

Un enfoque basado en Análisis Envolvente de Datos para apoyar los procesos de toma de decisiones de localización de sucursales del Banco de Occidente S.A.

Andrés David Abadía Mafla

Nota de Aceptación

Certificamos que el presente Trabajo de Grado Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos Que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.



Fabián Andrés Castaño Giraldo
Director



Hector Fabio Bonilla Londoño
Jurado



Daniel Morillo Morillo Torres
Jurado

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de Magister en Ingeniería énfasis Industrial.



HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias



JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias

Santiago de Cali, 16 de Diciembre del 2020.

Acta de Correcciones al Documento de Trabajo de Grado

Santiago de Cali, 16 de Diciembre del 2020.

Autor: Andrés David Abadía Mafía

Título del Trabajo de Grado: “Un enfoque basado en Análisis Envoltente de Datos para apoyar los procesos de toma de decisiones de localización de sucursales del Banco de Occidente S.A.”

Director:

Como indica el artículo 2.13 de las Directrices para Trabajo de Grado de Maestría, he verificado que el estudiante indicado arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Trabajo de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Evaluación correspondiente.



Firma del Director del Trabajo de Grado



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Maestría en Ingeniería
Facultad de Ingeniería y Ciencias

FICHA RESUMEN
TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA

TITULO: Un enfoque basado en Análisis Envoltente de Datos para apoyar los procesos de toma de decisiones de localización de sucursales del Banco de Occidente S.A.

1. ÉNFASIS: Ingeniería Industrial
2. ÁREA DE INVESTIGACIÓN: Matemáticas – Planeación.
3. ESTUDIANTE: Andrés David Abadía Mafla
4. DIRECCIÓN: Av. 9AN # 50-14 Apto 306B
5. TELEFONO: 3042465162
6. PROFESIÓN: Ingeniero Industrial
7. EMPRESA: Banco de Occidente S.A.
8. CARGO: Líder de abastecimiento
9. CORREO ELECTRÓNICO: andresabadia@javerianacali.edu.co
10. DIRECTOR: Fabián Andrés Castaño Giraldo

9. PALABRAS CLAVE: Decisiones de localización, Análisis envoltente de datos, DEA, Eficiencia relativa.

10. CÓDIGOS UNESCO CIENCIA Y TECNOLOGÍA: 1207.13
11. FECHA DE INICIO: 15 de enero de 2019
12. DURACIÓN ESTIMADA: 20 Meses



EL BANCO DE OCCIDENTE S.A.

CERTIFICA QUE:

El (la) señor(a) **Andres David Abadia Mafla** identificado(a) con cedula de ciudadanía No. **1.130.677.190** está vinculado(a) a nuestra entidad desde el siguiente periodo:

FECHA DE INGRESO: 04 DE MAYO DE 2015
CARGO: COORDINADOR DE COMPRAS
DEPENDENCIA: DIV REC ADMINISTRATIVOS
CONTRATO: TERMINO INDEFINIDO

Adicionalmente el funcionario desempeñada funciones de cara al siguiente proyecto:

“Uso de Análisis Envoltante de Datos para apoyar los procesos de toma de decisiones de localización de sucursales del Banco de Occidente S.A”

Este proyecto está 100% asociado a su labor como funcionario Banco, dado que es el responsable de la contratación de obras civiles a nivel nacional, cierres, traslados y aperturas, además de la elaboración del presupuesto donde se priorizan dichas acciones de acuerdo con los criterios establecidos por red física, que en su mayor proporción son las calificaciones calculadas para cada oficina.

Básicamente lo que está ejecutando es un modelo matemático avanzado, para tomar ese tipo de decisiones de una manera diferente a como hoy las toma el Banco, de forma tal que se pueda generar una buena propuesta a partir de los resultados.

Dado en Cali, a los diecisiete (17) días del mes de septiembre del año 2020

JULIANA MOLINA GÓMEZ

Abogada Relaciones Laborales

Vicepresidencia de Talento Humano y administrativa

Si este certificado requiere verificación, se debe escanear y solicitar confirmación mediante correo electrónico a ntombe@bancooccidente.com.co de lunes a viernes de 2:00 p.m. a 4:00 p.m.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL

**Un enfoque basado en Análisis
Envolvente de Datos para apoyar
los procesos de toma de decisiones
de localización de sucursales del
Banco de Occidente S.A.**

*Andrés David Abadía Mafla.
Ingeniería Industrial.*

Director: Fabian Andrés Castaño Giraldo, Ph.D.

Octubre de 2020

Resumen El desarrollo del sector bancario ha estado, tradicionalmente, ligado a la atención personalizada de los clientes, quienes realizan gran parte de sus transacciones directamente en sucursales físicas. No obstante, instalar y mantener una sucursal implica grandes costos que, desde las perspectiva de las instituciones financieras, deben estar justificados por el volumen de operaciones y el impacto de la operación que se causa en una u otra sucursal. Este proyecto aborda el estudio de la eficiencia relativa de las sucursales bancarias del Banco de occidente con el propósito de evaluar la pertinencia de mantener o cerrar sucursales y, además, determinar las características que debería esperarse de una sucursal eficiente con el propósito de proceder a la evaluación de una nueva apertura. Con este fin, se propone la aplicación de la técnica conocida como Análisis Envoltante de Datos (DEA), para evaluar la eficiencia operativa de cada sucursal bancaria, a través de un modelo matemático que facilite la evaluación de las variables de entradas y salidas para cada sucursal. Este método de evaluación permite comparar los resultados frente a los obtenidos por el comité de decisiones de red física celebrado con periodicidad anual, en conjunto con la identificación de factores contextuales relacionados a las alternativas de localización. Se exploran las ventajas y desventajas de usar diferentes versiones de esta técnica para de esta forma, apoyar la toma de decisiones en materia de expansión o contracción de las operaciones en sucursal física de la compañía. Los resultados sugieren que es posible identificar en las sucursales eficientes patrones característicos que sirvan como referencia al resto de sucursales, además obtener resultados detallados del aporte que representan las variables de entrada y salidas en la eficiencia general de cada sucursal evaluada. Este aporte podrían usarse para determinar una estrategia para mejorar la eficiencia e identificar debilidades, dentro del contexto de servicio propuesto por la compañía.

Palabras clave: Decisiones de localización, Análisis envoltante de datos, DEA, Eficiencia relativa.

Abstract. The development of the banking sector has traditionally been linked to the personalized attention of customers, who carry out a large part of their transactions directly in physical branches. However, setting up and maintaining a branch entails high costs that, from the perspective of financial institutions, must be justified by the volume of operations and the impact of the operation caused in one or another branch. This project addresses the study of the relative efficiency of the bank branches of the Banco de Occidente in order to evaluate the relevance of maintaining or closing branches and, in addition, to determine the characteristics that should be expected from an efficient branch in order to proceed with the evaluation of a new opening. For this purpose, the application of the technique known as Data Envelopment Analysis (DEA) is proposed to evaluate the operational efficiency of each bank branch, through a mathematical model that facilitates the evaluation of the input and output variables for each branch office. This evaluation method allows the results to be compared with those obtained by the physical network decision committee held annually, together with the identification of contextual factors related to the location alternatives. The advantages and disadvantages of using different versions of this technique are explored in order to support decision-making in matters of expansion or contraction of operations in the company's physical branch. The results suggest that it is possible to identify characteristic patterns in the efficient branches that serve as a reference to the rest of the branches, in addition to obtaining detailed results of the contribution that the input and output variables represent in the general efficiency of each evaluated branch. This input could be used to determine a strategy to improve efficiency and identify weaknesses, within the context of service proposed by the company.

Keywords: Location decisions, Data enveloping analysis, DEA, Relative efficiency.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a Dios que me dio perseverancia, fortaleza, e iluminó mi camino para superar las dificultades sin desfallecer en el proceso.

A mi esposa y familiares, quienes me apoyaron en todo momento a lo largo de este proceso.

Agradecimiento

En primer lugar quiero agradecer a mi director de trabajo de grado Fabián Andrés Castaño Giraldo, Ph.D. quien con sus conocimientos y apoyo me guió a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.

También quiero agradecer a el Banco de Occidente S.A por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación.

Por último, quiero agradecer a todos mis compañeros y a mi familia, por apoyarme aún cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mi esposa Marcela Hernandez Aros, que siempre estuvo ahí para apoyarme desde el momento en que decidimos iniciar el proceso.

Índice general

1. Introducción	9
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo General	10
2.1.1. Objetivos Específicos	10
3. Estado del arte	12
4. Definición del problema y metodología de solución	14
4.1. Problema	14
4.2. Metodología de solución	15
4.2.1. Análisis envolvente de datos	15
4.3. Modelo matemático	19
4.3.1. Modelo orientado a entrada	21
Parámetros	21
Variables	21
4.3.2. Modelo Orientado a Salidas	22
Parámetros	22
Variables	22
4.3.3. Modelo con Variable de holgura	23
Parámetros	23
Variables	23
4.3.4. Selección de Datos	24
Variables de entrada	24
Variables de salida	25
4.3.5. Calculo de Eficiencia relativa - Modelos orientados a entradas y salidas en Python	25
4.3.6. Calculo de Eficiencia relativa - Modelo orientado a entrada con Holgura	26
5. Pruebas y análisis de resultados	27
6. Conclusiones y trabajos futuros	38
Bibliografía	39

Índice de figuras

1. Criterios de decisión actuales	16
2. Eficiencia Técnica	17
3. Tipos de orientación (1) Entradas (2) Salidas (3) Entradas y Salidas ..	18
4. Caracterización de la eficiencia y valores holguras	18
5. Esquematización de variables y conjunto de unidades de decisión	20
6. - Modelo DEA orientado a entrada - objetivo minimizar entradas	25
7. Modelo DEA orientado a salidas - Objetivo maximizar salidas	26
8. Modelo DEA orientado a entradas con variable de holgura - Objetivo minimizar entradas	27
9. Gráfico de barras	29
10. Tabla de frecuencia	29
11. Diagrama de barras - Eficiencia	33
12. Diagrama de Dispersión - Modelo de entrada y salida	34
13. Tabla de Dispersión - Modelo de entrada y salida	34
14. Diagrama de decisión propuesto para las aperturas de sucursales	37

Índice de tablas

1. Muestra - Variables de entrada y salida <i>DEA</i>	28
2. Muestra - Eficiencia técnica	28
3. Localización de sucursales eficientes	31
4. Muestra sucursales eficientes	32
5. Muestra - Variable de holgura para numero de funcionarios	35
6. Muestra - Sucursales de referencia	36

1. Introducción

El sector financiero contribuye a la riqueza y dinámica económica de un país. En el Reino Unido, el sector de servicios financieros produce el 25 % del Producto interno bruto (PIB) [1], mientras que la participación del sector financiero colombiano fue del 25.07 % en el PIB del año 2019 [2]. Los Bancos de la actualidad ofrecen a sus clientes una amplia gama de productos y servicios enmarcados en dos conceptos: la captación y colocación. La captación es la estrategia mediante la cual las entidades financieras realizan la intermediación del recaudo de recursos monetarios y la colocación es básicamente el medio que permite poner en circulación el dinero asociado a una tasa de rendimiento.

Uno de los canales en el cual los bancos desarrolla su naturaleza de servicio, es la red de sucursales físicas, comúnmente conocidas como sucursal de servicio al cliente, donde se ofrece un contacto directo a los clientes existentes y potenciales. En Colombia según el último informe de prensa generado por la superintendencia financiera, correspondiente al primer semestre del año 2020, se realizaron el 74 % de las operaciones bancarias por canales virtuales, sin embargo no es posible diferenciar de estos resultados que volumen de operaciones corresponde a efectos colaterales generados a partir de la crisis de salud mundial causada por el COVID-19, este resultado respecto al mismo periodo de tiempo del año 2019, presenta un crecimiento del 11 % en operaciones virtuales [2].

Por lo anterior, mientras exista un porcentaje de clientes que utilicen la red física de sucursales bancarias, la decisión de cierres, traslados o aperturas de nuevas sucursales será un problema común entre todas las entidades Bancarias. Las decisiones sobre la red física se abordan desde la evaluación de la eficiencia operativa de cada sucursales, para proporcionar las variables suficientes y ejecutar un plan de acción, alineado a la estrategia anual de la organización. La decisión de localización al ser considerado un problema clásico de la literatura, posee una amplia cantidad de alternativas de solución, abordando la ubicación de al menos una instalación, también llamado recurso o servidor, entre el universo de instalaciones existentes [3].

El análisis envolvente de datos ha sido reconocido como una herramienta moderna para la medición del desempeño [4]. Desde el año 1957 se han publicado una gran cantidad de investigaciones y divulgado aplicaciones utilizando el análisis envolvente de datos para evaluar la eficiencia operativa de organizaciones bancarias. El primer reporte fue propuesto por Farrell *et. al* [5], sin embargo Charnes y Cooper [6], fueron los primeros en desarrollar y poner en funcionamiento este método, popularizándolo y permitiendo así posicionarlo como una de las herramientas metodológicas más importantes para el cálculo de la eficiencia relativa [7].

El análisis envolvente de datos es una técnica basada en programación matemática que permite cuantificar la eficiencia relativa, en cuanto al uso de recursos y generación de resultados, comparando cada unidad de toma de decisiones contra otros y, particularmente, con aquellos cuyo desempeño mejor se asemeja a las condiciones de la DMU que está siendo evaluada. Para esto, se realiza una comparación definida a partir de los datos disponibles del conjunto de unidades

seleccionadas para el estudio [8]. La distancia que existe entre cada DMU hasta la frontera eficiente conformada, representa la medida de la eficiencia o la falta de ésta [8]. En este contexto, es necesario destacar que el foco de interés de este proyecto es la evaluación de la eficiencia relativa de las sucursales Bancarias para apoyar una decisión de localización. Este modelo para medir eficiencias ha sido aplicado en organizaciones bancarias, a través de investigaciones que demostraron eficiencia reales aplicando decisiones originadas a partir de los resultados obtenidos con el análisis envolvente de datos [1], [9]-[13]. No obstante, la toma de decisiones usando el sentido común y reglas intuitivas siguen siendo comunes en el sector.

En el Banco de Occidente las decisiones de apertura, traslados y cierres inciden directamente en los resultados de rentabilidad, debido a que la red de sucursales representa un egreso anual de \$ 89.822 millones de pesos asociados a los costos operativos y \$3.461 Millones en recurso humano que opera las sucursales. Una decisión incorrecta puede implicar, sobrecostos, dificultades logísticas e ineficiencia operativa. Con el fin último de apoyar los procesos de toma de decisión en el Banco de Occidente, se propone implementar el uso de Análisis Envolvente de Datos como herramienta de evaluación para apoyar las decisiones asociadas a las sucursales, respecto a posibles cierres, aperturas o traslados, de acuerdo con su rendimiento en términos de relación entre los recursos requeridos para la operación y la magnitud de la operación alcanzada, medida en términos del volumen de operaciones que en cada sucursal se llevan a cabo. También se busca evaluar el cómo DEA puede ser usado en la identificación de prioridades competitivas al momento de definir una estrategia de mejoramiento para las sucursales actuales. Más aún, se muestra que es posible identificar criterios para determinar las expectativas en términos de la operación de cada sucursal, información que es útil para determinar la pertinencia de nuevas aperturas.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un procedimiento para la toma de decisiones que considere múltiples criterios y/u objetivos, para apoyar el análisis y la toma de decisiones en materia de localización, apertura y/o cierre de las sucursales del Banco de Occidente S.A.

2.1.1. Objetivos Específicos

- Realizar una revisión de literatura que permita establecer modelos para tomar decisiones de localización, aperturas y cierres de sucursales en entidades financieras.
- Comparar y evaluar los criterios de decisiones actuales para la localización, aperturas y cierre de sucursales del Banco de Occidente S.A.

- Diseñar un procedimiento para apoyar la toma de decisiones de localización, usando un modelo matemático que permita medir la eficiencia de cada sucursal, para lo cual se utilizará Análisis envolvente de datos.
- Realizar un análisis de sensibilidad, para identificar el impacto que tendría cada variable en cada sucursal evaluada dentro del modelo matemático, de forma que sea posible proponer un plan de acción que mejore la eficiencia de la red de sucursales del Banco de Occidente.

3. Estado del arte

La evaluación de eficiencia operativa de las sucursales ayudan a comprender la complejidad existente, a identificar las relaciones y variables que influyen directamente en la eficiencia de un banco [14]. La eficiencia operativa de una sucursal es una referencia que esta directamente relacionada con las decisiones de localización de instalaciones y, que además, pueden ser abordada mediante la aplicación de técnicas cuantitativas originadas en la investigación de operaciones [15]. Dependiendo de la naturaleza de la instalación a ubicar, se pueden considerar varios objetivos, cuantificados de diferentes formas, en un contexto en el que considerar múltiples criterios es de suma importancia. En su versión más clásica, los problemas de localización consideran en principio los costos de transporte o de distancia, para maximizar utilidades o el nivel de servicio, también, minimizar distancias recorridas, maximizar la cobertura o minimizar los tiempos de espera. Según Weber [15] los primeros registros de investigación oficiales sobre ubicación de instalaciones fueron generados en el año 1909, donde el autor propuso un modelo para ubicar un almacén con el objetivo de minimizar la distancia recorrida entre el almacén y sus clientes.

Hakimi en [16] propone respecto a los problemas de localización, el uso de la programación lineal entera mixta, aplicando un modelo que resuelve un problema de localización de redes de comunicación. El autor afirma que aplicando una modulación básica al modelo matemático, este se podría ajustar a la necesidad de la mayoría de problemas de localización, análisis, diseños o mejoras de menor costo de cualquier tipo de red existente. Aunque este método de solución podría ser un enfoque viable para abordar el problema planteado en este trabajo, se requiere explorar alternativas similares que se ajuste al objetivo de apoyar una decisión en materia de localización, generando información útil como complemento a los criterios implementados por un panel de expertos responsables de la decisión final.

Berger [14] realizó una revisión con enfoque crítico a más de 100 estudios que evaluaron la eficiencia bancaria usando varios tipos de fronteras técnicas. Fethi y Pasiouras [17] evaluaron 196 publicaciones que emplearon técnicas de investigación de operaciones e inteligencia artificial para evaluar el desempeño bancario, de los cuales 151 estudios usaron técnicas similares al análisis envolvente de datos y solo 30 de ellos se concentraron en evaluar la eficiencia operativa a nivel de las sucursales. Con un enfoque similar Paradi y Zhu valoraron 285 publicaciones que empleando DEA evaluaron la eficiencia operativa de organizaciones bancarias, de las cuales 90 de ellas se orientaron directamente al análisis de sucursales. Estas revisiones permiten obtener un panorama de viabilidad respecto al uso de análisis envolvente de datos como método de evaluación de la eficiencia operativa a nivel de sucursales [11].

Una investigación realizada en un Banco Canadiense demostró la relevancia del uso de DEA en la evaluación de desempeño y definición de estrategias de desarrollo para sus sucursales físicas. Los autores evaluaron los criterios aplicados en la valoración de las sucursales de acuerdo a la gestión operativa realizada, donde afirman que los indicadores de gestión es común encontrarlos apuntando

a la medición del desempeño del personal que opera en cada sucursal bancaria, sin considerar factores o criterios externos a la gestión humana [9].

Los resultados obtenidos a través de la investigación realizada por Lin y Chiu [10], sugieren que aplicar un modelo de evaluación y clasificación de acuerdo al desempeño operativo, basado en la integración del análisis envolvente de datos, puede lograr una evaluación de desempeño operacional más precisa, en la que se considere integrar cuatro dimensiones del desempeño: eficiencia dirigida a la producción generada en cada sucursal, resultados de eficiencia obtenidos a través de la clasificación por tipo de cliente (banca corporativa y banca de personas), y rentabilidad comparada con los otros Bancos en Taiwán.

En principio los modelos DEA fueron empleados para evaluar la eficiencia relativa de organizaciones sin ánimo de lucro, con el tiempo, y dada la naturaleza interdisciplinaria de esta herramienta, su rango de aplicaciones se extendió rápidamente al análisis del rendimiento de todo tipo de organizaciones [4], [5]. Los resultados que se pueden obtener a partir de la herramienta DEA, muestran que con esta es posible evaluar la eficiencia relativa de las unidades de toma de decisiones (DMU) por sus siglas en inglés, método que podría ser útil para clasificar el conjunto de criterios disponibles que pueden ser aplicados para determinar la ubicación apropiada de instalaciones bancarias, con esto se evaluarían las interacciones entre criterios y sus combinaciones de recursos para el funcionamiento de las misma. Sherman y Gold [18] utilizaron la herramienta DEA como complemento a un modelo matemático para ubicar sucursales ineficientes, empleando explícitamente la combinación de servicios prestados y los recursos utilizados para operar cada sucursal.

En el texto de Lin y Chiu [10] promueven la actividad de Fusiones y Adquisiciones (FyA) para que facilitará el desarrollo de la banca taiwanesa, gracias a que identificaron una diferencia significativa en la escala operativa entre los bancos evaluados mediante la técnica DEA, construyendo un modelo de desempeño integrado para resolver el problema de medición de eficiencia operativa, para esto los autores usan el análisis de componentes independientes y un modelo basado en holguras de red, este modelo es diseñado para realizar la búsqueda de información latente, de forma tal, que las variables independientes de los datos observados y las variables independientes seleccionados estadísticamente, se utilicen como nuevas variables de entrada y de salida para el modelo basado en holguras de red.

Paradi *et. al* [11] aplicaron el análisis de componentes independientes, usando análisis envolvente de datos para mejorar la evaluación del desempeño de un banco. Los autores emplearon tres criterios de rendimiento de las sucursales físicas de un Banco canadiense: producción, rentabilidad e intermediación, de lo cual se obtuvo resultados que permitieron mejorar los métodos de evaluación de desempeño, de forma tal que los directivos del Banco lograron identificar claramente las ventajas y desventajas de sus operaciones, también la eficiencia de la escala de cada sucursal y los impactos de localización. LapLante y Paradi [1] demostraron que los bancos ocasionalmente emplean análisis de frontera eficiente, para determinar la localización y clasificación de sus instalaciones que permi-

ta identificar objetivamente las mejores prácticas dentro de las organizaciones. De acuerdo con los autores, mediante Análisis envolvente de datos se podrían estructurar los indicadores de eficiencia de un Banco, mediante el cálculo de la eficiencia de cada sucursal, asociada a las diferentes variables de entrada y salida. El análisis envolvente de datos se ha aplicado con éxito en muchas evaluaciones de desempeño de sucursales bancarias utilizando los métodos tradicionales de intermediación, rentabilidad y producción. Sin embargo, se ha prestado poca atención a la evaluación del potencial de crecimiento de las sucursales individuales [1].

LaPlante y Paradi [1], formularon cinco modelos DEA que examinan tres perspectivas del crecimiento de una red de sucursales físicas. Cada modelo se aplicó a uno de los cinco principales bancos de Canadá para evaluar el potencial de crecimiento de las sucursales, logrando que a partir de los resultados proporcionados realizar recomendaciones de mejoras personalizadas, aplicando diversas metodologías de análisis. Como resultado se obtuvo que tres de los cinco modelos lograron identificar adecuadamente a las sucursales que mejor se desempeñaban en el crecimiento anual, también los resultados sugieren que es posible identificar las características de las sucursales que se ubican en la frontera eficiente.

De acuerdo a la revisión de literatura, dirigida a identificar los diferentes métodos disponibles que sirven para resolver el problema de decisión planteado para este proyecto, se selecciona el Análisis envolvente de datos como el método de evaluación para medir la eficiencia relativa de la red de sucursales de una entidad bancaria. Se espera con esto aportar elementos que apoyen el proceso de decisión de aperturas, traslados y cierres, al igual que en la definición de planes de mejoramiento de las sucursales existentes. El modelo propuesto considera las variables de entrada y salida que actualmente se utilizan en la evaluación de desempeño de cada sucursal, este método apoyará particularmente las decisiones, evaluando la eficiencia técnica de cada sucursal bancaria, de forma que se pueda conocer el estado actual de la eficiencia operativa y a través de la eficiencia relativa, obtener las oportunidades de mejora a nivel específico para cada variable de entrada y salida de cada sucursal.

4. Definición del problema y metodología de solución

4.1. Problema

Banco de Occidente S.A. realizó inversiones asociadas a aperturas, cierre y traslados de sucursales de 17.540 millones de pesos en promedio anual entre los últimos cinco años, estas ejecuciones presupuestales tienen como objetivo garantizar, que la red de sucursales bancarias sea más eficientes y productivas, todo ello para lograr una experiencia de servicio al cliente diferenciadora y competitiva en el mercado.

Si bien este sistema de servicio tiene la capacidad de satisfacer la demanda, existe la posibilidad de mejorar la eficiencia operativa de las sucursales. En el modelo estratégico para tomar decisiones sobre la localización de sucursales no

se tiene implementado un modelo riguroso. En particular se nota que las decisiones establecidas no guardan una línea de asertividad y concordancia entre los diferentes comités de decisiones celebrados con periodicidad anual. Por ejemplo, en el año 2018 el comité de red física aprobó la inversión de aproximadamente 360 millones de pesos en obra Civil, para acondicionar dos sucursales ubicadas en la Victoria Valle y Yopal Casanare. No obstante, estas sucursales para el año 2019 fueron cerradas, porque de acuerdo a la nueva evaluación realizada un año después de ejecutada la inversión, estas sucursales se ubicaron en el listado de candidatas para cerrar por ineficiencia operativa.

Se observa en la compañía que también existe una gran divergencia entre lo planeado a nivel presupuestal y lo observado en la ejecución real. En promedio, entre los años 2018 y 2019 solo se cumplió en un 42 % el plan de obras asociadas a aperturas, cierres y traslados, es decir que más de la mitad de las actividades planeadas requieren ser nuevamente evaluadas, esta medida del cumplimiento en la ejecución presupuestal, en comparación con las otras tres entidades bancarias del consorcio corporativo llamado grupo AVAL, representa la mayor variación. Para tomar las decisiones, actualmente el Banco de Occidente utiliza un modelo de clasificación de las sucursales, basado en dos criterios, el uso a nivel de operaciones procesadas por cada oficina y el costo de la operación, como se representa en la Figura 1. De acuerdo a la clasificación que recibe cada sucursal, se determina la prioridad que representa en el momento de asignar recursos en el presupuesto anual y se determina si es necesario ejecutar un cierre, traslado o apertura. Respecto a la dinámica específica que se utiliza para registrar las decisiones, se emplea una versión un poco rudimentaria del método Delphi, debido a que realmente no se cumple con el esquema de consultas estructuradas y ejecutadas de forma iterativa a un grupo de expertos [19]. Por el contrario, se realiza una única consulta que contiene la clasificación de cada sucursal, dirigida a un grupo de expertos que conforman el comité de red física con el fin de obtener un consenso.

4.2. Metodología de solución

4.2.1. Análisis envolvente de datos Para comprender mejor la mecánica detrás del análisis envolvente de datos, esta sección presenta una descripción sencilla de la forma en la cual esta opera.

Para lograr calcular la eficiencia comparativa, la metodología DEA se encuentra sustentada en una serie de modelos matemáticos basados en la razón de entradas y salidas, que tienen como objetivo principal definir un escalar que represente la mínima proporción a la que se pueden reducir los *inputs* (*outputs*) manteniendo fijo los *outputs* (*inputs*) [8].

A manera de ejemplo, Farrell [5] representa gráficamente la eficiencia técnica a través de una muestra, que para esta ilustración considera cuatro DMU, definidas como A, B, C y D, de las cuales cada una de ellas obtiene un único *output* (y) y dos *inputs* (x_1, x_2). En la Figura 2 cada punto representa las coordenadas del plan de producción ($x_1/y, x_2/y$) observado para cada una de las referidas unidades.

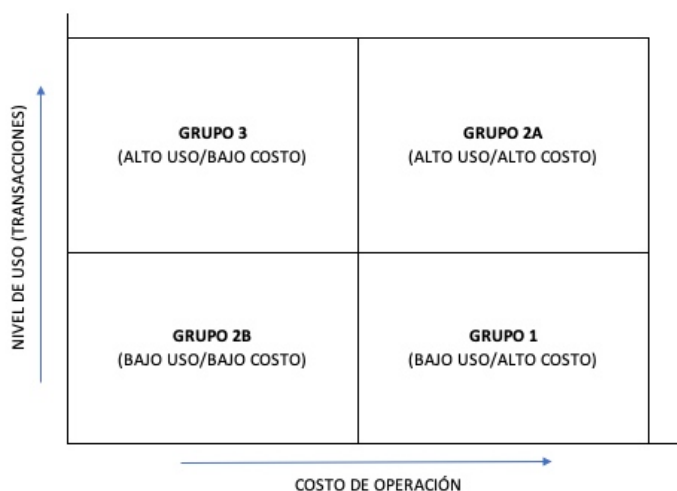


Figura 1. Criterios de decisión actuales

La eficiencia técnica, que pone de manifiesto la capacidad que tiene una unidad de decisión para obtener el máximo *output* a partir de un conjunto dado de *input*, se obtiene al comparar el valor observado de cada unidad de decisión con el valor óptimo que viene definido por la frontera de producción estimada [20].

Numéricamente puede obtenerse la puntuación de eficiencia relativa, como la relación entre la longitud de la línea desde el origen hasta el punto proyectado sobre la isocuanta eficiente de la unidad considerada y la longitud de la línea que une el origen a la unidad considerada, como se observa en la Ecuación 1, definida para la unidad de decisión llamada B.

ET_B = eficiencia técnica de la unidad de decisión B.

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

De acuerdo a la ecuación anterior, la eficiencia técnica sólo puede tomar valores comprendidos entre cero y uno. Una puntuación cercana a cero debe entenderse como una unidad alejada de la frontera eficiente conformada por el conjunto de unidades con valor de uno, por lo que se considera una unidad ineficiente técnicamente.

En la aplicación de la herramienta DEA Farrell [5] supuso que la frontera de producción era conocida. Sin embargo, en la práctica no es así y, por tanto, resulta necesario estimarla.

Con carácter general, los métodos de estimación para construir la frontera de producción pueden clasificarse en función a la relación entre los *input* con

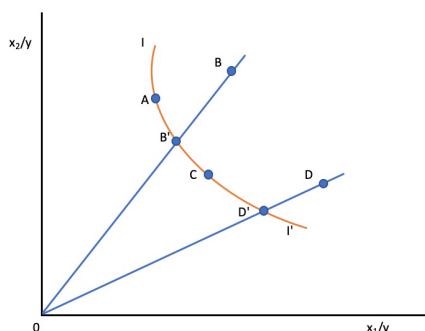


Figura 2. Eficiencia Técnica
Análisis envolvente de datos Fuente: [6]

los *output*. A su vez, pueden emplearse métodos estadísticos o no para estimar la frontera, que en última instancia, puede ser especificada como estocástica o determinista [5].

Según Charnes y Cooper [6], la eficiencia puede ser caracterizada en dos sentidos básicos, definiendo así dos tipos de modelos:

- **Modelo orientado a las entradas** que básicamente se enfocan en la máxima reducción proporcional en el vector de las entradas mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción.
- **Modelo orientado a las salidas** esta segunda alternativa a diferencia del modelo anterior, esta dirigida en el máximo incremento proporcional de las salidas, permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción y manteniendo fijo las entradas.

Teniendo en cuenta las orientaciones definidas, una unidad decisión será considerada eficiente si, y solo si, no es posible incrementar las cantidades de *output* manteniendo fijas las cantidades de *inputs* utilizadas, ni es posible disminuir las cantidades de *inputs* empleadas sin alterar las cantidades de *outputs* obtenidas [6]. En la Figura 3 se ha representado, bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, considerando una única entrada y una única salida, y en ella puede verse como la unidad A es ineficiente técnicamente, dado que se sitúa por debajo de la frontera.

Desde el punto de vista de un modelo orientado a las salidas, la unidad en la Figura 3 representada como A, podría reducir la cantidad de entradas, lo que representa que es posible decidir sobre las entradas y garantizar el mismo nivel de producido en la salida, es decir que la unidad A debería considerarse como referencia a la unidad A1.

La caracterización de la eficiencia y los valores de holguras están directamente relacionados con la medición de eficiencia técnica, es decir que si una unidad de decisión tiene una eficiencia técnica de 1, entonces la unidad que está siendo

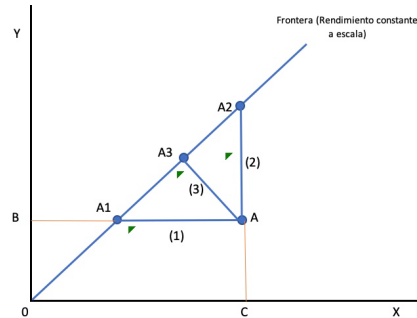


Figura 3. Tipos de orientación (1) Entradas (2) Salidas (3) Entradas y Salidas
Análisis envolvente de datos Fuente: [6]

evaluada es eficiente. De acuerdo a la definición en [5], las unidades que no cumplan esta condición existe una combinación de unidades que proporcionan mejores resultados que la unidad por si misma puede ofrecer.

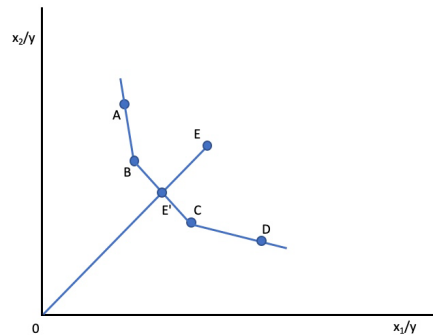


Figura 4. Caracterización de la eficiencia y valores holguras
Análisis envolvente de datos Fuente: [5]

Las unidades etiquetadas como A, B, C y D de la Figura 4, son eficientes técnicamente según la condición de eficiencia según Farrell [5], puesto que su puntuación de eficiencia es igual a uno. La unidad E es considerada ineficiente, sin embargo sólo las unidades B y C son eficientes técnicamente, debido a que las unidad A y D presentan holguras en la variable de entrada, la unidad A en el tipo de variable X2 y unidad D en la variable de tipo X1.

4.3. Modelo matemático

Usando una formulación basada en la técnica análisis envolvente de datos, es posible contribuir a la identificación de las sucursales ineficientes, con el fin de proponer planes de mejoramiento. También pueden usarse para dar soporte a decisiones de cierre, traslados y apertura, además de dar luces sobre las características que debería tener una nueva sucursal, usando como referencia aquellas sucursales similar que obtengan una eficiencia igual a 1. Para el contexto del Banco de Occidente dichas decisiones se realizan con una periodicidad anual, a través de un panel de expertos que conformar el comité de red física.

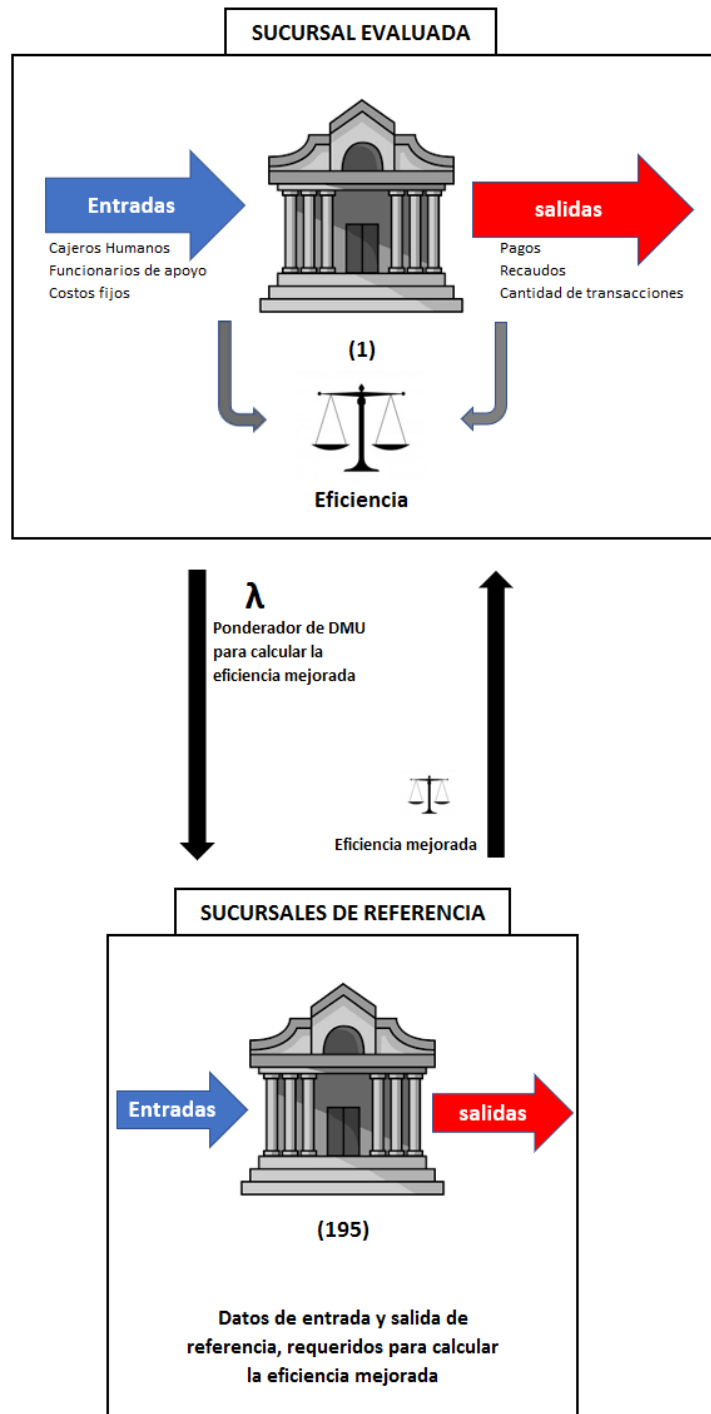


Figura 5. Esquematización de variables y conjunto de unidades de decisión

4.3.1. Modelo orientado a entrada Sea $DMU = \{1, 2, 3 \dots m\}$ el conjunto de unidades de toma de decisión que se analizará (para el caso del Banco de Occidente equivalentes a sucursales) se considera el conjunto de entradas, como lo son el **recurso humano disponible** en la operación directa y en las áreas de apoyo, los **costos de operación**, requeridas para la operación de las sucursales, el conjunto $I : \{i_1, i_2, i_3 \dots i_n\}$ denota las entradas del modelo, todo aquello que se requiere como entrada para la operación de las sucursales. Asimismo, el conjunto $O : \{o_1, o_2, o_3 \dots o_k\}$ denota las salidas de la operación, definido en este documento como todo aquello que se desea maximizar siguiendo la definición en [8].

Para cada sucursal o DMU se conocen los consumos de la entrada $i - E_{si}$ - requeridos para su operación. De forma similar, se han identificado los valores para las salidas $o \in O$, denotado, S_{so} por cada sucursal $s \in DMU$ [8].

El modelo DEA orientado a salidas tiene como objetivo determinar, **para cada sucursal** $s \in DMU$, su eficiencia relativa θ_s permitiéndole su comparación contra aquellas sucursales de mejor desempeño que tienen mayor similitud con sus propias características. En otras palabras, la variable de decisión θ_s permite cuantificar la eficiencia para estas. Para lograr este propósito, el modelo se resuelve de forma iterativa de tal forma que se determinan los valores para las variables de decisión λ_j , $s \in S$, que ponderan la importancia de cada sucursal $s \in S$ en la determinación de la eficiencia relativa de la sucursal siendo comparada en s [8].

Parámetros

- E_{ji} : Valor de la entrada i cuando se considera la sucursal j
- S_{jo} : Valor de cada una de las salidas o de cada sucursal j .

Variables Para la construcción del modelo se tienen en cuenta las siguientes variables de decisión:

- θ_s : eficiencia de la sucursal s .
- λ_j : ponderador de DMU de referencia que se usa para calcular la eficiencia de cada j

El modelo DEA resuelve, de manera iterativa, el siguiente modelo de optimización en el cual, para cada sucursal, se permite la posibilidad de determinar la eficiencia usando como DMUs de referencia únicamente aquellas que más le conviene para calcularse su máxima eficiencia.

$$\text{mín : } \theta_s \quad (2)$$

Sujeto a :

$$\sum_{j \in DMU} E_{ji} \lambda_j \leq E_{si} * \theta_s \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{j \in DMU} S_{jo} \lambda_j \geq S_{so} \quad \forall o \in O \quad (4)$$

$$\sum_{j \in DMU} \lambda_j = 1 \quad (5)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j \in DMU \quad (6)$$

$$\theta_s \geq 0 \quad (7)$$

4.3.2. Modelo Orientado a Salidas Sea $DMU = \{1, 2, 3 \dots m\}$ el conjunto de unidades de toma de decisión, DMUs, que analizará para el caso del Banco de Occidente equivalentes a sucursales - se considera el conjunto de entradas, requeridas para la operación de las sucursales, el conjunto $I : \{i_1, i_2, i_3 \dots i_n\}$ denota las entradas del modelo, todo aquello que se requiere como entrada para la operación de las sucursales. Asimismo, el conjunto $O : \{o_1, o_2, o_3 \dots o_k\}$ denota las salidas de la operación, definido en este documento como todo aquello que se desea maximizar [8].

Para cada sucursal o DMU se conocen los consumos de la salida S_{jo} requeridos para su operación.

El modelo DEA orientado a salidas tiene como objetivo determinar, para cada sucursal $s \in DMU$, su eficiencia relativa ϕ_s permitiéndole su comparación contra aquellas sucursales de mejor desempeño que tienen mayor similitud con sus propias características. En otras palabras, la variable de decisión ϕ_s permite cuantificar la eficiencia relativa para estas. Para lograr este propósito, el modelo se resuelve de forma iterativa de tal forma que se determinan los valores para las variables de decisión λ_s , $s \in S$, que pondera la importancia de cada sucursal $s \in S$ en la determinación de la eficiencia relativa de la sucursal siendo comparada en s [8].

Parámetros

- E_{ji} : Valor de la entrada i cuando se considera la sucursal j
- S_{jo} : Valor de cada una de las salidas o de cada sucursal j .

Variables Para la construcción del modelo se tienen en cuenta las siguientes variables de decisión:

- ϕ_s : Eficiencia de la sucursal s .
- λ_j : ponderador de DMU de referencia que se usa para calcular la eficiencia de cada j

A diferencia del modelo orientado a entradas, en el modelo orientado a salidas se considera la siguiente ecuación: $\theta_s = \frac{1}{\phi_s}$.

$$\text{máx} : \phi_s \quad (8)$$

Sujeto a :

$$\sum_{j \in DMU} E_{ji} \lambda_j \leq E_{si} \quad \forall i \in I \quad (9)$$

$$\sum_{j \in DMU} S_{jo} \lambda_j \geq S_{so} * \phi_s \quad \forall o \in O \quad (10)$$

$$\sum_{j \in DMU} \lambda_j = 1 \quad (11)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j \in DMU \quad (12)$$

$$\phi_s \geq 0 \quad (13)$$

4.3.3. Modelo con Variable de holgura Sea $DMU = \{1, 2, 3 \dots m\}$ el conjunto de unidades de toma de decisión, DMUs, que analizará - para el caso del Banco de Occidente equivalentes a sucursales - se considera el conjunto de entradas, requeridas para la operación de las sucursales, el conjunto $I : \{i_1, i_2, i_3 \dots i_n\}$ denota las entradas del modelo, todo aquello que se requiere como entrada para la operación de las sucursales. Asimismo, el conjunto $O : \{o_1, o_2, o_3 \dots o_k\}$ denota las salidas de la operación, definido en este documento como todo aquello que se desea maximizar [8].

Para cada sucursal o DMU se conocen los consumos de la entrada E_{si} requeridos para su operación. De forma similar, se han identificado los valores para las salidas $o \in O$, denotado, S_{so} por cada sucursal $s \in DMU$.

El modelo DEA con variable de holgura tiene como objetivo determinar, para cada sucursal $s \in DMU$, su eficiencia relativa θ_s permitiéndole su comparación contra aquellas sucursales de mejor desempeño que tienen mayor similitud con sus propias características, permitiendo a través de la variable de holgura identificar las posibilidades potenciales de mejora que tienen cada una de las sucursales, es decir, es posible identificar con cifras cuales son los excesos en gastos o las deficiencias en las salidas que podrían gestionar con miras a hacer más eficiente una sucursal. En otras palabras, la variable de decisión θ_s permite cuantificar la eficiencia relativa para estas. Para lograr este propósito, el modelo se resuelve de forma iterativa de tal forma que se determinan los valores para las variables de decisión λ_s , $s \in S$, que pondera la importancia de cada sucursal $s \in S$ en la determinación de la eficiencia relativa de la sucursal siendo comparada en s [8].

Parámetros

- E_{ji} : Valor de la entrada i cuando se considera la sucursal j
- S_{jo} : Valor de cada una de las salidas o de cada sucursal j .

Variables Para la construcción del modelo se tienen en cuenta las siguientes variables de decisión:

- θ_s : Eficiencia de la sucursal s .
- λ_j : ponderador de DMU de referencia que se usa para calcular la eficiencia de cada j
- S_{+o} : Holgura para las salidas o .

- S^-_i : Holgura para las entradas i .

$$\text{mín} : \theta_s - \epsilon \left(\sum_{o \in O} S_o^+ + \sum_{i \in I} S_i^- \right) \quad (14)$$

Sujeto a :

$$\sum_{j=1}^n E_{ji} \lambda_j - S_i^- = E_{si} * \theta_s \quad \forall i \in I \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^n S_{jo} \lambda_j + S_o^+ = S_{so} \quad \forall o \in O \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (17)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j \in DMU \quad (18)$$

$$S_i^- \geq 0 \quad \forall i \in I \quad (19)$$

$$S_o^+ \geq 0 \quad \forall o \in O \quad (20)$$

$$\phi_s \geq 0 \quad (21)$$

4.3.4. Selección de Datos En concordancia con la revisión de literatura en este trabajo se consideraron tres variables de entrada y tres variables de salida, debido a que en las seis referencias de trabajos similares aplicadas a organizaciones bancarias, existe coincidencia en la selección de variables, en las cuales para la entrada representan todos los costos de operación de cada sucursal o DMU y en las salidas se consideran aquellas variables del proceso que se asocian con la naturaleza de la organización, como lo son el recaudo y colocación de recursos monetarios, directamente relacionado con el volúmenes de transacciones [1], [9]-[13]. Por esta razón se procedió a realizar el levantamiento de información, a través de una solicitud formal al Banco de Occidente, para obtener la información histórica de los años 2018 y 2019, asociada a las 195 sucursales del Banco de Occidente. A continuación se definen las variables que originan los datos seleccionados para desarrollar este proyecto.

Variables de entrada

- Cantidad de cajeros
- Cantidad de funcionarios
- Costos fijos

Variables de salida

- Recaudos
- Pagos
- Cantidad de transacciones

Recursos Informáticos: para ejecutar el análisis envolvente de datos, se trabajo sobre el lenguaje de programación Python, haciendo uso del solucionador de optimización comercial Gurobi, con una licencia académica gratuita. Los experimentos se corrieron en un computador MacBook Air de 4GB de memoria ram.

Para modelar el código de programación construido en Python, utilizado para resolver los tres modelos DEA, se plantean las Figuras 6 7 8 para representar la función objetivo, restricciones, variables y dinámica envolvente de cada uno de los modelos. En estos diagramas también se representa la forma aplicada para comparar cada sucursal o DMU respecto al resto de sucursales del conjunto.

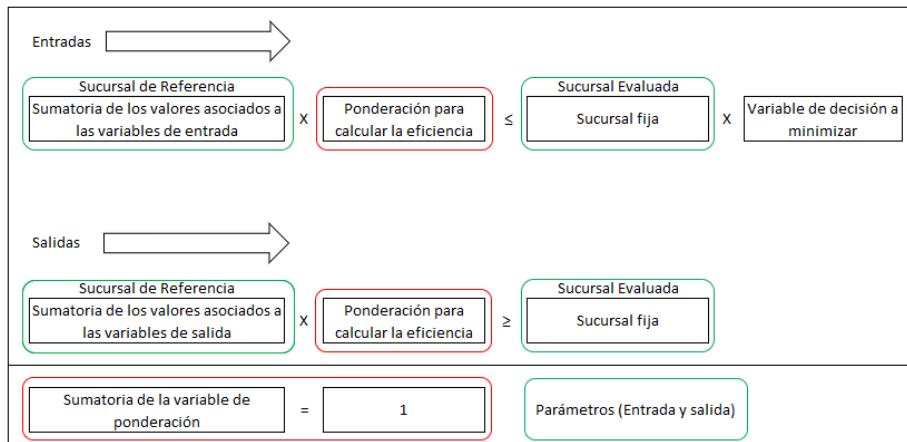


Figura 6. - Modelo DEA orientado a entrada - objetivo minimizar entradas

4.3.5. Cálculo de Eficiencia relativa - Modelos orientados a entradas y salidas en Python

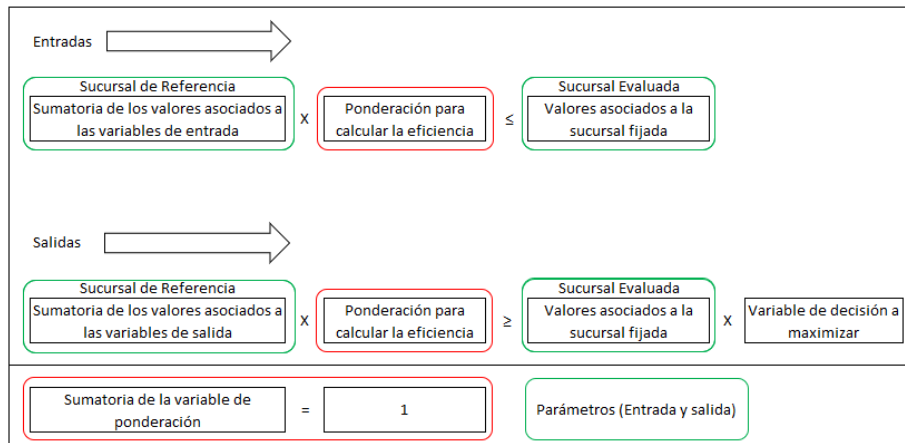


Figura 7. Modelo DEA orientado a salidas - Objetivo maximizar salidas

4.3.6. Cálculo de Eficiencia relativa - Modelo orientado a entrada con Holgura

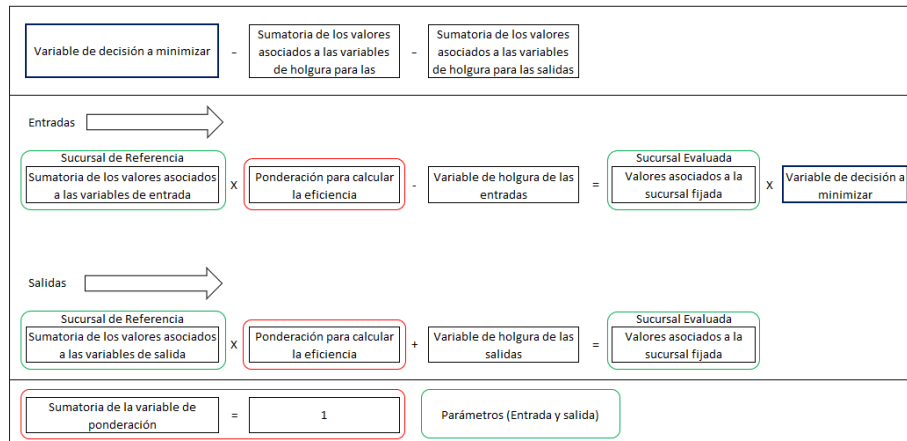


Figura 8. Modelo DEA orientado a entradas con variable de holgura - Objetivo minimizar entradas

5. Pruebas y análisis de resultados

La fase de prueba y análisis de la propuesta, inicia con el cálculo de la eficiencia relativa de cada sucursal o DMU, a través del modelo matemático DEA, para esto se construyeron las líneas de código representando el modelo matemático en el lenguaje de programación Python, proyectando los dos tipos solución y de orientaciones: entrada y Salida. Para ejecutar los modelos se utilizaron los datos de la Tabla 1 que corresponde al promedio anual entre los años 2018 y 2019, donde las variables de costos fijos, recaudos y pagos se presentan en Millones de Pesos (M\$) y las variables Cantidad de cajeros, cantidad de funcionarios y cantidad de transacciones en unidades, obteniendo los resultados de la Tabla 2.

Ejecutados los modelos iniciales, se obtuvo los siguientes resultados representados en la Figura 10 donde, se evidencia la frecuencia de los resultados en comparación por cada tipo de orientación. En la Figura 11 se representa el resultado de la eficiencia técnica, en un gráfico de barras, estos resultados permiten identificar que el modelo orientado a entradas, obtuvo una mayor proporción de sucursales eficientes. Las políticas establecidas en el Banco de Occidente, define que una sucursal es eficiente cuando presenta un nivel de eficiencia calculada, superior al 85 %, en comparación a la medida definida por la organización bancaria, este trabajo demuestra a través de los resultados obtenidos con el modelo orientado a entradas, que solo 81 sucursales de las 195 cumple con esta medida, es decir el 41,53 %, estos resultados se representan en la Tabla 2.

De los resultados obtenidos, se observa que el 97 %, de las oficinas ubicadas en la frontera eficiente, son sucursales principales de cada ciudad o sucursales

Tabla 1. Muestra - Variables de entrada y salida *DEA*

DMU	Cantidad funcionarios	Cantidad cajero	Costos (M\$)	Recaudo fijos (M\$)	Pago (M\$)	Cant. Tx.
1	7	5	1.316	1.321	1.088	200.925
2	3	2	338	1.254	3.935	64.085
3	6	5	502	1.415	6.685	246.181
4	7	3	368	1.991	4.377	85.807
5	4	2	247	1.710	197	71.986
6	3	1	303	2.032	1.349	45.618
7	5	2	489	3.247	1.110	137.853
8	5	3	341	5.187	4.046	78.119
9	6	3	300	1.126	6.415	100.367
10	3	3	632	3.293	2.907	186.262
11	3	3	430	8.400	5.050	95.815
12	4	3	492	49	2.199	168.233
13	3	2	320	4.903	5.080	91.404
14	2	2	465	2.894	4.836	92.262
15	3	3	580	156	1.111	154.410
16	3	3	350	9.220	1.625	103.259
17	4	3	438	4.901	8.142	116.446
18	5	4	220	1.341	1.386	146.634
19	5	4	679	7.704	1.014	114.613
20	2	2	247	1.450	5.786	58.367

Tabla 2. Muestra - Eficiencia técnica

ID Sucursal	Eficiencia - Salidas	Eficiencia - Entrada
1	0,81	0,65
2	0,63	0,70
3	1,00	1,00
4	0,60	0,64
5	0,73	0,86
6	0,79	0,94
7	1,00	1,00
8	0,63	0,71
9	0,76	0,80
10	1,00	1,00
11	0,93	0,84
12	0,96	0,96
13	0,96	0,97
14	0,82	0,81
15	0,85	0,83
16	1,00	1,00
17	0,90	0,85
18	1,00	1,00
19	0,78	0,62
20	0,81	0,85

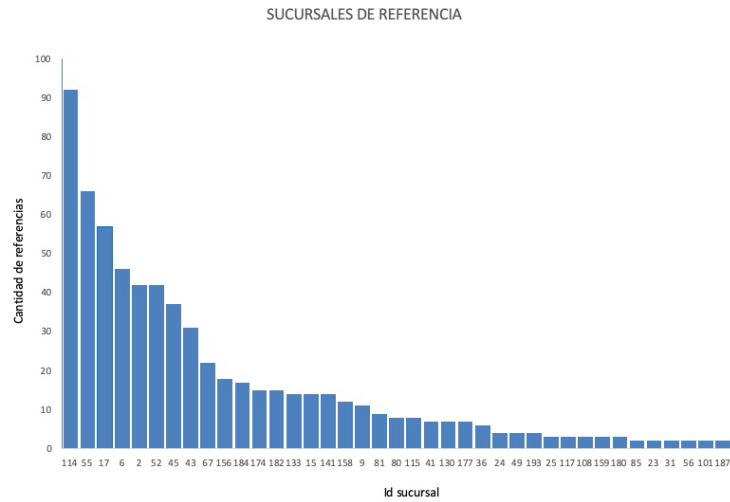


Figura 9. Gráfico de barras

Tabla de Frecuencia

Rango Eficiencia	Modelo Orientado Entrada	Modelo orientado Salidas
75% - 100%	126	124
50% - 75%	60	65
25% - 50%	9	6

Figura 10. Tabla de frecuencia

ubicadas dentro de centros comerciales o en plazas consideradas de alto tráfico, donde la mayoría ofrecen al público horarios extendidos o jornadas continuas.

De las 81 sucursales ubicadas en la frontera eficiente, 20 de ellas están ubicadas en la ciudad de Bogotá, 17 en la Ciudad de Cali, 5 en la ciudad de Medellín, 4 y 3 ubicadas en los distritos de Cartagena y Barranquilla respectivamente, las 32 sucursales restantes son oficinas principales de cada ciudad, esta información se proporciona en las Tablas 3 y 4.

La dispersión calculada entre los modelos de entrada y salida se representan en la Figura 12, donde las variaciones particulares de cada DMU originadas en cada orientación del modelo se representan en la Figura 13.

Como segunda fase de la ejecución es necesario evaluar cada variable de entrada y salida, a través de las variables de holgura, dado que es posible obtener los porcentajes en que cada una de las comparaciones del conjunto de referencia contribuye a los valores objetivo de éstas. Esta información resulta de utilidad, puesto que a través de dichos porcentajes se pone de manifiesto la mayor o menor importancia que cada variable de salida o entrada representa para las unidades ineficiente, en algunos textos se le conoce a esta práctica como análisis envolvente de datos aplicado al *benchmarking*, una muestra de los resultados obtenidos se encuentran disponibles en la Tabla 5.

Tras el análisis mediante DEA con holgura, se identificó que de las 195 sucursales Bancarias, 114 podrían mejorar su eficiencia manteniendo constantes los niveles de entradas. La eficiencia promedio encontrada para la sucursales es de 74,41 %, según esta medida solo el 49,7 % de las sucursales se encuentran por encima de este valor promedio. No obstante, esta medida es simplemente una guía útil a efectos de comparación. Esta información sirve como medida para los directivos que deben aumentar sus productos o disminuir sus insumos para ser más eficientes.

Es posible observar que la sucursal que mas sirve de referencia a otras unidades es la 114 con un 41,17 % de sucursales comparadas en ella, seguida de las sucursales 55 y 17 con un 33,84 % y 29,23 % de diferencia respectivamente, esta información se detalla en la Tabla y Figura 69 .

Tabla 3. Localización de sucursales eficientes

Ciudad de localización	Cantidad sucursales eficientes
Bogotá	20
Cali	17
Medellín	5
Cartagena	4
Barranquilla	3
Pereira	2
Popayan	2
Santa Marta	2
Manizales	2
Neiva	2
Santander De Quilichao	1
Rionegro	1
Tulua	1
Ibague	1
San Andres	1
La Victoria	1
Sogamoso	1
Buenaventura	1
Riohacha	1
Valledupar	1
Sabaneta	1
Yumbo	1
Floridablanca	1
Bucaramanga	1
Siberia	1
Palmira	1
Soledad	1
Cartago	1
Giron	1
Florencia	1
Barrancabermeja	1
Mosquera	1

Tabla 4. Muestra sucursales eficientes

Código sucursal	Nombre Suc	Ciudad Suc	Eficiencia calculada
202	Ricaurte	Bogotá	1,00
220	Barrio Restrepo	Bogotá	1,00
221	Salitre	Bogotá	1,00
236	La Salle	Bogotá	1,00
260	Calle 94	Bogotá	1,00
261	Avenida 82	Bogotá	1,00
267	Cedritos	Bogotá	1,00
508	Soacha	Bogotá	1,00
520	Autopista 108	Bogotá	1,00
295	Calle 80	Bogotá	0,98
215	Porciuncula	Bogotá	0,98
240	San Martin	Bogotá	0,96
535	Calle 147	Bogotá	0,94
242	Pepe Sierra	Bogotá	0,93
524	Centro Comercial Santafe	Bogotá	0,93
253	Zona Industrial	Bogotá	0,90
250	Avenida 19	Bogotá	0,89
278	Marly	Bogotá	0,88
531	Calle 153	Bogotá	0,87
248	Bulevar Niza	Bogotá	0,86
10	Plaza Caycedo	Cali	1,00
16	Avenida Sexta	Cali	1,00
19	Chipichape	Cali	1,00
27	Avenida Estacion	Cali	1,00
45	Unicentro Cali	Cali	1,00
77	Avenida Roosevelt	Cali	1,00
89	Extensión De Caja U. Javeriana	Cali	1,00
113	Imbanaco	Cali	1,00
75	Centenario	Cali	0,97
22	Centro Comercial Unico	Cali	0,96
23	Pasoancho	Cali	0,96
21	Carrera 15 - Cali	Cali	0,93
42	Ciudad Jardin	Cali	0,92
29	Avenida Tercera Norte	Cali	0,90
73	Santa Monica	Cali	0,88
111	Palmetto	Cali	0,85
25	Cosmocentro	Cali	0,85

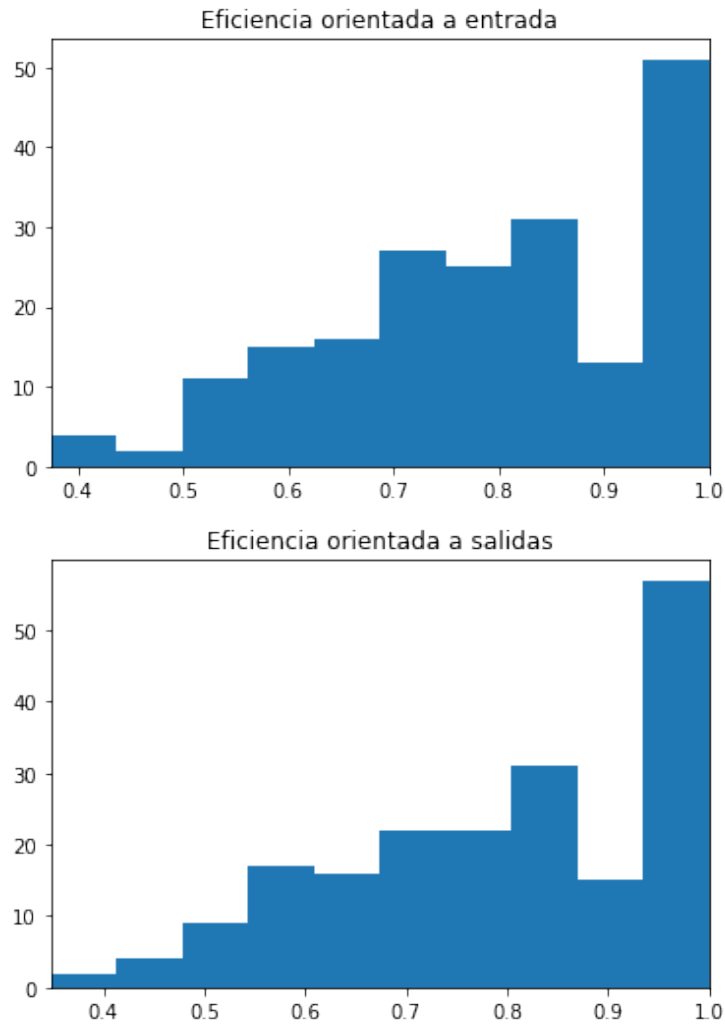


Figura 11. Diagrama de barras - Eficiencia

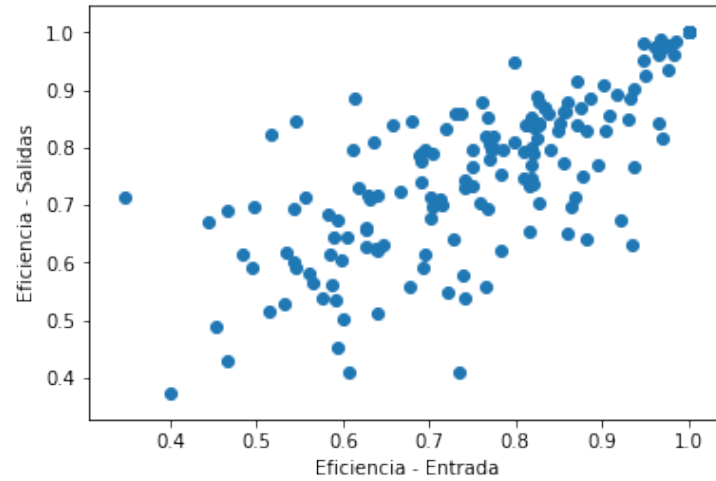


Figura 12. Diagrama de Dispersión - Modelo de entrada y salida

Modelo orientado a entradas - Eficiencia relativa			
Nombre Rango	Rango	Cant. de sucursales	Total Cant. Rango
A	75% - 100%	108	126
		18	
B	50% - 75%	15	60
		42	
		3	
C	25% - 50%	6	9
		3	

Modelo orientado a salidas - Eficiencia relativa			
Nombre Rango	Rango	Cant. de sucursales	Total Cant. Rango
A	75% - 100%	107	124
		17	
B	50% - 75%	16	65
		43	
		6	
C	25% - 50%	3	6
		3	

Figura 13. Tabla de Dispersión - Modelo de entrada y salida

Tabla 5. Muestra - Variable de holgura para numero de funcionarios

ID Sucursal	Eficiencia	Obj Holgura	N func
1	1,00	0,00	
2	0,63	0,30	
3	1,00	0,00	
4	0,61	2,12	
5	1,00	0,00	
6	0,71	1,30	
7	1,00	0,00	
8	0,63	1,02	
9	0,77	2,14	
10	1,00	0,00	
11	0,83	0,00	
12	1,00	0,00	
13	0,95	0,47	
14	0,82	0,00	
15	1,00	0,00	
16	1,00	0,00	
17	0,85	0,62	
18	1,00	0,00	
19	0,69	0,00	
20	0,85	0,00	

Se observa de los resultados que un 31,28% de las sucursales pueden tener mejoras potenciales en el número de funcionarios, 14,87% de las sucursales podrían mejorar su eficiencia mejorando la capacidad establecida para los cajeros y un 34,1% en la gestión correcta de los costos operativos fijos. De igual forma para el caso de las salidas es posible observar que un 82,05% de las sucursales presentan deficiencias en el nivel de recaudo y pagos, un el 63,07% presentan oportunidades en el nivel de transacciones procesadas. A través de estos resultados es posible definir una propuesta de mejoramiento detallada para cada tipo de sucursal.

Tabla 6. Muestra - Sucursales de referencia

ID Sucursal	Ponderación	Sucursal referenciada
1	0,97	2
1	0,02	174
2	0,44	55
2	0,41	45
2	0,05	114
2	0,04	6
2	0,04	52
3	1,00	2
4	0,47	55
4	0,23	114
4	0,17	6
4	0,06	2
4	0,05	17
5	0,53	45
5	0,26	17
5	0,10	6
5	0,09	156

Para la decisión de futuras implementaciones de sucursales, se propone en este trabajo el siguiente procedimiento descrito en la figura 14, el cual incluye la herramienta Análisis envolvente de datos para apoyar la decisión, aplicada a datos estimados de la una nueva sucursal. Con este procedimiento se espera comparar la nueva sucursal con otras de igual características que se ubiquen en la frontera eficiente.

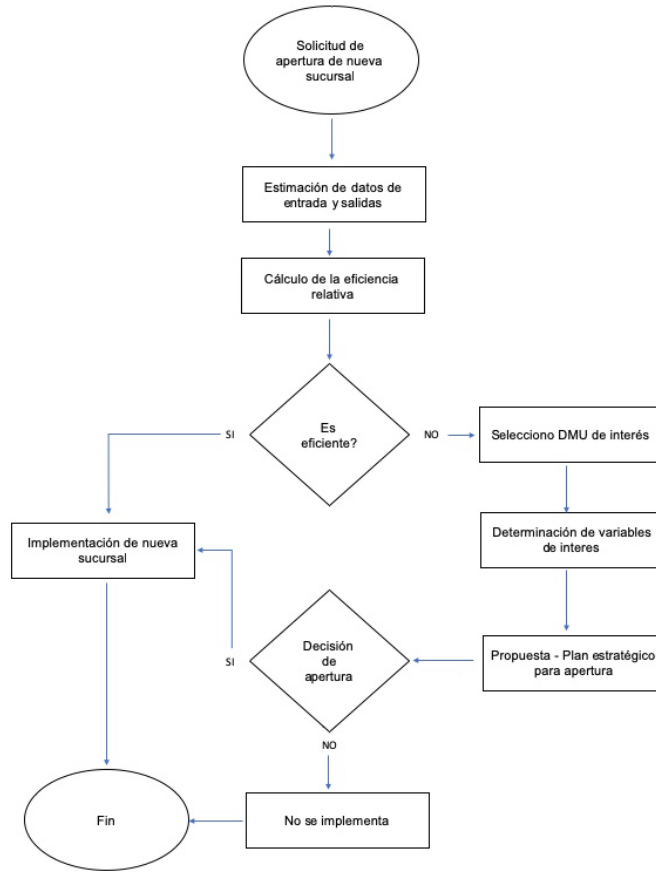


Figura 14. Diagrama de decisión propuesto para las aperturas de sucursales

6. Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo inicialmente sirvió para conocer la eficiencia de cada sucursal del Banco de Occidente, basado en un modelo matemático diseñado con DEA. Los resultados permiten establecer una especie de clasificación basada en la eficiencia, de tal forma que aquellas sucursales con mejores resultados sean una referencia para las que no lo son, adicional que esta propuesta podría representarse como una herramienta disponible para implementar en el proceso de decisiones realizado por el comité de red física, perteneciente a la vicepresidencia de servicios del Banco de Occidente.

El Análisis Envolvente de Datos al ser una técnica de evaluación comparativa, permite que los puntajes de eficiencia brindan información sobre la capacidad de una empresa para mejorar la producción. En este sentido, este trabajo a través de modelos matemáticos planteados, ofrece un fuerte apoyo a la toma de decisiones y permite llevar a cabo un análisis de eficiencia al igual que interpretar los resultados.

Conocer alternativas de cómo mejorar los resultados de una red de sucursales físicas, al demostrar e identificar aquellas variables de entrada o salida que deberían ser abordadas en cada DMU evaluada, permitiendo así un esquema dinámico de mejoramiento continuo al evaluar resultados de manera periódica. La herramienta es una alternativa de uso que puede emplearse en la definición de criterios para la localización de nuevas oficinas, estimando los datos de cada variable de entrada y salida, para después realizar un *benchmarking* en relación con las DMU eficientes.

Como aporte a la problemática general de las organizaciones, en el presente trabajo se muestra la alternativa para apoyar decisiones, que podría ser implementada en diferentes tipos de organizaciones que compartan las características del problema de decisión abordado en este proyecto. También es importante destacar que este trabajo podría considerarse como una línea guía para realizar futuros proyectos de aplicación que permitan el fortalecimiento de otros tipos de decisiones en la entidad estudiada.

Bibliografía

- [1] A. E. LaPlante y J. C. Paradi, “Evaluation of bank branch growth potential using data envelopment analysis”, *Omega (United Kingdom)*, vol. 52, págs. 33-41, 2015, ISSN: 03050483 (vid. págs. 9, 10, 13, 14, 24).
- [2] (2020). Comunicados de prensa — superfinanciera.gov.co, dirección: <https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/10102692> (visitado 08-06-2020) (vid. pág. 9).
- [3] R. Zanjirani, M. Steadieseifi y N. Asgari, “Multiple criteria facility location problems : A survey”, *Applied Mathematical Modelling*, vol. 34, n.º 7, págs. 1689-1709, 2010, ISSN: 0307-904X (vid. pág. 9).
- [4] A. Emrouznejad y G. liang Yang, “A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016”, *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 61, págs. 4-8, 2018, ISSN: 00380121 (vid. págs. 9, 13).
- [5] M. J. Farrell, “The Measurement of Productive Efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society.*, vol. Vol. 120, 1957 (vid. págs. 9, 13, 15-18).
- [6] E Charnes & Cooper, “Measuring the efficiency of decision making units”, *European Journal of Operational Research*, vol. 2, n.º 6, págs. 429 -444, 1978 (vid. págs. 9, 17, 18).
- [7] A. N. Berger y D. B. Humphrey, “Efficiency of financial institutions: International survey and directions for future research”, *European Journal of Operational Research*, vol. 98, n.º 2, págs. 175 -212, 1997, ISSN: 0377-2217 (vid. pág. 9).
- [8] F. H. Lotfi, G. R. Jahanshahloo, M Khodabakhshi y Z Moghaddas, “A Review of Ranking Models in Data Envelopment Analysis”, *journal of applied mathematics*, vol. 2013, 2013 (vid. págs. 10, 15, 21-23).
- [9] C. Schaffnit, D. Rosen y J. C. Paradi, “Best practice analysis of bank branches: An application of DEA in a large Canadian bank”, *European Journal of Operational Research*, vol. 98, n.º 2, págs. 269-289, 1997, ISSN: 03772217 (vid. págs. 10, 13, 24).
- [10] T. Y. Lin y S. H. Chiu, “Using independent component analysis and network DEA to improve bank performance evaluation”, *Economic Modelling*, vol. 32, n.º 1, págs. 608-616, 2013, ISSN: 02649993 (vid. págs. 10, 13, 24).

- [11] J. C. Paradi, S. Rouatt y H. Zhu, “Two-stage evaluation of bank branch efficiency using data envelopment analysis”, *Omega*, vol. 39, n.º 1, págs. 99-109, 2011, ISSN: 03050483 (vid. págs. [10](#), [12](#), [13](#), [24](#)).
- [12] I. Řepková, “Efficiency of the Czech Banking Sector Employing the DEA Window Analysis Approach”, *Procedia Economics and Finance*, vol. 12, n.º March, págs. 587-596, 2014, ISSN: 22125671 (vid. págs. [10](#), [24](#)).
- [13] M. Seffino y D. Hoyos Maldonado, “Eficiencia bancaria en Argentina. Comportamiento de los bancos entre 2005 y 2013”, *Estudios Gerenciales*, vol. 32, n.º 138, págs. 44 -50, 2016, ISSN: 0123-5923 (vid. págs. [10](#), [24](#)).
- [14] A. N. Berger, “International Comparisons of Banking Efficiency”, *Financial Markets, Institutions Instruments*, vol. 16, n.º 138, págs. 119 -144, 2007, ISSN: 0123-5923 (vid. pág. [12](#)).
- [15] A. Weber, “De la localisation industrielle. Première partie : la théorie pure de la localisation. (Avant-propos de 1909 et introduction)”, *Géographie Économie Société*, vol. 4, n.º 3, págs. 363 -376, 2002, ISSN: 1295-926X (vid. pág. [12](#)).
- [16] S. L. Hakimi, “Analysis and design of communication networks with memory”, *Journal of the Franklin Institute*, vol. 287, n.º 1, págs. 1-17, 1969 (vid. pág. [12](#)).
- [17] M. D. Fethi y F. Pasiouras, “Assessing bank efficiency and performance with operational research and artificial intelligence techniques: A survey”, *European Journal of Operational Research*, vol. 204, n.º 2, págs. 189 -198, 2010, ISSN: 0377-2217 (vid. pág. [12](#)).
- [18] H. David Sherman y Franklin Gold, “Eficiencia operativa de la sucursal bancaria. Evaluación con análisis de envoltura de datos”, *Journal of Banking & Finance*, vol. 9, n.º 2, págs. 297-315, 1985 (vid. pág. [13](#)).
- [19] R. Khorramshahgol y A. Okoruwa, “A goal programming approach to investment decisions: A case study of fund allocation among different shopping malls”, *European Journal of Operational Research*, vol. 73, n.º 1, págs. 17 -22, 1994, ISSN: 0377-2217 (vid. pág. [15](#)).
- [20] R. H. Ballou, *Logística : administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación, 2004, ISBN: 9702605407 (vid. pág. [16](#)).