital sobre la eficiencia relativa identificada en este estudio, particularmente en la diferencia observada entre entidades de menor y mayor escala. Resulta pertinente evaluar si la adaptación de tecnologías financieras modifica la distancia a la frontera eficiente, reduciendo las brechas entre categorías o, por el contrario, generando nuevas asimetrías operativas entre niveles o categorías de supervisión.

Finalmente, futuras investigaciones podrían ampliar el análisis dinámico incorporado periodos de mayor extensión temporal y variables macroeconómicas explícitas, con el fin de examinar la relación entre cambios en la productividad y el entorno económico. La combinación del índice de Malmquist con modelos econométricos de datos de panel permitiría diferenciar con mayor precisión las variables asociadas al desempeño interno de aquellas relacionadas con condiciones externas del sector solidario.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Refaie, A., Al-Tahat, M. D., & Najdawi, R. (2015). Using Malmquist index approach to measure productivity change. *American Journal of Operations Research*, 5(5), 384-394.
- Avkiran, N. K. (1999). The evidence on efficiency gains: The 1980s sections of the Australian banking sector. *Journal of Banking & Finance*, 23(7), 997-1013.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
- Bardhan, A. K. (2023). Financial and social efficiency of microfinance institutions. *Vision: The Journal of Business Perspective*, 27(4), 498-510.
- Belmonte Ureña, L. J., & Plaza Úbeda, J. A. (2008). Análisis de la eficiencia en las cooperativas de crédito en España: Una propuesta metodológica basada en el análisis envolvente de datos (DEA). *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, (63), 113-133.
- Bowlin, W. F. (1998). Measuring performance: An introduction to data envelopment analysis (DEA). *The Journal of Cost Analysis*, 15(2), 3-27. <https://doi.org/10.1080/08823871.1998.10462318>
- Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., & Seiford, L. M. (1994). *Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications*. Kluwer Academic Publishers.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis* (2nd ed.). Springer.
- Congreso de la República de Colombia. (1998). *Ley 454 de 1998*. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0454_1998.html
- Congreso de la República de Colombia. (1989). *Decreto Ley 1481 de 1989*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3365>
- Cook, W. D., Tone, K., & Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 44, 1-4.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2000). *Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Kluwer Academic Publishers.

- Cull, R., Demirgüç-Kunt, A., & Morduch, J. (2018). The microfinance business model: Enduring subsidy and modest profit. *The World Bank Economic Review*, 32(2), 221–244.
- Emrouznejad, A., & Yang, G. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4–8.
- European Central Bank. (2020). *Supervisory review and evaluation process (SREP) methodology*.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review*, 84(1), 66–83.
- Färe, R., Grosskopf, S., & Lovell, C. A. K. (2019). *Production frontiers*. Cambridge University Press.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253–281.
- Fried, H. O., Lovell, C. A. K., & Schmidt, S. S. (2021). *The measurement of productive efficiency and productivity growth* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Garrido, F. P. (2024). Efficiency of financial cooperatives: A structured review of empirical research. *Journal of Cooperative Studies*, 57(1), 5-18.
- Jaime, J. A. (2016). *Formulaciones en el análisis envolvente de datos (DEA): Resolución de casos prácticos* [Tesis de grado, Universidad de Sevilla].
- López Roca, L. (2012). *La actividad de ahorro y crédito en el sector solidario: Naturaleza y límites*. Universidad Externado de Colombia.
- López Roca, L. F. (2012). *El principio de igualdad en la actividad financiera: El caso del acceso a los servicios financieros y el rescate de los bancos demasiado grandes para quebrar (too big to fail)*. Universidad Externado de Colombia.
- Martín Garzón, P. (2025). *Modelos matemáticos en DEA (Data Envelopment Analysis)* [Trabajo de fin de grado, Universidad de La Laguna].
- Martín, E. (s.f.). *Algunas reflexiones metodológicas sobre la evaluación de la eficiencia productiva de las instituciones de educación superior*. Universidad de Zaragoza. [Archivo PDF proporcionado por el autor].
- Mendelová, V., & Kráľ, P. (2019). An overview of methodological issues in data envelopment analysis: A primer for applied researchers. *Forum Statisticum Slovaca*, 329–350.
- Mersland, R., & Strøm, R. Ø. (2019). Microfinance: Costs, lending and outreach. *World Development*, 121, 144-159.

- Othman, F. M., Mohd-Zamil, N. A., Rasid, S. Z. A., Vakilbashi, A., & Mokhber, M. (2016). Data envelopment analysis: A tool of measuring efficiency in banking sector. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 6(3), 911–916.
- Presidencia de la República de Colombia. (2017). *Decreto 344 de 2017*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79774>
- Presidencia de la República de Colombia. (1993). *Decreto 663 de 1993*. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/estatuto_organico_sistema_financiero.html
- Schuschny, A. R. (2007). *El método Data Envelopment Analysis (DEA) y su aplicación al estudio del desempeño de unidades ejecutoras de programas sociales*. CEPAL.
- Soteriou, A. C., & Stavrinides, Y. (1997). An internal customer service quality data envelopment analysis model for bank branches. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(8), 780–789.
- Superintendencia de la Economía Solidaria. (2024). *Reportes de información financiera y social* [Conjunto de datos].
- Superintendencia de la Economía Solidaria. (2025, julio 29). *Circular externa No. 86 de 2025*. https://www.supersolidaria.gov.co/sites/default/files/data/20250729_circular_86.pdf
- Superintendencia de la Economía Solidaria. (2025, julio 30). *Circular externa No. 87 de 2025*. https://www.supersolidaria.gov.co/sites/default/files/data/20250730_circular_ext_87.pdf
- Resti, A., & Sironi, A. (2017). *Risk management and shareholders' value in banking* (2nd ed.). Wiley.
- Villegas, J. G., & Restrepo, M. I. (s.f.). *Análisis envolvente de datos: Introducción y herramienta pública para su utilización*. Universidad de Antioquia.
- Virtanen, P., et al. (2020). SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17, 261–272.
- Zrelli, H., Alsharif, A. H., & Tlili, I. (2020). Malmquist indexes of productivity change in Tunisian manufacturing industries. *Sustainability*, 12(4), 1367.
- Zineelabidine, M. (2024). Determinants of efficiency in microfinance institutions: A DEA approach. *Journal of Risk and Financial Management*, 17(8), 318.
- Zhu, J. (2020). *Data envelopment analysis: A handbook of models and methods* (2nd ed.). Springer.