

Análisis envolvente de datos y sus aplicaciones en sostenibilidad

Data envelopment analysis and applications in sustainability

Camilo Andrés Riaño Henao¹
Olga Lucía Larrea Serna²

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.31.8934>

RESUMEN

Las pequeñas y medianas empresas se enfrentan a problemas de eficiencia y sostenibilidad debido a que sus escasos recursos sólo les permiten cubrir aspectos básicos de su operación. El principal objetivo de este trabajo de investigación es evaluar el estado actual del análisis envolvente de datos y sus aplicaciones en la sostenibilidad en las organizaciones para identificar los enfoques, las metodologías empleadas y su proyección. Con este fin se establecen los elementos teóricos del análisis envolvente de datos y su sostenibilidad para determinar las tendencias actuales de esta temática. Adicionalmente, se identifica la relación entre ambos conceptos para conocer los factores relevantes. A partir de esta información se construye una ruta de aplicación que permita evaluar el estado de la eficiencia y sostenibilidad en este tipo de empresas.

Palabras clave: Eficiencia, sostenibilidad, análisis envolvente de datos, productividad, factores.

ABSTRACT

Small and medium-sized companies are faced with efficiency and sustainability problems because their resources are scarce and only allow them to cover basic aspects of their organizations. The main objective of this work is to evaluate the current state of data enveloping analysis and its applications in sustainability in organizations, to identify the state, approaches, methodologies used and projection. For this, the theoretical elements of the data enveloping analysis and sustainability will be established in order to establish the current trends of this subject, in addition to identifying the relationship between both concepts, in such a way that the relevant factors are identified. This information will be integrated and an application route will be built that allows evaluating the state of efficiency and sustainability. The expected result are the factors that will allow to define the current state of the data enveloping analysis and sustainability.

Keywords: Efficiency, sustainability, data envelope analysis, productivity, factors.



Cómo citar este artículo: C. A. Riaño and O. L. Larrea. "Análisis envolvente de datos y sus aplicaciones en sostenibilidad". *Ingeniare*, vol. 17, no. 31, pp. 11-19, Diciembre 2021.

¹ Tecnólogo en producción, Tecnólogo en mantenimiento mecatrónica de automotores. camiloriano268211@correo.itm.edu.co

² Ingeniera Industrial, Magister en Ciencias de la Ingeniería, Doctor (c) en logística y administración de operaciones. olgalarrea@itm.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

Las pequeñas y medianas empresas en el sector industrial por lo general no alcanzan el éxito deseado, debido a que son absorbidas por las grandes empresas, que tienen la capacidad de ofrecer mejores precios y, muchas veces, mejor calidad.

Las grandes empresas manejan mejor la sostenibilidad porque cuentan con más capital para inversión, lo cual les permite adquirir gran cantidad de materias primas o insumos a menor precio, disponer de mejor maquinaria y más personal, incluso con mejor capacitación, razón por la cual producen en menor tiempo, con mejor calidad y a un menor costo. Además, pueden hacer estudios de mercado que les ayuda a mejorar sus procesos y llegar de una manera más oportuna al consumidor final. Aunque no siempre todas las grandes empresas emplean su capital de manera eficiente, ya que algunas no invierten en capacitación, actualización, implementación y desarrollo, lo cual abarca diversos temas como sistemas de gestión de la calidad, distribución en planta, planeación, programación y control de la producción, seguridad industrial y salud ocupacional, entre otros. Cuando sucede esto, estas empresas se ven absorbidas por la competencia, que sí ha mejorado sus procesos.

Las pequeñas y medianas empresas no sólo deben aumentar su capital, también mejorar sus procesos, invertir en capacitación, en estudios de mercado y en mejores técnicas de producción. Adicionalmente, se hace necesario investigar sobre el análisis envolvente de datos y sus aplicaciones en sostenibilidad para obtener una ruta e implementarla en estas organizaciones.

2. REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA ESPECIALIZADA

El análisis envolvente de datos (DEA) “es una técnica que, a partir de datos sobre recursos empleados y resultados obtenidos para un conjunto de Unidades de Toma de Decisión (DMU), hace posible la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de ellas” [1].

El DEA (del inglés *Data Envelopment Analysis*) es una técnica no paramétrica para medir la eficiencia relativa de unidades organizacionales en situaciones donde existen múltiples entradas y salidas [2].

La metodología DEA surgió de la tesis doctoral de Rhodes (1978) y puede considerarse una extensión del trabajo de Farrell (1957). Básicamente es una técnica de programación matemática que permite construir una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empírica a partir de los datos disponibles del conjunto de unidades objeto de estudio, de forma que las unidades que determinan la envolvente se denominan unidades eficientes, mientras que las que no permanecen sobre esta se consideran ineficientes. DEA permite evaluar la eficiencia relativa de cada una de estas unidades [3].

El término sostenibilidad hace referencia a un proceso, ya sea de bienes o servicios, que no genera pérdidas para la empresa o reduce los costos de producción. En este sentido, la sostenibilidad implica rentabilidad para la empresa [4].

El análisis envolvente de datos se ha desarrollado como una herramienta exitosa en la industria, esto se evidencia en artículos como el “Método análisis envolvente de datos y redes neuronales en la evaluación y predicción de la eficiencia técnica de pequeñas empresas exportadoras”, cuyos autores desarrollaron un método para evaluar y predecir la eficiencia utilizando el análisis envolvente de datos [5], para lo cual utilizaron información de la Cámara de Comercio de Barranquilla. A través de un análisis racional, los investigadores estructuraron los rubros del modelo AED, que se constituyen en sus insumos o entradas y salidas. Utilizando *software* como DEA Solver Pro y SPSS Statistics 25 analizaron 90 empresas, de las cuales sólo 11 se consideraron eficientes, ya que se mantuvieron en la frontera de la eficiencia, las otras se definieron como ineficientes [5].

Articulando las técnicas de análisis envolvente de datos, análisis discriminante y redes neuronales artificiales, los autores proponen un método para evaluar y predecir la eficiencia técnica de las pequeñas y medianas empresas [5].

En el artículo “Factores que afectan la eficiencia técnica y asignativa en el sector cafetero colombiano: una aplicación con análisis envolvente de datos” los autores utilizan la técnica de análisis envolvente de datos para determinar la eficiencia técnica y asignativa de la industria cafetera en tres departamentos de Colombia. La muestra está constituida por 999 fincas ubicadas en Caldas, Quindío y Risaralda. Las facultades de Agricultura y Recursos Naturales de la Universidad de Maryland y la de Economía de la Universidad de los Andes realizaron las encuestas entre marzo y abril de 2004 [6].

Según esta investigación, los grandes caficultores son eficientes en la práctica técnica e ineficientes asignativamente, mientras que los pequeños, medianos y el sector general son más ineficientes minimizando costos que maximizándolos, debido a que no garantizan que los costos sean mínimos y por eso no maximizan sus ganancias. Respecto al análisis envolvente de datos, los autores establecen que la eficiencia técnica promedio encontrada fue muy baja en el plano sectorial (42,38%) y en la eficiencia asignativa fue de 36,50%. Por esta razón concluyen que la mayoría de los cafeteros cuentan con ineficiencia técnica y asignativa [6].

El artículo “Evaluación de la eficiencia en centros de atención primaria. Una aplicación del análisis envolvente de datos” muestra la aplicación de análisis envolvente de datos en un sector productivo de servicios, tomando como muestra 43 centros de atención primaria ubicados en la provincia de Zaragoza (España). Los datos se obtuvieron de las gerencias de diversas áreas durante 1994 [7].

Los investigadores elijen unas entradas y salidas del sistema para realizar una estimación de la eficiencia, planteando dos modelos teóricos: uno puramente “productivo” y otro en el que se introducen variables de calidad. Como el DEA obtiene la eficiencia relativa de las unidades de producción que se toman como referencia, incorporan dos centros con parámetros “ideales”, construidos con indicadores de Insalud [7].

En esta investigación 13 centros alcanzan el máximo de eficiencia, aunque con un rango más amplio serían 24 los eficientes. Los autores concluyen que el análisis envolvente de datos es capaz de trabajar simultáneamente con indicadores de calidad y cantidad de servicios; además, que es un método aplicable a empresas multiproducto que permite incluir variables cuantitativas y cualitativas de manera simultánea y no precisa del pre-establecimiento de criterios [7].

3. METODOLOGÍA

La sostenibilidad es un elemento importante en las organizaciones como factor de éxito en una economía globalizada, de ahí que esta investigación presente una propuesta metodológica para estudiar factores y variables del análisis envolvente de datos y la sostenibilidad. La metodología que se emplea para el desarrollo de este proyecto consta de diferentes etapas. El proceso metodológico se ilustra a continuación (Figura 1).



Figura 1. Metodología del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

Fase 1. A partir de un conocimiento apropiado de las bases de datos, se hace una revisión de la bibliografía especializada con el fin de identificar trabajos previos relacionados con el análisis envolvente de datos y sus aplicaciones en sostenibilidad, para establecer la relación entre los temas de investigación y la definición de factores.

Fase 2. Para integrar la información y construir el camino que permita direccionar la ruta de aplicación de análisis envolvente de datos focalizado en sostenibilidad se seleccionan los factores más importantes que relaciona los temas investigados y se elabora la ruta que direcciona el proceso entre los temas, con base en la revisión sistemática de la bibliografía.

Fase 3. Al establecer, identificar e integrar exitosamente los pasos se obtiene el estado, el enfoque, las metodologías utilizadas y la proyección del análisis envolvente de datos con sus diferentes aplicaciones en sostenibilidad.

4. RESULTADOS

Fase 1

Para la revisión de la bibliografía especializada se utilizó la base de datos Scopus (Tabla 1), a partir de la matriz de búsqueda suministrada por Elsevier, que permite la combinación de diversas palabras claves (Tabla 2). La búsqueda arrojó un total de 4.286 artículos (Tabla 3).

Tabla 1. Resultado de la búsqueda en bases de datos

Bases de datos	Ecuación de búsqueda	Filtro	Número de resultados
E - Libro	efficiency VS sustainability	N/A	557
		2015 a 2019	223
	efficiency VS sustainability AND Data surround analysis	N/A	31
		2015 a 2019	13
ScienceDirect	efficiency VS sustainability	N/A	110925
		Research Articles	81811
		Journal of Cleaner Production de 2016 a 2020	1407
	efficiency VS sustainability AND Data surround analysis	N/A	7757
		Research Articles	4230
		Journal of Cleaner Production	41
Scopus	efficiency VS sustainability	N/A	240
		Engineering - Computer Science	69
		2018 a 2020	27
	efficiency VS sustainability AND Data surround analysis	N/A	0
Scielo	efficiency VS sustainability	N/A	4
	efficiency VS sustainability AND Data surround analysis	N/A	0
Science.gov	efficiency VS sustainability	N/A	810
		Production	94
	efficiency VS sustainability AND Data surround analysis	N/A	331
		Industry	7
IEEE	efficiency VS sustainability	N/A	90
		2016 a 2020	31
	efficiency VS sustainability AND Data surround analysis	N/A	0
Artículos encontrados			120745

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Matriz de búsqueda

Introduce hasta diez palabras clave que describan tu tema de investigación.
 Recuerda que una palabra clave es uno o más términos que referan inequívocamente a un concepto.
 Si tu palabra clave tiene más de dos términos, ponla entre comillas. Ej. "human rights".

REINICIAR

1.	"Data enveloping analysis"
2.	"efficiency"
3.	"sustainability"
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	

Ecuación de búsqueda

("Data enveloping analysis") AND ("efficiency") AND ("sustainability")

Fuente: Elsevier.

Tabla 3. Búsqueda en base de datos Scopus

Bases de datos	Ecuación de búsqueda	Filtro	Número de resultados
Scopus	("Data enveloping analysis") AND (efficiency) AND (sustainability)	N/A	4286

Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionaron tres artículos relacionados con DEA y sus aplicaciones en sostenibilidad, en los cuales se identifica la relación entre los temas de investigación y la definición de factores, para continuar con la fase 2.

En el artículo titulado "Método análisis envolvente de datos y redes neuronales en la evaluación y predicción de la eficiencia técnica de pequeñas empresas exportadoras" los investigadores definieron primero unas variables de entrada y salida, tomando información de la Cámara de Comercio. Este trabajo se divide en tres fases: en la primera aplican el análisis envolvente de datos (AED) mediante el *software* DEA Solver Pro. Posteriormente, evalúan la validez de clasificación lograda en el análisis envolvente de datos y la capacidad discriminante de las variables del estudio, utilizando el análisis discriminante. Finalizan aplicando modelos de Red Neuronal Artificial (RNA) para pronosticar la pertenencia de empresas a las categorías de eficientes y no eficientes [5].

Los autores del artículo "El uso de la metodología DEA (*Data Envelopment Analysis*) para la evaluación del impacto de las TIC en la productividad del sector hotelero" utilizan el análisis envolvente de datos para la construcción de fronteras de producción que se aplica en muchos estudios sobre eficiencia y hotelería. Con este fin, definen las entradas y salidas de los servicios utilizando el programa EMS, que emplea la metodología DEA para calcular el Índice de Productividad de Malmquist (MPI). Con base en esto obtienen la descomposición de la variación de la eficiencia técnica en variación de la eficiencia técnica pura [8].

En el artículo "*Data envelopment analysis. A case study for one argentinian university*" los autores emplean el análisis envolvente de datos para identificar la eficiencia relativa del plan de estudios de un programa universitario, para lo cual eligieron el BCC *output* orientado con el objetivo de maximizarlo.

Utilizaron la fórmula “ $n \cdot \text{inputs} + n \cdot \text{outputs} \leq (n \cdot \text{DMU}/3)$ ” para determinar la cantidad de *inputs* y *outputs*. Luego, agruparon las materias en dos clústeres para cerciorarse de la homogeneidad de las DMU que se debían comparar en relación con su eficiencia [9].

Fase 2

Se relacionan las principales características contenidas en la bibliografía especializada sobre el análisis envolvente de datos y se determinan como referentes la eficiencia, la productividad, la mejora y la estandarización. Adicionalmente, estas características se relacionan con los factores relevantes de sostenibilidad (Figura 2).

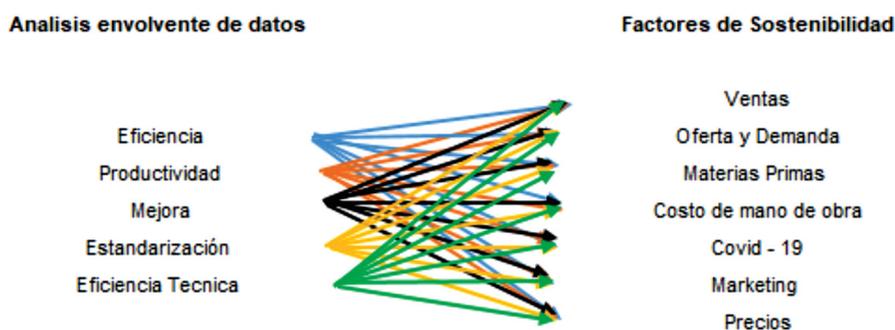


Figura 2. Relación de los factores

Fuente: Elaboración propia.

En los artículos revisados se obtuvieron diversos factores relevantes en la relación del análisis envolvente de datos y la sostenibilidad para las organizaciones. Como se mencionó, el DEA se utiliza para medir la eficiencia en un proceso, que incluye la productividad, la mejora, la estandarización y eficiencia técnica. Todos estos factores influyen en la sostenibilidad de las organizaciones.

La eficiencia de un proceso se ve involucrada con los factores de la Figura 3, ya que todos son fundamentales para obtener un buen resultado.

La eficiencia técnica se relaciona más con el aprovechamiento de los recursos técnicos, en los cuales se encuentran factores como materias primas, costo de mano de obra y *marketing*.

Fase 3

Con base en las fases anteriores se elabora el modelo de ruta estándar para medir la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos con los factores de sostenibilidad (Figura 3).

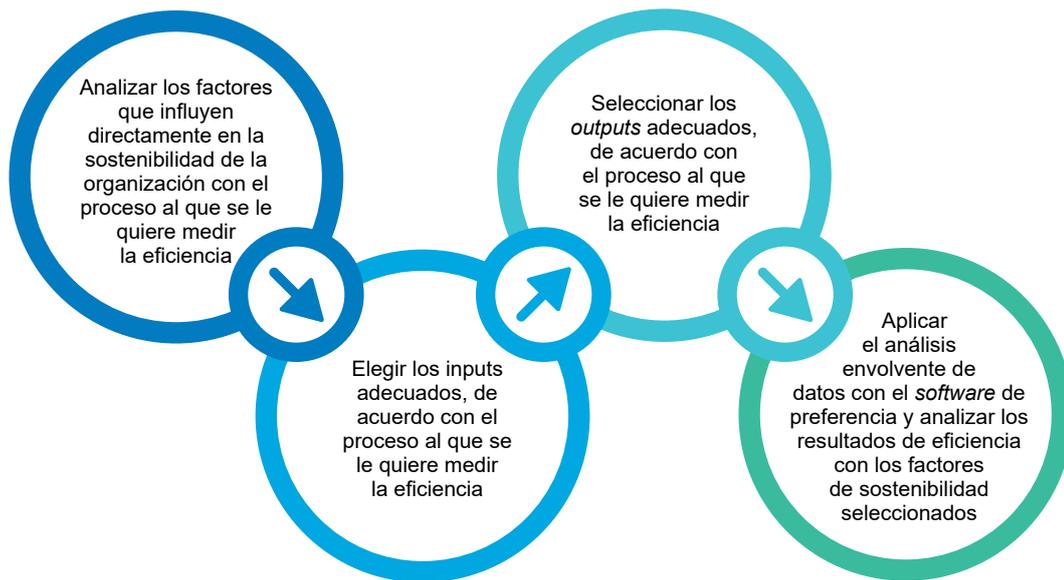


Figura 3. Ruta estándar de aplicación DEA y sostenibilidad

Fuente: Elaboración propia.

La ruta estándar se inicia analizando los factores que influyen directamente sobre la sostenibilidad de la organización con el proceso al que se le quiere medir la eficiencia, lo cual es importante ya que del análisis de estos factores depende el éxito de la aplicación que se desarrolle.

Una vez definidos se eligen los *inputs* adecuados, de acuerdo con el proceso al que se le quiere medir la eficiencia. La información de entrada permite definir el adecuado uso de los recursos y la forma como se manejan al interior de las organizaciones.

El siguiente paso de la ruta consiste en seleccionar los *outputs* adecuados, de acuerdo con el proceso al que se le quiere medir la eficiencia, con el fin de validar que las salidas son coherentes con la información de entrada. El objetivo es ver los resultados que genera el sistema.

Por último, se aplica el análisis envolvente de datos con el *software* de preferencia y se analizan los resultados de eficiencia con los factores de sostenibilidad seleccionados.

5. CONCLUSIONES

En los 4.286 artículos encontrados en la revisión bibliográfica los factores asociados a la temática más comunes son ventas, oferta y demanda, materias primas, costo de mano de obra, Covid-19, *marketing* y precio. Todos los autores proponen seguir los lineamientos de la metodología de análisis envolvente de datos para medir la eficiencia; además, proyectan una ruta estándar de aplicación de DEA y sostenibilidad.

La tendencia más actualizada en el análisis envolvente de datos y la sostenibilidad es trabajar en la producción de servicios, asociando herramientas de inteligencia artificial para medir la eficiencia.

Los factores que se trabajan actualmente en el análisis envolvente de datos y la sostenibilidad son la eficiencia, la productividad, la mejora, la estandarización y la eficiencia técnica. Por su parte, los factores asociados son las ventas, la oferta y la demanda, las materias primas, el costo de mano de obra, el Covid-19, el *marketing* y el precio.

La ruta para el análisis envolvente de datos focalizado busca que se estudien los factores, se elijan los *inputs* adecuados, se seleccionen los *outputs* y se aplique análisis envolvente de datos con el *software* de preferencia.

Como trabajo futuro se propone ampliar los factores, realizar una correlación de carácter estadístico y delimitar el estudio a los trabajos desarrollados en Colombia sobre este tema.

REFERENCIAS

- [1] J.-L. Pina, F.M. Solís, M. Delgado y R. Barea, "Evaluación de la eficiencia de grupos de investigación mediante análisis envolvente de datos (DEA)". *El profesional de la información*, pp. 160-167, 2010.
- [2] M. Restrepo y J. Villegas, "Clasificación de grupos de investigación colombianos aplicando análisis envolvente de datos". *Revista Facultad de Ingenierías Universidad de Antioquia*, pp. 105-119, 2007.
- [3] V. Coll y O. Blasco, *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos*. Valencia: Universidad de Valencia, 2000.
- [4] A. Agustín y B. Derqui, *¿Qué narices es esto de la sostenibilidad?* Barcelona: Profit, 2014.
- [5] T. Fontalvo y E. de la Hoz, "Método análisis envolvente de datos y redes neuronales en la evaluación y predicción de la eficiencia técnica de pequeñas empresas exportadoras". *Información tecnológica*, vol. 29, 6, pp. 267-276, 2018.
- [6] J. Perdomo y J. Mendieta, "Factores que afectan la eficiencia técnica y asignativa en el sector cafetero colombiano: una aplicación con análisis envolvente de datos". *Desarrollo y Sociedad*, pp. 1-45, 2007.
- [7] F. García, C. Marcuello, G. Serrano y O. Urbina, "Evaluación de la eficiencia en centros de atención primaria. Una aplicación del análisis envolvente de datos". *Revista Española Salud Pública*, pp. 211-220, 1996.
- [8] C. Leal y J. Cepeda, "El uso de la metodología DEA (Data Envelopment Analysis) para la evaluación del impacto de las TIC en la productividad del sector hotelero". *Openedition journals*, 2013.
- [9] F. Villarreal y F. Thomé, "Análisis envolvente de datos. Un caso de estudio para una universidad argentina". *Estudios Gerenciales*, vol. 33, pp. 302-308, 2017.