

**COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS BANCOS DE SANGRE EN
COLOMBIA USANDO ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS**

**JUAN DAVID OBANDO HURTADO
WILFER STIVEN AGUADO OBANDO**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
NOVIEMBRE 2018**

**COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS BANCOS DE SANGRE EN
COLOMBIA USANDO ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS**

**JUAN DAVID OBANDO HURTADO
WILFER STIVEN AGUADO OBANDO**

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

**Director proyecto
ANDRÉS FELIPE OSORIO**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
NOVIEMBRE 2018**

Contenido

| | |
|--|-----|
| Resumen | |
| Introducción | |
| Contexto | 10 |
| Justificación | 11 |
| Formulación del Problema | 12 |
| 1 Objetivos | 14 |
| 1.1 Objetivo del Proyecto | 14 |
| 1.2 Objetivos Específicos | 14 |
| 1.3 Entregables | 14 |
| 2 Marco de Referencia | 14 |
| 2.1 Antecedentes o Estudios Previos | 14 |
| 2.2 Marco Teórico | 16 |
| 2.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto | 19 |
| 3 Metodología | 20 |
| 4 Resultados | 21 |
| 5 Resultados obtenidos de los modelos | 31 |
| 5.1 Discusión | 33 |
| 5.2 Conclusiones | 34 |
| 5.3 Recomendaciones | 399 |
| BIBLIOGRAFÍA | 422 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| 1. Diagrama causal para la formulación del problema. | 12 |
| 2. Arquitectura del modelo DEA en Excel. | 28 |
| 3. Código de la macro usada. | 29 |
| 4. Distribución geográfica de las regiones según su categoría (orientado a entradas) | 36 |
| 5. Distribución geográfica de las regiones según su categoría (orientado a salidas). | 38 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Modelos DEA | 17 |
| Tabla 2. Tabla de variables de entrada. | 22 |
| Tabla 3. Tabla de variables de entrada finales | 24 |
| Tabla 4. Tabla de variables de salida. | 24 |
| Tabla 5. Variables de salida finales. | 25 |
| Tabla 6. Variables de entrada relacionadas en las configuraciones | 26 |
| Tabla 7. Variables de salida relacionadas en las configuraciones | 27 |
| Tabla 8. Tabla de ecuaciones de los modelos CCR. | 30 |
| Tabla 9. Tabla de resultados modelo CCR orientado a entradas. | 31 |
| Tabla 10. Tabla de resultados modelo CCR orientado a salidas. | 32 |
| Tabla 11. Resumen de los resultados obtenidos. | 38 |

Lista de ecuaciones

| | |
|--|----|
| 1. Eficiencia del modelo CCR orientada a salidas. | 17 |
| 2. Restricción No.1 del modelo CCR orientada a salidas. | 17 |
| 3. Restricción No.2 del modelo CCR orientada a salidas. | 17 |
| 4. Restricción No.3 del modelo CCR orientada a salidas. | 17 |
| 5. Eficiencia del modelo CCR orientada a entradas. | 17 |
| 6. Restricción No.1 del modelo CCR orientada a entradas. | 17 |
| 7. Restricción No.2 del modelo CCR orientada a entradas. | 17 |
| 8. Restricción No.3 del modelo CCR orientada a entradas. | 17 |
| 9. Eficiencias de los modelos | 28 |
| 10. Función objetivo del modelo a entradas. | 30 |
| 11. Restricción No.1 del modelo a entradas. | 30 |
| 12. Restricción No. 2 del modelo a entradas. | 30 |
| 13. Función objetivo del modelo a salidas. | 30 |
| 14. Restricción No. 1 del modelo a salidas. | 30 |
| 15. Restricción No. 2 del modelo a salidas. | 30 |
| 16. Restricción No. 3 del modelo CCR. | 30 |

Lista de anexos

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Regiones de Colombia involucradas en el estudio | 40 |
| Anexo 2. Matriz de correlación de variables de entrada. | 41 |
| Anexo 3. Matriz de correlación de variables de salida. | 41 |

Resumen

El presente proyecto logró caracterizar el desempeño de los bancos de sangre en Colombia agrupados por regiones. Esta caracterización se realizó mediante la aplicación del modelo de análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés), con el objetivo determinar y comparar la eficiencia de los hemocentros. En este proyecto se hizo uso del modelo DEA CCR (Charnes, Cooper y Rhodes, 1978), con el que se determinó las eficiencias de las regiones. El modelo CCR permitió analizar las regiones, mediante en dos enfoques diferentes del modelo: orientados a entradas y orientados a salidas.

El modelo orientado a entradas busca tener mayor número de hemocomponentes, a partir de la misma cantidad de entradas. Mientras que, el modelo orientado a salidas, busca cumplir con la demanda actual de hemocomponentes, reduciendo la cantidad de entradas del banco de sangre. Con base a los resultados obtenidos de los modelos, se clasificaron las regiones en 5 categorías, dependiendo de su eficiencia técnica promedio. En rasgos generales, se encontró que existen 2 regiones de Colombia con una eficiencia de 100% (Arauca y Bogotá), es decir que se encuentran en la categoría 1; y 3 regiones (Antioquia, Valle y Casanare) con eficiencias menores al 70% lo cual las ubica en la categoría 5; las demás regiones (19) se encuentran distribuidas a lo largo de las categorías de clasificación (2,3 y 4).

Es importante mencionar que en el estudio se tuvieron en cuenta 24 regiones de Colombia, tomando a Bogotá como una región independiente de Cundinamarca por sus características demográficas. Además, dado que los modelos DEA hacen uso de variables tanto, de entrada, como de salida, por medio de un análisis de la información recolectada, se decidió hacer uso de 4 variables de entrada y 3 variables de salida, para cada una de las regiones. Las variables de entrada fueron: inversión pública en salud, coeficiente cultura de donación, donantes atendidos y el gasto asociado a la producción de los hemocomponentes. Por otro lado, las variables de salida responden a: el porcentaje de aceptación de donantes, hemocomponentes obtenidos y las incineraciones realizadas. Por último, para la determinación de las variables, se hizo uso del informe anual de bancos de sangre, estadísticas del DANE, ministerio de salud, entre otros documentos.

Palabras claves: DEA, eficiencia técnica, regiones del país, categorías, Variables de entradas y salidas.

Introducción

El presente trabajo hace uso de la metodología Análisis Envolvente de Datos por sus siglas en inglés DEA, en el contexto de la red nacional de sangre en Colombia del año 2017, compuesta por 81 bancos de sangre. Lo anterior, con la intención de determinar las eficiencias técnicas de los bancos de sangre a lo largo del país. Y así, poder identificar las regiones que más destacan. El modelo DEA usado fue el modelo CCR orientado a salidas y a entradas.

Para poder llevar a cabo la metodología DEA, es necesario tener un listado de variables de entradas y salidas de cada unidad productiva, como lo son en este caso, cada región del país. Así pues, las principales fuentes de información acerca de los bancos de sangre a las cuales se recurrió, son: el Informe Anual Red Sangre, el Dane y el ministerio de salud. Con las que se obtuvo una matriz de información robusta acerca de los bancos, para así lograr un cálculo confiable de sus desempeños.

Contexto

La donación de sangre es un proceso complejo, está bajo la influencia de diferentes variables que impactan directamente en él. Estas pueden ser aspectos económicos, educación, movilidad, entre muchas otras que afectan los niveles de donación. Este proceso inicia con una encuesta que se le aplica al posible donante, en busca de confirmar si es una persona apta para la donación de sangre, o no. Posteriormente, se realiza un examen de sangre para determinar su estado y evitar la sangre infectada de diferentes enfermedades. Una vez se confirma si el donante es diferido o no, es decir rechazado, se procede a la extracción del fluido sanguíneo. Esta extracción se puede realizar por dos diferentes métodos: aféresis o sangre total.

La donación por sangre entera o sangre total, es la más común, en esta se extrae una unidad de sangre (500 mL) con todos sus componentes. Esta unidad está conformada por 470 mL de sangre y 30 mL de anticoagulante-conservante para un total de 500 mL (Transplant, 2018). A partir de una unidad de sangre se obtienen cuatro principales hemocomponentes: glóbulos rojos, plaquetas, plasma fresco congelado y crioprecipitado. Por otro lado, está la aféresis, la cual es una donación automatizada. Este tipo de donación permite donar uno o más componentes específicamente, por medio de equipos especializados que reciben la sangre, extraen los hemocomponentes de interés y envían la sangre resultante de nuevo al donante.

Una de las principales ventajas de la aféresis es que permite donar más regularmente, pues los componentes extraídos se recuperan de una forma más rápida que por la donación por sangre total, en una semana se recuperan los hemocomponentes extraídos. Además, mejora el rendimiento de la donación. Debido a que, por ejemplo, con las plaquetas provenientes de una donación son suficientes para una transfusión. En contraste, por sangre total, para una transfusión de plaquetas se necesitan las plaquetas provenientes de 5 o 6 donaciones diferentes. A su vez la donación por aféresis posee cuatro diferentes tipos de donación según su hemocomponente objetivo. La plasmaféresis se usa para colectar el plasma; plaquetoaféresis usada para captar las plaquetas; se aplica la eritroaféresis cuando se desea atraer glóbulos rojos y el multicomponente cuando se desea obtener diferentes componentes (Centro Regional de Transfusión Sanguínea de Granada y Almería, n.d.)

Para el caso de Colombia, en el año 2017, se captaron en total 830.291 unidades de sangre total y 46.020 donaciones por aféresis a partir de 1.003.314 donantes potenciales en 81 bancos de sangre (Instituto Nacional de Salud, 2018). En Colombia existía una proyección de población total de 32'540.011 personas aptas para donar para el 2017. Para ese año con las donaciones realizadas y la población apta para donar proyectada se tuvo un promedio nacional de donaciones de 25,5/1.000 habitantes. Según la Organización Mundial de la Salud (2017), esta cifra generó que Colombia se posicionara dentro del grupo de países que representa el 27,2% del global con captaciones de hemocomponentes mayores a 25 unidades

por 1.000 habitantes. En este estudio Colombia se posicionó en el puesto 49 de 180 países analizados (World Health Organisation, 2017).

Ahora bien, La cadena de suministro de sangre en Colombia sigue un modelo descentralizado. Cada región cuenta con diferentes metodologías de trabajo y tipos de bancos de sangre, incluyendo públicos, privados, militares etc. Además, no existe una política de recolección y procesamiento de componentes sanguíneos estandarizados, cada región toma sus decisiones de forma empírica. Anualmente y gracias al sistema de información que se maneja en la Red Nacional de Bancos de Sangre y Servicios de Transfusión, se recogen diversas variables que permiten realizar análisis de los indicadores que representan interés para la cadena de procesos transfusionales y bancos de sangre.

De acuerdo SANGRE Y SERVICIOS DE TRANSFUSIÓN, INSTITUTO NACIONAL DE SALUD (2018) existen, para el año 2017, 81 bancos de sangre que se encuentran distribuidos en diferentes regiones del país. Además, existen 588 servicios de transfusión que requieren inscripción ante las entidades territoriales, encargadas de realizar las visitas de habilitación y la posterior inscripción.

Justificación

La cadena de suministro de sangre en Colombia cuenta con 81 bancos de sangre existentes, compuestos por: 30 públicos, 43 privados, 6 cruz roja y 2 de las fuerzas militares (Instituto Nacional de Salud, 2018). Como se mencionó anteriormente, Colombia cuenta con un modelo de la cadena de suministro de sangre descentralizado. Osorio, Brailsford, Smith y Blake (2018), afirman que este modelo es más costoso e ineficiente, debido a que es más costoso sostener una gran cantidad de bancos de sangre en contraste con los costos de desplazamiento de una cantidad reducida de los mismos. Además, un sistema descentralizado reduce los desperdicios. Lo anterior se traduce en un sistema que actualmente se encuentra en serios problemas, por la falta de hemocomponentes, para suplir la demanda que afronta el país. Hoy por hoy, la falta de una caracterización que permita determinar cuáles de las regiones, por los bancos que la componen, son las más eficientes, impide un estudio que pueda proponer modelos de mejora a partir de un benchmarking de aquellos hemocentros más eficientes para así emular sus metodologías en las demás entidades a nivel nacional.

En busca de lo anterior se realiza una aplicación de diferentes modelos de Análisis Envolvente de Datos, en inglés Data Envelopment Analysis (DEA) y un análisis de resultados obtenidos a partir de dichos modelos. Esta herramienta permite determinar las regiones que destacan en la producción de hemocomponentes y de esta forma iniciar un proceso de mejoramiento. Este mejoramiento se logra una vez se identifican los bancos que sobresalen en su labor y los que no, de esta forma aquellos que poseen una capacidad productiva baja, pueden aplicar las mejores

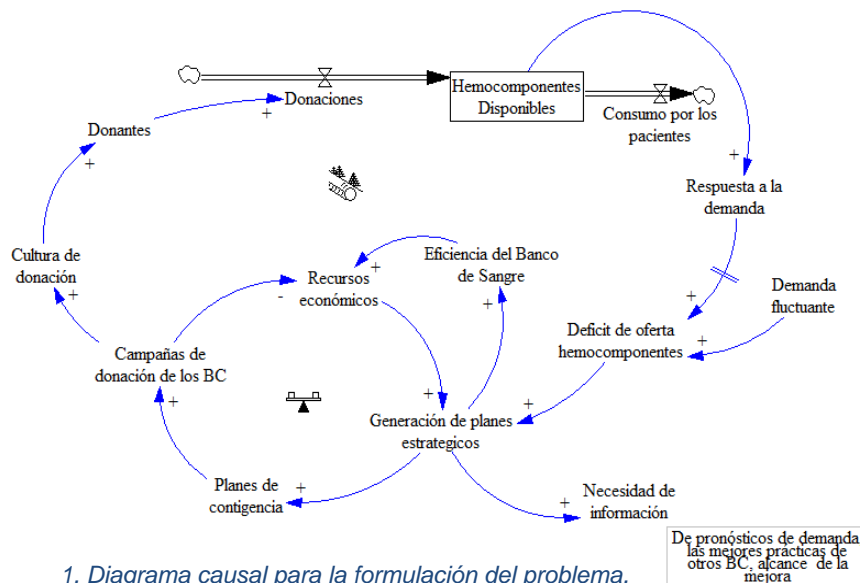
prácticas de los que poseen una productividad más alta para así mejorar sus procesos.

La importancia que reside en este tema es indudable, debido al carácter vital que tiene las unidades de sangre o los hemocomponentes que se obtiene de ellas para salvar la vida y/o mejorar la condición de vida de muchas personas. En este orden de ideas, el proyecto propone una herramienta de análisis y comparación que permita un futuro mejoramiento, a partir de la aplicación de benchmarking, de los hemocentros. Brindando de esta forma una herramienta base que busque aumentar las eficiencias de los bancos de sangre para que, así, puedan responder de una mejor forma a la demanda de transfusiones, mejorando la calidad de vida de los pacientes que requieran los hemocomponentes, salvando vidas de quién los necesite, representando un progreso a nivel nacional de la cadena de suministro de sangre en el país colombiano.

Formulación del Problema

La falta de un análisis comparativo entre los 81 bancos de sangre a nivel nacional, en términos de eficiencia (basada en los hemocomponentes obtenidos, a partir de las unidades de sangre recolectadas a través de la donación sangre total u otras técnicas como la aféresis), no permite identificar los hemocentros que más destacan, lo que impide llevar a cabo un proceso de análisis de los mismos. Además, dificulta generar planes estratégicos dirigidos a bancos de sangre menos eficientes, para mejorar el abastecimiento de la red de sangre a nivel nacional.

A continuación, se presenta un diagrama causal donde se representa la dinámica del sistema del proceso de donación de sangre, involucrando las variables que afectan la oferta de los hemocomponentes por parte de los bancos de sangre.



El planteamiento del problema parte de los donantes como variable, que afecta a los hemocomponentes disponibles que fueron obtenidos por parte de los bancos de sangre. Finalmente, los hemocomponentes serán consumidos por los pacientes en los centros asistenciales que lo requieran, es decir, se está cumpliendo con la demanda de sangre. Ahora bien, cumplir con la demanda de los centros asistenciales provoca que a la larga haya un déficit de oferta de los hemocomponentes, pues es necesario reponer las unidades que se gastan, lo anterior sumado a la demanda fluctuante a nivel nacional, agrava el déficit de hemocomponentes. Por lo cual, se aumentan los planes estratégicos por parte de los bancos de sangre y entidades gubernamentales que ayuden con ésta situación. Esta colaboración se presta por medio de planes de contingencia tales como campañas de donación en las ciudades, que buscan incentivar la cultura de la donación para aumentar el número de donantes. Esto a su vez significa un gasto, es decir representa una disminución de los recursos económicos con los que cuentan los bancos de sangre.

La generación de planes estratégicos es vital para aumentar la eficiencia de los bancos de sangre, de esta forma se generan pautas para un mejor uso de los recursos económicos y en general, aumentar la eficiencia del banco de sangre. Es importante resaltar que, para la generación de los planes estratégicos para los bancos de sangre, es necesario fuentes de información que permitan caracterizar el contexto en el que se encuentran los bancos. Así como también sus necesidades de demanda y cómo es su comportamiento a lo largo del tiempo. Otro concepto importante es la caracterización de las buenas prácticas de otros centros de donación que se destaquen por su eficiencia, para así llevar a cabo una comparación que apunte a una mejora estructural y metodológica de la red de sangre nacional.

1 Objetivos

1.1 Objetivo del Proyecto

Aplicación del método de análisis envolvente de datos para la determinación y comparación de las eficiencias de los bancos de sangre de las diferentes regiones del país colombiano.

1.2 Objetivos Específicos

1. Recolección, análisis y determinación de variables con el uso de la información pública disponible de las regiones del país sobre los bancos de sangre.
2. Formulación y análisis de diferentes modelos DEA (2).
3. Análisis de resultados obtenidos de los diferentes modelos y conclusiones.

1.3 Entregables

1. Información recolectada y tratada acerca de los bancos de sangre y listado de variables para el modelo.
2. Formulación matemática y programación en Excel de los modelos DEA (2).
3. Resultados obtenidos de los modelos, análisis, conclusiones y recomendaciones.

2 Marco de Referencia

2.1 Antecedentes o Estudios Previos

En el artículo de Veiola, Kekoma, Linna, Sintonen y Aroviita (2008) los autores aplicaron la metodología DEA, para analizar la eficiencia relativa de 13 bancos de sangre en países europeos, los datos que se usaron de los diferentes hemocentros, van desde el año 2000 al 2002. En éste trabajo se ejecutaron dos modelos diferentes, que difieren en sus entradas, en el primer modelo se empleó como input, las horas de trabajo registradas de los trabajadores de nómina de cada banco de sangre, y en el segundo modelo, se usó el costo estimado en el que incurrió cada banco de sangre para su funcionamiento. El costo estimado calculado por los autores, permitió determinar el potencial de ahorro de producción de cada banco, así como el costo unitario de los hemocomponentes y el costo en el que se incurre

cuando se lleva a cabo la incineración de los mismos. En ambos modelos, los hemocomponentes producidos por el banco (glóbulos rojos y plaquetas), son considerados como los inputs del sistema. En conclusión, en esta investigación se logró determinar una diferencia sustancial, en la eficiencia de cada banco de sangre con base a los dos modelos estudiados. Es importante añadir que ambos modelos DEA aplicados, son orientados a la salida, debido a que se quería analizar cuáles eran los inputs mínimos, necesarios para cumplir con el nivel de producción, que va ligado de manera directa a la demanda de los centros asistenciales que hacen uso de los hemocomponentes.

Pereira (2006) aplica el modelo de programación lineal DEA, en 71 bancos de sangre de Estados Unidos, para determinar si estaban operando bajo rendimientos de escala, decrecientes, constantes o crecientes. El modelo DEA creado en esta investigación, está orientado a las entradas, debido a que el autor supuso que los bancos de sangre ya estaban cumpliendo con la demanda requerida por los hospitales, lo que centra su investigación, en la eficiencia de los recursos que usan los bancos de sangres para cumplir con sus operaciones. Los recursos antes mencionados son los inputs analizados por el modelo DEA, y este caso se representan con los costos netos anuales de cada banco, y como outputs, los hemocomponentes obtenidos tales como: glóbulos rojos, plasma fresco congelado, entre otros. Pereira, por medio de la metodología DEA determina bajo qué rendimientos de escala se encuentran los bancos de sangre, sin embargo, en su trabajo, discute posibles variables externas que pueden influir en la eficiencia de los bancos de sangre y que afectan su desempeño. Menciona, además, las limitaciones que tiene el DEA frente a las variables externas antes mencionadas

En el trabajo de Marketta Veihola, Aroviita, y Linna (2006), se presenta una investigación de las eficiencias de 16 bancos de sangre pertenecientes a países europeos. Los datos empleados de los centros, van desde el año 2000 al 2002. Las entradas analizadas para cada banco de sangre, fueron: las horas de trabajo, sangre total (unidades), bienes inmuebles y equipamiento. Y las salidas por otra parte fueron: células rojas y plaquetas producidas. Los resultados obtenidos por los autores, arrojaron una media de eficiencia del 60%, con un rango que se encuentra desde el 41% al 100%. De los 16 hemocentros, cuatro se catalogaron como eficientes con porcentajes por encima del 90%, en cambio, los demás centros se catalogaron como ineficientes con porcentajes que iban de 41% a 89%. Finalmente, los autores concluyen que la principal causa de ineficiencia de los bancos de sangre, se relaciona de manera estrecha con el exceso de personal asignado, lo que genera una combinación no óptima de los niveles de producción.

A nivel nacional, no se encuentra un trabajo que haya aplicado la metodología DEA para bancos de sangre. Sin embargo, en la investigación de Fontalvo Herrera (2017) se aplicó DEA para determinar los niveles de eficiencia de 17 EPS del país, con información del año 2011. Para hacerlo, el autor se apoyó en el Fondo de Solidaridad y Garantía del Sistema General de Seguridad en Salud (FOSYGA) para obtener información acerca de las variables involucradas en el modelo. Las entradas de los sistemas, que tuvo en cuenta para el análisis fueron: inversiones, cuentas por

cobrar FOSYGA y activos fijos. Las salidas que tuvo en cuenta fueron: Ingresos por la unidad de pago por captación de usuarios (UPC), Ingresos de recobro del FOSYGA y el ingreso operacional. Los resultados que obtuvo Fontalvo, arrojaron que en términos generales el sector presenta un buen nivel de eficiencia, llegando a un nivel de eficiencia de hasta el 93,07%.

Los trabajos antes citados, son una referencia importante en la presente investigación, debido a que son investigaciones que han utilizado la metodología DEA y que determinan la eficiencia de bancos de sangre o sectores afines (EPS), este último a nivel nacional y los demás trabajos a nivel internacional. Sin embargo, a diferencia de las investigaciones citadas, el enfoque de este trabajo no va ligado a factores económicos (monetarios), como pueden ser los costos anuales de operación o las horas de los trabajadores de los centros, entre otras variables. Sino, que se centra de manera exclusiva en factores productivos, como los son el número de personas que iniciaron el proceso de donación en los bancos de sangre y el número de hemocomponentes que se obtuvieron a partir de ellos.

2.2 Marco Teórico

El DEA es una técnica de programación lineal no paramétrica que busca determinar la eficiencia relativa de diferentes unidades productivas. Estas unidades también llamadas unidades de toma de decisión o Decision-Making Units (DMU por sus siglas en inglés), transforman múltiples entradas en múltiples salidas (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011). Las salidas y entradas de los DMU a evaluar, se representan por medio de vectores. El tamaño de estos vectores, son de acuerdo el número de entradas y salidas que posea el sistema. Lo anterior resulta una ventaja que caracteriza éste método, pues determina la eficiencia de los DMU, sin discriminar una o más variables, sino por el contrario, considerar a todas para el cálculo de la eficiencia.

Lo anterior quiere decir que esta posee entradas y salidas multi-criterio pero su eficiencia es medida bajo una única medida de resumen (Bobo et al., 2018). Ahora bien, aquellos DMU que presenten una mejor relación entrada-salida, generan una frontera de producción llamada frontera eficiente. Esta frontera es formada por los DMU que tengan los máximos valores de eficiencia, de esta forma permite identificar cuales DMU pueden mejorar para alcanzar dicha frontera (Mendes et al., 2013). Existen dos principales tipos de modelos DEA. El presente hará uso de uno de esos dos modelos, se denomina modelo CCR y sus dos variaciones (orientado a entradas y a salidas), las formulaciones matemáticas, restricciones y especificaciones de variables, se exponen en la tabla 1.

Tabla 1. Modelos DEA

| Modelo multiplicador CCR | |
|--|--|
| Modelo orientado a salidas | Modelo orientado a entradas |
| $\min (z) = \sum_{i=1}^m v_k x_{io}$ <p>1. Eficiencia del modelo CCR orientado a salidas.</p> | $\max (z) = \sum_{r=1}^n u_r y_{r0}$ <p>5. Eficiencia del modelo CCR orientado a entradas.</p> |
| Restricciones | Restricciones |
| $\sum_{r=1}^n u_r y_{rj} - \sum_{k=1}^m v_k x_{kj} \leq 0 \text{ para } j$ $k = 1, 2, \dots, n$ <p>2. Restricción No. 1 del modelo CCR orientado a salidas.</p> $\sum_{r=1}^n u_r y_{r0} = 1$ <p>3. Restricción No. 2 del modelo CCR orientado a salidas.</p> $u_r, v_k \geq \varepsilon > 0$ <p>4. Restricción No. 3 del modelo CCR orientado a salidas.</p> | $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$ $j = 1, 2, \dots, n$ <p>6. Restricción No. 1 del modelo CCR orientado a entradas.</p> $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$ <p>7. Restricción No. 2 del modelo CCR orientado a entradas.</p> $u_r, v_k \geq \varepsilon > 0$ <p>8. Restricción No. 3 del modelo CCR orientado a entradas.</p> |
| En donde | En donde |
| <p>u_r: Ponderación de la salida r y_{r0}: Salida j del DMU 0 v_k: Ponderación de la salida entrada k x_{kb}: Entrada k del DMU 0 n: Número de salidas m: Número de entradas n: Número de DMU ε: Constante positiva pequeña</p> | <p>u_r: Ponderación de la salida r y_{rj}: Salida r del DMU j v_i: Ponderación de la salida i x_{ij}: Entrada i del DMU j s: Número de salidas m: Número de entradas n: Número de DMU ε: Constante positiva pequeña</p> |

El primer modelo está orientado a las salidas, output, llamado rendimientos constantes a escala *constant return to scale* (CRS). En este modelo se busca maximizar las salidas, manteniendo constante el nivel de las entradas. Por otra parte, está el modelo orientado a entradas, input, en donde se busca minimizar las

entradas de cada unidad productiva, manteniendo constante las salidas de las mismas. Este modelo DEA fue introducido por Charnes, Cooper y Rhodes (CCR) (1978).

Una vez se han identificado los DMU con mayor eficiencia es posible evaluarlos y compararlos. Este proceso de comparación y evaluación es posible gracias a la aplicación del Benchmarking. Esta herramienta es definida como un proceso sistemático y continuo de medición y comparación de una variable de estudio, en este caso, la eficiencia (Petrović, Bojković, Stamenković, & Anić, 2018). Además, el Benchmarking se aplica para organizaciones o procesos similares donde es posible aprender o imitar las mejores prácticas de aquellos que se desempeñen mejor en sus procesos. El mejoramiento de los procesos es posible gracias a que se compara la eficiencia de un proceso frente a un proceso igual o similar de la competencia. Esto a su vez es posible porque se comparte la información. Una vez se conoce cuál proceso es el más eficiente se estudian sus prácticas, se caracterizan y se implementan en el proceso de menor eficiencia, con el objetivo de alcanzar la mayor eficiencia existente.

De esta forma es posible aumentar la eficiencia de los bancos de sangre que están débiles frente a los más eficientes, debido a que compara las eficiencias de los hemocentros con el objetivo de mejorar y fortalecer, compartiendo información y aplicando las mejores prácticas que permiten en definitiva tener una mejor respuesta hacia el receptor de las donaciones. Este proceso de mejora continua se divide en 4 diferentes tipos (Arellano, 2010). Estos son Benchmarking interno, competitivo, funcional y genérico. La eficiencia que es comparada en este proceso resulta estar bajo la influencia de diferentes variables, como lo son las incineraciones, los desperdicios, las pérdidas por vencimiento de hemocomponente, las campañas de donación entre muchas otras. Sin embargo, el objeto principal de la eficiencia de los bancos de sangre es la capacidad para transformar la sangre en hemocomponentes finales para las transfusiones.

La sangre es un tejido líquido que regula el transporte del oxígeno, lo recoge en los pulmones y lo lleva todos los tejidos del cuerpo. Además, elimina el dióxido de carbono transportándose desde los tejidos hasta los pulmones (“Instituto Canaria de Hemodonación y Hemoterapia,” n.d.). La sangre está conformada principalmente por glóbulos rojos encargados de transportar el oxígeno recogido; glóbulos blancos encargados de combatir virus e infecciones, plaquetas las cuales coagulan la sangre para evitar hemorragias en lesiones y secretan fluidos para mejorar la cicatrización; y finalmente el plasma, el cual es la parte líquida de la sangre rica en proteínas. La sangre puede ser donada por dos principales métodos: donación por sangre total o por aféresis.

La donación por sangre total es un método tradicional en el cual se donan 470 ml de sangre y 30 ml de anticoagulante-conservante para un total de 500 ml (Transplant, 2018). Por otro lado, la aféresis es una donación automatizada, en este proceso se separan los hemocomponentes, extrae el deseado y los restantes se devuelve a la sangre que se reingresa al donante. Este método permite recolectar más del mismo componente y realizar donaciones más frecuentes (“Carter

Bloodcare,” 2018). En este proceso de donación se pueden presentar diferentes tipos de donantes, por ejemplo, están los diferidos, los que presentan reacciones adversas a la donación (RAD), quienes presentan reacciones adversas a la transfusión, donantes aptos, donantes potenciales, entre otros.

Los tipos de donantes afectan directamente en la eficiencia de los bancos de sangre. Un donante RAD causa que la sangre que fue donada por él, está en cuarentena para estudiarla y determinar si sigue siendo apta para una transfusión. En caso contrario, la sangre o el hemocomponente donado debe ser incinerado, ya que no cumple los requisitos para hacer efectiva una transfusión. Estas incineraciones afectan negativamente la eficiencia que determina los modelos DEA, debido a que representan una salida para los DMU's estudiados. Además, también representa un desperdicio en el proceso. Para la formulación de los modelos DEA se tiene en cuenta este tipo de donantes y las incineraciones como salidas. Una aplicación de Benchmarking podría generar una disminución de las variables anteriormente descritas, obteniendo mayores eficiencias.

2.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto

El presente proyecto genera una caracterización de la cadena de abastecimiento de sangre del país, donde se identifican las regiones que son más eficientes en la producción de hemocomponentes, cuales no y un análisis de las posibles causas que generan esta diferencia, así contribuirá en la caracterización los factores que influyen en la capacidad productiva. Además, busca ser una base para futuras investigaciones donde, una vez identificadas las regiones más eficientes en cuanto a la producción de hemocomponentes, se realice un estudio más exhaustivo donde se pretenda mejorar cada banco de sangre individualmente. Lo que permitiría un estudio, creación e implementación de diferentes opciones de mejora con base a los resultados arrojados por el presente proyecto. Esto a su vez permite un aumento efectivo en las eficiencias de los bancos, y así responder de manera efectiva a la demanda por parte de los diferentes centros asistenciales de salud.

3 Metodología

De acuerdo a los objetivos específicos formulados, se decidió dividir el proyecto en 3 etapas. En cada una se llevó a cabo un listado de actividades, que permitieron finalmente cumplir con el objetivo general del trabajo, las cuales fueron:

Recolección y análisis de datos:

- Búsqueda del Informe anual de la red de sangre.
- Consolidación de la información del informe en tablas de Excel.
- Selección de variables de entrada y salida para el modelo DEA.
- Tratamiento numérico de la información sobre los bancos de sangre.
- Creación de tabla de las variables de entrada del para el modelo.
- Creación de tabla de las variables de salida para el modelo.

Modelación y programación:

- Estudio de la literatura sobre el DEA.
- Selección de los modelos para el trabajo.
- Formulación de los modelos.
- Programación de los modelos en Excel.

Análisis y conclusiones:

- Consolidación de los resultados, en diagramas y tablas
- Discusión acerca de los resultados obtenidos de los modelos usados
- Investigación acerca de la región más eficiente según los resultados
- Caracterización acerca de la región eficiente

En la primera etapa se establecieron las variables acerca de los bancos de sangre para los modelos (entradas y salidas), lo anterior se hizo a partir de la información del informe anual de la red de sangre, registros del DANE e información del Ministerio de Salud; y su posterior tratamiento matemático para poder obtener los variables a usar. En la segunda etapa, básicamente se hizo un estudio a profundidad de los modelos DEA para formular matemáticamente los modelos y luego programarlos en el software Excel para la programación lineal, donde se corrieron los dos modelos. Finalmente, en la tercera etapa se consolidaron los resultados obtenidos, lo que llevó a una caracterización de los bancos de sangre de Colombia y así concluir con fundamentos sólidos.

4 Resultados

Recolección, análisis y determinación de variables con el uso de la información pública disponible de las regiones del país sobre los bancos de sangre.

La recolección de datos se hizo principalmente con base al informe anual de la red nacional de servicios de transfusión de sangre (Instituto Nacional De Salud, 2018); bases de datos del DANE (DANE, 2005) e información del Ministerio de Salud (Betancourt & Suárez, 2008). Así pues, se identificaron las diferentes unidades a observar correspondientes a las regiones del país, es decir los DMU's (Decision Making Units), que serán objeto de estudio dentro de los diferentes modelos DEA. En el anexo 1 se puede observar en más detalle el listado de regiones del país involucradas en el estudio. Es preciso resaltar que la mayoría de las variables escogidas para los modelos, se relacionan con la productividad, expresada esencialmente con la cantidad de donantes atendidos de cada modalidad de donación (Aféresis y sangre total) como entradas, frente a la cantidad de hemocomponentes e incineraciones que genera cada DMU como salidas. Sin embargo, también se emplearon variables del ámbito económico como lo son: la inversión pública en salud de cada región y los gastos en los que incurre cada DMU en el proceso de donación, ambas variables como entradas del modelo.

Ahora bien, de acuerdo a lo estudiado sobre el análisis envolvente de datos, se descubrió que es recomendable utilizar un número de variables reducido, tanto de entradas como salidas, puesto que entre más número de variables usadas en el modelo DEA, las eficiencias que se calculan tienden al 100% para todos los DMU's (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011). En consecuencia, ese tipo de resultados no arrojan ninguna información útil al estudio, pues no da lugar a un análisis entre las unidades productoras evaluadas. Aquí es importante mencionar, que en principio lo que se desea no es construir un solo listado de variables, el cual usar para el modelo. Por el contrario, lo que se busca es consolidar varias combinaciones de variables, que permitan obtener diferentes resultados (eficiencias), de este modo beneficiarse de un abanico de información del cual poder concluir de una manera más acertada.

Por lo anterior, se procedió a generar una matriz de correlación entre las variables de entradas y salidas seleccionadas. Esta matriz permite identificar aquellas variables que tienen una correlación alta entre sí. Es decir, que el crecimiento de una signifique el incremento de otra, cabe aclarar que lo anterior no se relaciona con causalidad, sino más bien con la variabilidad de los datos objetos de estudio (Williams, 1996). Dicha correlación positiva o negativa, permite unificar, o no, las variables. Esta unificación depende del coeficiente de correlación (r), si el coeficiente de correlación es igual a 1 o -1, o cercanos, quiere decir que existe una fuerte relación entre las variables, ya sea directa o inversa. Por ejemplo, si dos variables presentan un coeficiente de 0.9999, las variables se unificarán dado

presentan una fuerte correlación y están representando la misma variable (Williams, 1996).

Análisis y determinación de las variables de entrada para los modelos

A continuación, se muestra la tabla con las variables de entrada que se seleccionaron, en donde ST significa Sangre Total.

Tabla 2. Tabla de variables de entrada.

| Variables de entrada |
|-----------------------------------|
| Inversión pública en salud |
| Personas aptas para donar |
| Gasto del proceso de donación |
| Coficiente: "Cultura de donación" |
| Donantes potenciales ST |
| Donantes aceptados ST |
| Donantes potenciales aféresis |
| Donantes aceptados aféresis |

Ahora bien, el análisis y determinación de variables de entrada inició con un estudio exhaustivo de la información que presentaba Instituto Nacional De Salud (2018). En dicho informe se presentaba una serie de información relacionada tanto a la donación de sangre como también a su transfusión. En primer lugar, el presente trabajo trata de estudiar la eficiencia de los bancos de sangre en el campo de la donación, por esta razón no se tuvo en cuenta ninguna información relacionada a procesos de transfusión. Además, en el informe se presentan información discriminada y detallado de los donantes, ya sea por sexo, edades u otros aspectos (donantes repetitivos, primera vez, etc.) Para casos de practicidad y efectividad no se tomó en cuenta esta información puesto que las edades, sexo y demás características no afectan en el cálculo de la eficiencia de un DMU. Por el contrario, si lo hace las cantidades globales de personas que realizaron una donación efectiva.

En segundo lugar, con el objetivo de involucrar variables económicas que permitieran caracterizar aún más las regiones, se realizó una investigación para conocer la inversión pública realizada en salud por regiones y los gastos asociados al proceso de donación. Esta investigación dio como resultado que el gasto asociado al proceso de donación depende del método del mismo. Por un lado, se tiene que el gasto asociado al proceso de donación por sangre total, para cada donante aceptado, es de \$45,000 (Betancourt & Suárez, 2008). Por otro lado, para aféresis se tiene que el gasto también depende del hemocomponente a obtener: la captación de glóbulos rojos tiene un gasto asociado de \$300,000 por cada persona y \$600,000 para las plaquetas por persona (Betancourt & Suárez, 2008). Es de importancia resaltar que la cantidad máxima de glóbulos rojos donados por una persona son 2 unidades (Betancourt & Suárez, 2008). Esto quiere decir que la cantidad de las unidades captadas fue dividida por 2, para obtener la cantidad de

personas que donaron glóbulos rojos. Así mismo, las unidades de plaquetas producidas por una persona son 10 unidades (Betancourt & Suárez, 2008). Nuevamente, se realizó el mismo procedimiento para el hemocomponente anteriormente descrito: dividir la cantidad de plaquetas entre 10 para obtener (Betancourt & Suárez, 2008) las personas que donaron dicho componente sanguíneo. Una vez encontrados estos valores, se sumaron todos los gastos para calcular el gasto total asociado al proceso de donación.

Finalmente, con el objetivo de asociar un aspecto social que identificara la cultura existente en las regiones de Colombia para donar, se realizó un cálculo matemático que representa dicho aspecto. Esto se traduce en la cantidad de personas que se acercaron a los hemocentros para donar dividido las personas aptas para donar, con base a la información suministrada por el DANE (DANE, 2005). Esta información hace referencia a la proyección realizada por el DANE, año 2017, en donde se identifican las personas que pueden donar según su edad: entre 15 y 60 años (DANE, 2005). Es de importancia mencionar que en esta proyección se tuvo en cuenta únicamente la edad para definir a las personas como aptas para donar o no. A continuación, se presentan las variables de entradas y de salidas que obtuvieron inicialmente y las variables finales que fueron usadas en los modelos en los diferentes modelos DEA.

Como se puede observar en la tabla algunas variables se discriminan según la modalidad de donación y otras, por el contrario, no. Como es el caso de la inversión pública en salud, las personas aptas para donar y el costo del proceso de donación, para más información acerca de los valores y el cálculo de éstas variables, ver anexo 2. En este anexo se encuentran las correlaciones que existen entre las variables. Un elemento central, es que la relación entre todas las variables es positiva. De modo similar, existe una correlación fuerte entre la mayoría de las variables (Williams, 1996), exceptuando al coeficiente de cultura de donación y donantes potenciales, aunque comparativamente la correlación con las demás variables de este último, es mayor.

Por consiguiente, se decidió que la variable de coeficiente de cultura de donación, no se puede unir con otra, por su débil correlación con las demás variables. A diferencia de las demás, que si tiene la capacidad de ser unificadas en una sola, como lo es el caso de los donantes aceptados en la modalidad de donación de aféresis y los donantes aceptados de la modalidad de donación de sangre total. A pesar de no tener el mismo nivel de correlación, que las dos variables antes mencionadas, la correlación entre los donantes aceptados por la modalidad de aféresis y los donantes aceptados con la modalidad de sangre total, permite justificar su combinación en una sola variable.

En resumen, lo que se logró es ver la cantidad de donantes potenciales y aceptados de manera global, es decir sin discriminar a qué tipo de donación se sometió. Por otra parte, vale la pena señalar que no todas las variables tienen la capacidad de ser unificadas. Lo anterior por la naturaleza de dicha variable, es decir, por su unidad de medida. Como es el caso del costo del proceso de donación con las personas aptas para donar de la región, son unidades de medida distintas. Por lo que

finalmente, se llegaron a 4 variables de entrada con las cuales se harán las posibles combinaciones para los modelos DEA (ver tabla 3).

Tabla 3. Tabla de variables de entrada finales

| Variables de entrada finales |
|-------------------------------------|
| Inversión pública en salud |
| Coeficiente cultura de donación |
| Costos |
| Donantes potenciales |

Análisis y determinación de las variables de salida para los modelos

Al igual que con las variables de entrada, las variables de salida se encuentran discriminadas, según el método de donación que se llevó a cabo (sangre total y aféresis). Recordemos la necesidad de reducir las variables para llegar a resultados deseados con los modelos DEA. Así pues, se efectuó la matriz de correlación, la cual puede verse en el anexo 3 y que permite analizar qué datos tienen correlaciones que permitan su unificación. A continuación, se muestra la tabla con las variables de salida que se seleccionaron en una primera instancia.

Tabla 4. Tabla de variables de salida.

| Variables de salida | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Sangre total | Aféresis |
| % de aceptación de donantes | % de aceptación de donantes |
| Hemocomponentes obtenidos (7) | Hemocomponentes obtenidos (3) |
| Incineraciones de hemocomponentes (6) | Incineraciones de hemocomponentes (2) |

En este anexo (3) se puede observar que el porcentaje de aceptación de donantes no tiene correlación fuerte o contundente con las demás variables puesto que su valor del coeficiente es muy cercano a cero. Por esto no fue posible unificarlo con ninguna otra variable y por tanto se optó como una de las salidas de los modelos. Por otro lado, se observó que los tipos de hemocomponentes presentaban una correlación fuerte entre ellos mismos sin importar porque medio de extracción se usará, es decir aféresis o sangre total. Por tanto, se decidió unificar todos los hemocomponentes que se obtenían de ambos métodos, generando una variable general llamada hemocomponentes. Es importante aclarar que se presentan 2 tipos de hemocomponentes, la variable general propiamente y la unidad de sangre total.

En el informe de Instituto Nacional De Salud (2018) también se presenta información detallada de las incineraciones: cuáles hemocomponentes se incineraron y cuáles fueron las causas. Para el estudio es importante y crucial tener las cantidades de hemocomponentes que se están incinerando en las diferentes regiones más allá de cuáles se están incinerando o las causas. En otras palabras, se toma en cuenta el valor total de las incineraciones realizadas en el año 2017. En este orden de ideas, se realizó un análisis a la información suministrada identificando si las variables expuestas por el informe tenían relevancia en el cálculo de la eficiencia.

Además, se observó que la situación que se presenta para hemocomponentes también se presentaba para las incineraciones. Es decir, que las incineraciones presentaban una correlación alta independiente del tipo de donación. Estas variables también se consolidaron como una sola salida de incineraciones del sistema. Un aspecto que cabe resaltar es que las incineraciones, entendiéndose como la cantidad de hemocomponentes desechados, entre más alto este valor es peor para la unidad observada, impacta negativamente la eficiencia de la misma. Por lo que resultó necesario obtener la inversa de este valor, de tal forma que el modelo al maximizar este valor está reduciendo las incineraciones generadas por el DMU. Por consiguiente, en la tabla 5 se observa las variables de salidas que se tomaron en cuenta en la corrida de los modelos.

Tabla 5. Variables de salida finales.

| Variables de salida finales |
|------------------------------------|
| % de aceptación de donantes |
| Hemocomponentes obtenidos |
| Incineraciones |

A continuación, se describen las variables que se obtuvieron finalmente:

- % de aceptación de donantes: Esta variable refleja la capacidad que tienen los hemocentros para captar donantes, que a su vez sean aptos para realizar el proceso de donación. Es decir, que cumplan con los requerimientos tales como: edad, peso, y los demás requerimientos relacionados con la salud.
- Hemocomponentes obtenidos: La variable de hemocomponentes obtenidos comprende los componentes sanguíneos que generó cada región, a partir de la captación realizada, lo cual es su respuesta a la demanda de la cadena de suministro de sangre de la región correspondiente. Es importante para la evaluación de los bancos de sangre contar con este ítem como variable de salida, porque refleja que tan eficiente es un banco para procesar la sangre captada.
- Incineraciones: Las incineraciones, como su nombre lo refleja son las unidades de sangre o hemocomponentes que fueron incinerados, lo anterior puede deberse a factores como: vencimiento, mal almacenaje, controles de

calidad, entre otras. Como se puede analizar, el número de incineraciones refleja la mala gestión que puede tener un hemocentro, en varias fases como la planeación, almacenaje, etc. Por lo que esta variable, refleja de manera global este desempeño negativo del banco de sangre.

Formulación de las combinaciones para la corrida de los modelos

Variables de entrada:

A continuación, se presenta la tabla donde se precisa las variables de entrada utilizadas en cada una de las cinco configuraciones de los modelos.

En la configuración 1, se involucraron todas las variables de entradas de los DMU's, con la intención de evaluar cómo era la eficiencia teniendo en cuenta todas las variables que se tenían para los DMU's. Para la configuración, sólo se hizo uso de la inversión pública en salud y el gasto en el que incurren los bancos para llevar a cabo los procesos de donación, con esta configuración se buscaba evaluar un desempeño desde el punto de vista financiero de los bancos de cada región. Seguido de esto, se tiene la configuración 3, en la que se usó el coeficiente de cultura de donación y donantes atendidos, en esta configuración se buscaba evaluar desde un punto de vista demográfico la eficiencia de los bancos.

Por otro lado, la configuración 4, tuvo en cuenta la inversión pública en salud, donantes atendidos y el gasto de los DMU. Esta configuración buscaba evaluar la eficiencia de los bancos de sangre, teniendo en cuenta las variables económicas y en adición a estas los donantes atendidos, para dar un listado de variables de entrada más completo de para la evaluación de los bancos. Por ultimo en la configuración 5, se tuvo en cuenta la inversión pública en salud y los donantes atendidos, para evaluar que tan bueno son los bancos de sangre en usar los recursos que les designa el ministerio de salud a la hora de captar donantes.

Tabla 6. Variables de entrada relacionadas en las configuraciones.

| | Inversión pública en salud | Coefficiente cultura de donación | Donantes atendidos | Gasto |
|------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------|-------|
| Configuración 1 | x | x | x | x |
| Configuración 2 | x | | | x |
| Configuración 3 | | x | x | |
| Configuración 4 | x | | x | x |
| Configuración 5 | x | | x | |

Variables de salida:

A continuación, se presenta la tabla de las variables de salida que se usaron en las configuraciones, como se puede observar se usaron todas las variables en las 5 configuraciones, pues se determinó que éstas tres variables representan de manera completa las salidas que tienen los hemocentros del país.

Tabla 7. Variables de salida relacionadas en las configuraciones

| | % de aceptación de donantes | Hemocomponentes obtenidos | Incineraciones |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------|
| Configuración 1 | x | x | x |
| Configuración 2 | x | x | x |
| Configuración 3 | x | x | x |
| Configuración 4 | x | x | x |
| Configuración 5 | x | x | x |

Formulación y análisis de diferentes modelos DEA

Tomando como base el libro Cooper, Seiford, & Zhu (2011), se formularon matemáticamente en Excel un total de 4 modelos. 2 orientados a entradas y 2 orientados a salidas. En esta programación de los modelos se utilizaron 2 herramientas como lo fueron Solver y Microsoft Visual Basic for Applications VBA. Solver es un programa de complemento de Microsoft Excel que se puede usar para encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, la función objetivo, que está sujeta a las restricciones, que son limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula de una hoja de cálculo. Solver trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas de variables, las variables de decisión (μ, y), las cuales se usan para calcular fórmulas en la función objetivo y de restricción. Solver ajusta los valores de las celdas de variables de decisión para que cumplan con los límites de las celdas de restricción y den el resultado deseado en la función objetivo (Microsoft, 2019). En la ilustración 2, se ve la estructura en Excel de uno de los modelos mencionados.

| ENTRADAS | | | | SALIDAS | | |
|----------|--------------------|-----------|----------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|
| No. | DMU's | Costos | Donantes potenciales | % de aceptación de donantes ST | Hemocomponentes | Incineraciones |
| 1 | Antioquia | 1,487E+10 | 137.631 | 70,36% | 260318 | 123786 |
| 2 | Arauca | 64440000 | 1.441 | 99,38% | 1241 | 192803 |
| 3 | Atlántico | 4,06E+09 | 70.594 | 89,52% | 160175 | 143161 |
| 4 | Bogotá | 1,761E+10 | 326.369 | 84,93% | 929432 | 0 |
| 5 | Bolívar | 1,447E+09 | 29.838 | 97,51% | 74198 | 157234 |
| 6 | Boyacá | 733770000 | 17.869 | 91,25% | 39736 | 180579 |
| 7 | Caldas | 1,184E+09 | 27.297 | 76,21% | 42420 | 179866 |
| 8 | Caquetá | 67320000 | 1.875 | 79,79% | 3653 | 191855 |
| 9 | Casanare | 151740000 | 20.309 | 73,74% | 5495 | 191325 |
| 10 | Cauca | 404775000 | 10.930 | 79,81% | 21619 | 186196 |
| 11 | Cesar | 398730000 | 23.199 | 93,29% | 48167 | 182407 |
| 12 | Córdoba | 1,538E+09 | 26.486 | 94,78% | 60632 | 168196 |
| 13 | Cundinamarca | 1,978E+09 | 44.132 | 88,77% | 94527 | 160596 |
| 14 | Huila | 632145000 | 13.360 | 92,49% | 33405 | 178163 |
| 15 | Magdalena | 504300000 | 12.726 | 86,68% | 25629 | 187057 |
| 16 | Meta | 845340000 | 21.465 | 86,11% | 42122 | 181948 |
| 17 | Nariño | 735255000 | 18.438 | 88,62% | 40622 | 177437 |
| 18 | Norte de Santander | 802890000 | 23.099 | 77,24% | 40745 | 176069 |
| 19 | Quindío | 451440000 | 13.645 | 67,10% | 19381 | 185888 |
| 20 | Risaralda | 496590000 | 11.773 | 94,75% | 23785 | 183119 |
| 21 | Santander | 4.106E+09 | 85.376 | 74,00% | 174803 | 141770 |
| 22 | Sucre | 418680000 | 10.519 | 88,45% | 22299 | 185590 |
| 23 | Tolima | 1,869E+09 | 46.383 | 89,53% | 99755 | 155088 |
| 24 | Valle | 4,3E+09 | 75.214 | 73,95% | 142378 | 151866 |

| Restricciones | | | |
|----------------|---|---|------|
| u'y | r | 1 | = 1 |
| v'x | | 1 | = 1 |
| (u'y)-(v'x)+Co | | - | <= 0 |

| Coeficientes | | | | | | |
|--------------|-------------|-----------|---|----------|---|---|
| DMU | 24 | 3205955 | 0 | 0,739476 | 0 | 0 |
| Eficiencia | 100,000000% | 3,119E-07 | 0 | 1,352309 | 0 | 0 |

| | | | | |
|-----|----|---|----|---|
| max | ho | 1 | Co | 0 |
|-----|----|---|----|---|

2. Arquitectura del modelo DEA en Excel.

La programación matemática creada en el programa Solver garantiza que se tienen aquellos valores de las variables de decisión que maximice la eficiencia de cada región del país. Debido a que estos valores impactan directamente en el cálculo del indicador de producción como se puede ver en la ecuación 15. Esta ecuación fue usada para calcular la eficiencia de todos los DMU's y de todos los modelos.

$$h_0(u, v) = \frac{\sum_r^s u_r y_{r0}}{\sum_i^m v_i x_{i0}}$$

9. Eficiencia de los modelos.

Por otro lado, es importante resaltar que la herramienta Visual Basic permitió realizar iteraciones del modelo Solver ya establecido con la herramienta macros de Excel. Una macro es una acción o un conjunto de acciones que se puede ejecutar todas las veces que deseen. Después de crear el modelo de Solver se creó la macro, para realizar el respectivo análisis matemático para determinar la eficiencia de cada uno de los DMU's. Esto implica establecer los valores correctos para el cálculo tanto de las restricciones como de la función objetivo. Además, esta macro transcribe los valores de las variables de decisión y las eficiencias obtenidas de las regiones en un cuadro resumen. En la imagen 3 se puede observar código de la macro.

```

Sub RunSolver()

    SolverOk SetCell:="$E$37", MaxMinVal:=2, ValueOf:=0, ByChange:="$G$33:$L$33", _
        Engine:=2
        'Engine:=2, EngineDesc:="Simplex LP"
    SolverSolve True

End Sub

```

```

Sub run()
    For i = 1 To 24
        Range("F32").Value = i
        RunSolver
        Range("F33:L33").Select
        Selection.Copy
        Range("F" & 43 + i).Select
        Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
            :=False, Transpose:=False
    Next
End Sub

```

3. Código de la macro usada.

Ahora bien, para la etapa de corrida de los modelos es importante mencionar dos aspectos. En primer lugar, teniendo en cuenta las variables tanto de entrada y de salida, se optó por mantener fijas las variables de salida y generar diferentes configuraciones de variables de entrada. Esto con el objetivo de evaluar los DMU's de una forma estandarizada y concreta con respecto a lo que se quiere evaluar. Dichas configuraciones modifican las variables que se tienen en cuenta en la corrida de los modelos, por ejemplo, en la configuración 1 se tuvieron en cuenta todas las variables del sistema planteadas anteriormente, en la configuración 2 se tomaron en cuenta las variables económicas de la inversión pública en la salud y el gasto asociado al proceso de donación. El resultado final fue un total de 5 configuraciones distintas

Modelo CCR

El modelo programado fue el modelo CCR (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011) los cuales permiten evaluar la eficiencia de los DMU's de las 2 formas. Es decir, evaluar la eficiencia de las regiones orientando a un mejor uso de sus entradas o de sus salidas. En la tabla 6 se muestran las ecuaciones tanto de la función objetivo como de las restricciones que posee cada modelo. Es importante resaltar que se usó el modelo de multiplicadores DEA. Además, en el anexo 4 se encuentra el archivo de Excel para precisar detalles de la construcción matemática del modelo.

Tabla 8. Tabla de ecuaciones de los modelos CCR.

| Modelo a entradas | Modelo a salidas |
|--|--|
| $Max Z = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$ <p>10. Función objetivo del modelo a entradas.</p> | $Min q = \sum_{i=1}^m v_i x_{i0}$ <p>13. Función objetivo del modelo a salidas.</p> |
| Restricciones | Restricciones |
| $\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$ <p>11. Restricción No. 1 del modelo a entradas.</p> $\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$ <p>12. Restricción No. 2 del modelo a entradas.</p> | $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} \geq 0$ <p>14. Restricción No. 1 del modelo a salidas.</p> $\sum_{r=1}^s u_r y_{r0} = 1$ <p>15. Restricción No. 2 del modelo a salidas.</p> |
| $v_i, \mu_i > 0$ <p>16. Restricción No. 3 del modelo CCR.</p> | |

5 Resultados obtenidos de los modelos

Una vez se culminó con el proceso de corrida de los 2 modelos mencionados se obtuvieron una serie de resultados. Estos corresponden a las eficiencias de las regiones de Colombia. Es importante señalar que cada DMU's presentará diferentes valores de eficiencia, dependiendo de 3 factores: el modelo usado, la orientación del modelo o la configuración que se empleó para correr el modelo, es decir las variables usadas. Las diferentes eficiencias halladas serán analizadas posteriormente.

Por una parte, los resultados obtenidos del modelo CCR son las diferentes eficiencias de los DMU's. Los resultados son diferenciados dependiendo de la orientación del modelo, ya sea orientado a las entradas o a las salidas. En primer lugar, en la tabla 8 se pueden observar 5 valores de eficiencia para cada uno de los DMU's, las cuales corresponden a las 5 configuraciones ya mencionadas, y responden al modelo orientado a las entradas.

Tabla 9. Tabla de resultados modelo CCR orientado a entradas.

| No. | DMU's | Cf 1 | Cf 2 | Cf 3 | Cf 4 | Cf 5 |
|-----|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | Antioquia | 66,82% | 46,98% | 66,82% | 66,82% | 66,82% |
| 2 | Arauca | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| 3 | Atlántico | 80,72% | 77,28% | 80,46% | 80,72% | 80,72% |
| 4 | Bogotá | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| 5 | Bolívar | 95,86% | 93,80% | 89,59% | 89,59% | 89,59% |
| 6 | Boyacá | 100,00% | 100,00% | 81,74% | 82,61% | 82,61% |
| 7 | Caldas | 100,00% | 100,00% | 56,60% | 100,00% | 100,00% |
| 8 | Caquetá | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| 9 | Casanare | 89,33% | 89,33% | 12,41% | 64,22% | 64,22% |
| 10 | Cauca | 96,83% | 96,83% | 74,76% | 74,76% | 74,76% |
| 11 | Cesar | 89,22% | 88,82% | 75,79% | 76,26% | 76,26% |
| 12 | Córdoba | 82,91% | 72,84% | 82,90% | 82,91% | 82,91% |
| 13 | Cundinamarca | 88,51% | 87,07% | 76,57% | 76,57% | 76,57% |
| 14 | Huila | 99,64% | 97,21% | 92,79% | 93,33% | 93,33% |
| 15 | Magdalena | 92,10% | 92,09% | 75,66% | 75,66% | 75,66% |
| 16 | Meta | 92,20% | 92,20% | 71,76% | 72,77% | 72,77% |
| 17 | Nariño | 100,00% | 100,00% | 80,80% | 80,95% | 80,95% |
| 18 | N. Santander | 92,49% | 92,49% | 64,31% | 64,95% | 64,95% |
| 19 | Quindío | 100,00% | 100,00% | 54,08% | 100,00% | 100,00% |
| 20 | Risaralda | 91,52% | 91,06% | 76,80% | 78,29% | 78,29% |
| 21 | Santander | 82,84% | 82,84% | 72,41% | 82,70% | 82,70% |
| 22 | Sucre | 96,71% | 96,56% | 80,56% | 80,56% | 80,56% |

| | | | | | | |
|----|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 23 | Tolima | 100,00% | 100,00% | 76,81% | 96,69% | 96,69% |
| 24 | Valle | 67,09% | 61,72% | 67,09% | 67,09% | 67,09% |

En segundo lugar, en la tabla 9 se tienen los valores de las eficiencias de las regiones obtenidas a partir del modelo CCR orientado a las salidas. Es necesario señalar que las configuraciones usadas en esta orientación del modelo fueron las mismas que se usaron en el modelo orientado a las entradas. Lo anterior con el objetivo de analizar la diferencia que existe entre la eficiencia por un método y por el otro teniendo en cuenta las mismas variables y configuraciones (ver anexo 8 y 4) para reducir la variabilidad e incertidumbre en los cálculos.

Tabla 10. Tabla de resultados modelo CCR orientado a salidas.

| No. | DMU's | Comb. 1 | Comb. 2 | Comb. 3 | Comb. 4 | Comb. 5 |
|-----|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | Antioquia | 66,82% | 46,98% | 66,82% | 44,89% | 66,82% |
| 2 | Arauca | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| 3 | Atlántico | 80,72% | 77,28% | 80,46% | 70,49% | 80,72% |
| 4 | Bogotá | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 100,00% |
| 5 | Bolívar | 95,86% | 93,80% | 89,59% | 30,68% | 89,59% |
| 6 | Boyacá | 100,00% | 100,00% | 81,74% | 82,50% | 82,61% |
| 7 | Caldas | 100,00% | 100,00% | 56,60% | 58,58% | 100,00% |
| 8 | Caquetá | 100,00% | 100,00% | 100,00% | 25,31% | 100,00% |
| 9 | Casanare | 89,33% | 89,33% | 12,41% | 54,29% | 64,22% |
| 10 | Cauca | 96,83% | 96,83% | 74,76% | 71,82% | 74,76% |
| 11 | Cesar | 89,22% | 88,82% | 75,79% | 76,26% | 76,26% |
| 12 | Córdoba | 82,91% | 72,84% | 82,90% | 31,51% | 82,91% |
| 13 | Cundinamarca | 88,51% | 87,07% | 76,57% | 26,16% | 76,57% |
| 14 | Huila | 99,64% | 97,21% | 92,79% | 93,33% | 93,33% |
| 15 | Magdalena | 92,10% | 92,09% | 75,66% | 73,95% | 75,66% |
| 16 | Meta | 92,20% | 92,20% | 71,76% | 72,77% | 72,77% |
| 17 | Nariño | 100,00% | 100,00% | 80,80% | 80,26% | 80,95% |
| 18 | N. Santander | 92,49% | 92,49% | 64,31% | 64,95% | 64,95% |
| 19 | Quindío | 100,00% | 100,00% | 54,08% | 55,42% | 100,00% |
| 20 | Risaralda | 91,52% | 91,06% | 76,80% | 77,83% | 78,29% |
| 21 | Santander | 82,84% | 82,84% | 72,41% | 76,58% | 82,70% |
| 22 | Sucre | 96,71% | 96,56% | 80,56% | 77,21% | 80,56% |
| 23 | Tolima | 100,00% | 100,00% | 76,81% | 82,93% | 96,69% |
| 24 | Valle | 67,09% | 61,72% | 67,09% | 38,47% | 67,09% |

5.1 Discusión

Las eficiencias obtenidas del modelo CCR, son el resultado de la síntesis de las variables recolectadas, que anteriormente se explicó en el documento. De esta manera se garantiza que los resultados obtenidos, surgen a partir de la selección de datos confiables, que se llevó a cabo en el proceso de investigación y que permiten la parametrización de los desempeños de los hemocentros de las diferentes regiones del país.

Una de las limitaciones del estudio y que va ligado a la metodología DEA, es que las eficiencias calculadas por los modelos DEA tienden al 100% para cada DMU, cuando se manejan numerosas variables de entrada y salida, como se explicó en el apartado de resultados. Por lo anterior, fue necesario el proceso de síntesis antes mencionado de variables, que permitió reducir su número, reduciendo el número de parámetros en los modelos. Ahora bien, con esta medida se limita las posibilidades de generar combinaciones para los modelos DEA, pero a su vez se facilita la generación del mismos, porque se reduce el número posible de combinaciones.

Por otra parte, comparando los resultados con estudio previos antes realizados, los modelos CCR arrojan valores similares a estudios ya realizados. Es decir, resultados en donde se pueden apreciar los DMU's que conforman la frontera de eficiencia con un 100% de desempeño, y los demás DMU's con valores inferiores a los primeros mencionados, los cuales son los que brindan información valiosa para analizar.

Para finalizar, es importante mencionar que la metodología DEA es una herramienta versátil, que permite procesar información de naturaleza diferente entre sí (monetaria, porcentajes, unidades, etc.), lo cual es una ventaja, porque posibilita su aplicación en variados campos, bien sea industriales o no, en donde se involucren unidades productivas, ya sea de bienes o servicios. Ahora bien, esta capacidad que tiene la metodología DEA para ser usada en diferentes ámbitos, condiciona a los encargados de la investigación a ser cuidadosos con la selección de los datos que van a tener en cuenta, con los cuales se va a llevar a cabo las corridas de los modelos DEA. A partir de esta selección, es donde se debe tener en cuenta, la veracidad de los datos y la lógica de los mismos, es decir, si realmente aportan y representan el desempeño de los DMU's que se quieran evaluar. De esta manera se consiguen resultados de calidad con los cuales se pueda hacer un análisis que permita la generación de nuevo conocimiento, en pro al mejoramiento del desempeño de los sistemas.

5.2 Conclusiones

Con base a los resultados y la discusión de los mismos es posible llegar a una serie de conclusiones las cuales responden a la situación problema. Estas conclusiones están encaminadas a caracterizar la situación en la que se encuentra el territorio colombiano, en términos de desempeño en la producción de hemocomponentes. Estos valores de eficiencia permiten generar un análisis alrededor de los hemocentros y finalmente caracterizar las regiones identificando las más y las menos productivas y bajo qué términos lo son. Además, la orientación del modelo sobre el cual se concluye resulta crucial para conocer de una manera más acertada, la situación de las regiones.

Es importante mencionar que se realizaron diferentes cálculos que permiten obtener información tanto general como específica de cada región. Es decir, que se analizaron eficiencias generales y cuartiles, como también los valores específicos de las mismas en las diferentes configuraciones corridas. Además, se clasificaron las regiones de Colombia en 5 categorías dependiendo de su desempeño. Estas se designaron en base al valor de eficiencia promedio. La primera categoría responde a las regiones con un 100% de eficiencia; la segunda responde a valores inferiores al 100% y desde el 90%; la tercera categoría responde a los DMU's que se encuentran entre 80 y 90%; la cuarta categoría representa las eficiencias menores a 80% y mayores al 70%; finalmente, la quinta categoría responde a las regiones con eficiencias promedio menores a 70%. Ahora bien, las siguientes conclusiones corresponden a los resultados obtenidos del modelo CCR orientado a entradas.

Teniendo en cuenta la aclaración anterior y de acuerdo a los resultados obtenidos de las cinco configuraciones, se evidenciaron que las regiones de Colombia presentan, en general, altos niveles de eficiencia con un promedio nacional de 84,58%. El 75% de las regiones evidencian una eficiencia menor a 91,41%. Además, el 50% de los DMU's tienen una eficiencia inferior al 83,39%. Estos valores se explican debido a que existen 3 regiones que tiene un promedio de eficiencia del 100%, es decir la categoría 1. Estas regiones son: Bogotá, Arauca y Caquetá, ellas aumentan los valores de los cuartiles calculados. Resulta claro que, en cada una de las configuraciones usadas, la eficiencia de los DMU's anteriores es del 100%. Es decir, que las variables usadas y las configuraciones no impactan negativamente en la capacidad productora de las unidades. Por el contrario, estas presentan un excelente desempeño en el uso de sus recursos. De acuerdo a la literatura estudiada (Cooper, Seiford, & Zhu 2011) se concluye que estos DMU's hacen parte de la frontera de eficiencia.

Además, regiones como Bolívar, Caldas, Huila, Quindío y Tolima presentan valores de eficiencia promedio mayores al 90% y menores al 100%, lo cual permite clasificarlas en la categoría 2. Estas regiones, presentan eficiencias promedio de 91,69%, 91,32%, 95,26%, 90,82% y 94,04%, respectivamente. Estos departamentos presentan características especiales. Por ejemplo, Caldas y Quindío, poseen eficiencias del 100% en las configuraciones 1, 2, 4 y 5. En la configuración 3 se observa eficiencias del 56,60% y 54,08%, respectivamente. En

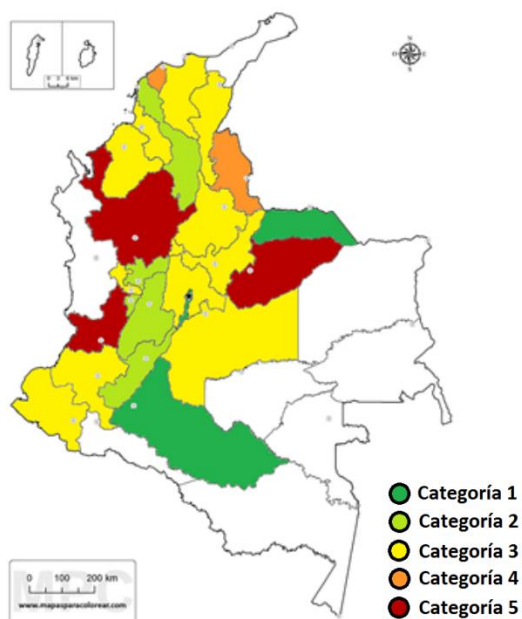
la configuración 3 se puede observar que se usa como entradas valores relacionados a las personas (coeficiente cultura de donación y donantes atendidos), esto quiere decir que las unidades observadas poseen deficiencia en este aspecto. Esto se puede dar por 2 razones: mecanismos de captación de donantes deficientes y/o el departamento posee una baja densidad demográfica. Caso similar sucede en Tolima, donde presenta la eficiencia más baja en la configuración 3 (76,81%). Sin embargo, hacen un uso óptimo de recursos económicos reflejado en la configuración 2 (100%).

Ahora bien, en la categoría 3 se encuentran los siguientes departamentos: Boyacá (89,39%), Cauca (83,59%), Cesar (81,27%), Córdoba (80,89%), Cundinamarca (81,06%), Sucre (86,99%), Magdalena (82,23%), Meta (80,34%), Nariño (88,54%), Risaralda (83,19%) y Santander (80,70%). En esta categoría destacan departamentos como Nariño y Boyacá los cuales presentan eficiencias del 100% en las 2 primeras configuraciones. Esto quiere decir que en términos generales son eficientes y en el uso de los recursos económicos también lo son. Sin embargo, en las restantes configuraciones no sostienen este nivel de productividad. Es importante aclarar que en las restantes configuraciones (3, 4 y 5) se involucra el número de donantes atendidos. Esto quiere decir que existe una debilidad en cuanto a esta entrada. Además, lo anterior se relaciona directamente con el bajo índice de donación en Colombia (World Health Organisation, 2017).

Otro departamento afectado por esta baja cultura de donación es el Norte de Santander el cual presenta eficiencias de 92,49% y 92,49% en las configuraciones 1 y 2. Estos valores se reducen a 64,31% en la configuración 3; 64,95% en la configuración No.4 y en la configuración 5 se reduce a 64,95%. Nuevamente, las últimas 3 configuraciones de las variables involucran la cantidad de personas atendidas en los hemocentros. Esta situación se presenta en la mayoría de las regiones debido a que es un problema que se presenta a nivel nacional. El Norte de Santander junto al Atlántico, conforman la categoría 4. Estos departamentos presentan eficiencias promedio de 75,84% y 79,98% respectivamente. En este último se evidencia que no existe un buen uso del dinero y el gasto repercute negativamente en el desempeño. Lo anterior se evidencia en la configuración 2 donde se ve una eficiencia de 77,28%, la más baja comparada con las demás configuraciones.

Por último, en la categoría 5 se encuentran los departamentos de Valle, Casanare y Antioquia. Como se mencionó anteriormente, estos departamentos se caracterizan por tener valores de eficiencias menores al 70%. Entrando en detalle las eficiencias promedio de estas regiones son 66,02%, 63,90% y 62,85%. Es notable que estos DMU's son los más deficientes en cuanto a la producción de hemocomponentes. Por lo tanto, se debe prestar especial atención a Casanare puesto que la eficiencia más baja (12,41%) corresponde a dicho departamento en la configuración 3 (coeficiente cultura de donación y donantes atendidos). Nuevamente, se presenta que la configuración No. 3 reduce drásticamente el desempeño de los DMU's. Por otro lado, Antioquia presenta su eficiencia más baja en la configuración 2 en la cual se involucran factores económicos y su valor es de

46,98%, el más bajo comparado con las otras configuraciones (66,82% para todas las restantes configuraciones). Finalmente, Valle presenta eficiencias regulares en las diferentes configuraciones (67,09%), con una pequeña disminución del desempeño en la configuración 2 (61,72%). A continuación, se observa la distribución geográfica de cada uno de los DMU's de dependiendo de la categoría asignada.



4. Distribución geográfica de las regiones según su categoría (orientado a entradas).

Por otro lado, cuando se observan los resultados del modelo DEA CCR orientado a salidas las 5 categorías y las eficiencias obtenidas de los departamentos, difieren significativamente de lo expuesto anteriormente. Además, se evidencia una reducción de 3,51% de la eficiencia promedio nacional, llegando al valor de 81,07%. Esto se debe a que este modelo busca reducir la cantidad de entradas necesarias para cumplir con la demanda actual de hemocomponentes. Es decir, que la orientación de este modelo se basa en la optimización del uso de las entradas. Esta variación en los resultados se puede deber a que, en Colombia por el bajo nivel de donación nacional, los hemocentros deben sostener la cantidad de donantes para producir los hemocomponentes que se solicitan en los centros de transfusión. En caso contrario, si se reduce la cantidad de donantes, no podrán cumplir con la demanda de componentes sanguíneos.

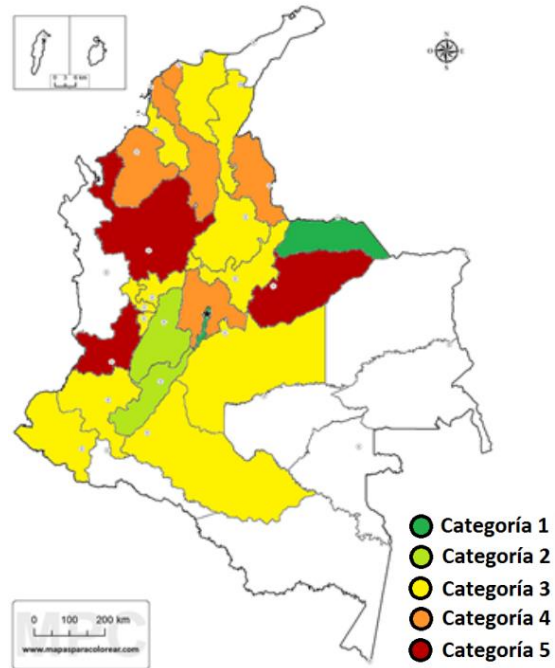
En este orden de ideas, resulta claro que las eficiencias obtenidas son menores a las iniciales, ya que para cumplir con la demanda actual no es posible reducir las entradas. Además, los cuartiles también se vieron reducidos, en este enfoque el 75% de los departamentos tienen eficiencias menores a 86,84% y el 50% de ellos presenta un promedio menor al 81,90%. Ahora bien, también se evidencia que Arauca y Bogotá siguen siendo los departamentos más eficientes, con un promedio del 100%. Es decir, que estos departamentos se mantienen en la frontera de producción y permanecen en la categoría No. 1. Sin embargo, Caquetá no sostiene

su eficiencia con este enfoque y se posiciona en la categoría No. 3. En la categoría 1 y 2 es posible ver una reducción en la cantidad de departamentos que lo conforman. En la categoría 2 se redujo a 2 departamentos: Huila y Tolima, con eficiencias promedio de 95,26% y 91,29% respectivamente. Huila posee eficiencias regulares en las diferentes combinaciones. Caso contrario con Tolima, donde se observa que tiene eficiencias del 100% en las primeras configuraciones, 76,81% en la configuración 3, siendo la más baja.

La categoría 3 sostuvo la cantidad de departamentos. Sin embargo, en esta modelo, esta categoría se conforma por: Boyacá (89,37%), Nariño (88,40%), Sucre (86,32%), Caquetá (85,06%), Risaralda (83,10%), Caldas (83,04%), Cauca (83,00%), Quindío (81,90%), Magdalena (81,89%), Cesar (81,27%) y Meta (80,34%). En esta categoría resaltan departamentos como Boyacá, Nariño, Quindío y Caquetá, los cuales presentan eficiencias de 100% en varias combinaciones. Este último departamento presenta la eficiencia más baja en esta categoría, con un 25,31% en la configuración 4, en las restantes presenta una eficiencia del 100%. Esto se debe a que las variables usadas en la configuración 4 (Inversión pública en salud, donantes atendidos y gasto) afectan significativamente el desempeño de esta región. Lo anterior se traduce en la imposibilidad de disminuir el nivel de inversión pública en la región, o disminuir el nivel de donantes ni aumentar los gastos, ya que no podría responder la demanda actual de hemocomponentes.

Por otra parte, los departamentos Bolívar (79,90%), Santander (79,47%), Atlántico (77,93%), N. Santander (75,84%), Cundinamarca (70,98%) y Córdoba (70,61%) conforman la categoría 4. En este enfoque existen 6 departamentos, a diferencia del enfoque a entradas, donde estaba conformado por 2 departamentos: N. Santander y Atlántico. En esta categoría los departamentos presentan eficiencias muy regulares en las diferentes configuraciones. En los DMU Cundinamarca, Córdoba y Bolívar se observa que las eficiencias más bajas las presentan en la configuración 4, estas son 26,16%, 31,51% y 30,68% respectivamente. Esto se debe a que, nuevamente, las combinaciones de las variables usadas impactan negativamente en la capacidad productora de las unidades observadas.

Por último, en la categoría 5 se observan los mismos departamentos que conforman la categoría en el modelo inicial: Casanare (61,92%), Valle (60,29%) y Antioquia (58,47%). En este modelo Antioquia presenta la eficiencia más baja, nuevamente, este departamento se posiciona como el menos eficiente. Además, Casanare sigue presentando la eficiencia más baja del todo el sistema, siendo esta de 12,41% en la configuración 2. Es importante mencionar que esta configuración hace uso de variables relacionadas a las personas, como lo son la cultura de donación y los donantes atendidos en el departamento. asimismo, en la figura 4 se observa la distribución geográfica de las regiones según la categoría a la cuál pertenecen.



5. Distribución geográfica de las regiones según su categoría (orientado a salidas).

Finalmente, en la tabla 11 se observa un resumen de los resultados obtenidos, en donde se identifican las regiones que componen.

Tabla 11. Resumen de los resultados obtenidos.

| Categoría | Eficiencia | Regiones | |
|------------------|-------------------|--|---|
| | | Orientado a entradas | Orientado a salidas |
| 1 | 100% | Arauca, Bogotá y Caquetá | Arauca y Bogotá |
| 2 | [90%-100%] | Bolívar, Caldas, Huila, Quindío y Tolima | Huila y Tolima |
| 3 | [80-90%] | Boyacá, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Sucre, Magdalena, Meta, Nariño, Risaralda y Santander | Boyacá, Nariño, Sucre, Caquetá, Risaralda, Caldas, Cauca, Quindío, Magdalena, Cesar y Meta. |
| 4 | [70%-80%] | N. Santander y Atlántico | Bolívar, Santander, Atlántico, N. Santander, Cundinamarca y Córdoba |
| 5 | < 70% | Valle, Casanare y Antioquia | Valle, Casanare y Antioquia |

5.3 Recomendaciones

En base al presente proyecto, los resultados conclusiones y demás, se encontraron diferentes brechas que permiten una futura mejora tanto del proyecto como de la caracterización de los bancos de sangre. Dichas brechas corresponden a una serie de recomendaciones con el objetivo de alcanzar dicha mejora.

Ahora bien, se recomienda utilizar otro modelo matemático más robusto que permita involucrar un número mayor de variables sin obstruir el cálculo de la eficiencia. Dado que, con el modelo usado en el presente proyecto, a mayor número de variables involucradas las eficiencias tienden estar más cercanas al 100%. Un ejemplo de esto es que las eficiencias de los departamentos tienden a ser mayores en la configuración 1, en donde se involucran todas las variables contempladas en el proyecto.

Además, para futuras investigaciones, no necesariamente enmarcadas en los bancos de sangre, se recomienda darle especial cuidado a la selección de las variables, porque de esto depende la confiabilidad de los resultados que se obtenga. Algunos factores a tener en cuenta son: En primer lugar, las posibles correlaciones que puedan existir. En segundo lugar, las posibles redundancias que pueda haber entre las variables, lo que se traduce en tener en cuenta más de una vez un tipo de variables. Y por último la fiabilidad de los datos.

Se recomienda realizar estudios que permitan caracterizar específicamente las regiones, estudiando más a fondo las regiones, los bancos que se encuentran en cada una de las regiones y características que presentan cada una de las regiones en aspectos culturales de donación

Anexos

Anexo 1. Regiones de Colombia involucradas en el estudio.

| No. | DMU's |
|-----|--------------------|
| 1 | Antioquia |
| 2 | Arauca |
| 3 | Atlántico |
| 4 | Bogotá |
| 5 | Bolívar |
| 6 | Boyacá |
| 7 | Caldas |
| 8 | Caquetá |
| 9 | Casanare |
| 10 | Cauca |
| 11 | Cesar |
| 12 | Córdoba |
| 13 | Cundinamarca |
| 14 | Huila |
| 15 | Magdalena |
| 16 | Meta |
| 17 | Nariño |
| 18 | Norte de Santander |
| 19 | Quindío |
| 20 | Risaralda |
| 21 | Santander |
| 22 | Sucre |
| 23 | Tolima |
| 24 | Valle |

Anexo 2. Matriz de correlación de variables de entrada.

| | Inversión pública en salud | Personas aptas para donar | Coefficiente cultura de donación | Costos del proceso de donación | Donantes potenciales ST | Donantes Aceptados ST | Donantes potenciales AF | Donantes Aceptados AF |
|----------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Inversión pública en salud | 1 | | | | | | | |
| Personas aptas para donar | 0,961806204 | 1 | | | | | | |
| Coefficiente cultura de donación | 0,187647374 | 0,217792072 | 1 | | | | | |
| Costos | 0,921884865 | 0,9525939 | 0,32576724 | 1 | | | | |
| Donantes potenciales ST | 0,927131331 | 0,913316633 | 0,40019597 | 0,93840828 | 1 | | | |
| Donantes Aceptados ST | 0,91726541 | 0,891252066 | 0,39672381 | 0,91353141 | 0,99661343 | 1 | | |
| Donantes potenciales AF | 0,602797894 | 0,63910771 | 0,74527227 | 0,69569735 | 0,69069081 | 0,67160465 | 1 | |
| Donantes Aceptados AF | 0,883087442 | 0,910568147 | 0,40840819 | 0,94373532 | 0,9459635 | 0,92395147 | 0,73973685 | 1 |

Anexo 3. Matriz de correlación de variables de salida.

| | % de aceptación de donantes ST | Unidades de sangre obtenidas ST | Sangre total ST | Glóbulos Rojos ST | Plasma fresco Congelado ST | Plasma Congelado ST | Plaquetas ST | Crioprecipitado ST | % Aceptación Af. | Glóbulos Rojos AF | Plaquetas AF | Plasma Fresco Congelado AF | Sangre Total Incineraciones | Glóbulos Rojos Inc | Plasma Fresco Congelado Inc | Plasma congelado y plasma residual Inc | Plaquetas Inc | Crioprecipitado Inc | Glóbulos Rojos Inc | Plaquetas Inc | |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|---------------------|--------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--|---------------|---------------------|--------------------|---------------|--|
| % de aceptación de donantes ST | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unidades de sangre obtenidas ST | -0,108948 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sangre total ST | -0,121508 | 0,925152 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Glóbulos Rojos ST | -0,056462 | 0,9803767 | 0,8715488 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plasma fresco Congelado ST | -0,023703 | 0,9500104 | 0,7974026 | 0,9684478 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plasma Congelado ST | -0,295129 | 0,5567112 | 0,7280853 | 0,4323411 | 0,2718457 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plaquetas ST | 0,0555588 | 0,9487546 | 0,8299212 | 0,9640943 | 0,9571217 | 0,3725032 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Crioprecipitado ST | -0,163983 | 0,8796375 | 0,6987434 | 0,8822824 | 0,8891766 | 0,3606941 | 0,8671357 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| % Aceptación Af. | -0,00054 | 0,0020517 | 0,1705064 | -0,003453 | -0,003053 | 0,010975 | -0,005036 | -0,018525 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Glóbulos Rojos AF | -0,335192 | 0,3309013 | 0,561354 | 0,188152 | 0,0355836 | 0,9379896 | 0,129876 | 0,0901203 | -0,011523 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Plaquetas AF | -0,130602 | 0,914223 | 0,7559153 | 0,9395987 | 0,9458439 | 0,2977866 | 0,8642285 | 0,8636145 | -0,017723 | 0,0587863 | 1 | | | | | | | | | | |
| Plasma fresco Congelado AF | -0,242683 | 0,4235374 | 0,3056381 | 0,405727 | 0,4674804 | 0,0850063 | 0,262092 | 0,4118889 | -0,023889 | -0,030973 | 0,6741038 | 1 | | | | | | | | | |
| Sangre Total Incineraciones | -0,073734 | 0,9748119 | 0,8823909 | 0,9696846 | 0,9737248 | 0,4191491 | 0,9302952 | 0,8568656 | -0,017458 | 0,2011934 | 0,9412879 | 0,5071017 | 1 | | | | | | | | |
| Glóbulos Rojos Inc | -0,070645 | 0,9853438 | 0,9423811 | 0,9579981 | 0,930711 | 0,5614293 | 0,9286511 | 0,8123594 | 0,002837 | 0,363789 | 0,8778737 | 0,3967149 | 0,9685197 | 1 | | | | | | | |
| Plasma fresco Congelado Inc | -0,130856 | 0,9848252 | 0,9434406 | 0,9483993 | 0,9293184 | 0,5710219 | 0,9155822 | 0,8130884 | -0,007371 | 0,377942 | 0,8913654 | 0,4575018 | 0,9736364 | 0,9887873 | 1 | | | | | | |
| Plasma congelado y plasma | 0,0528357 | 0,7927 | 0,6361631 | 0,7977713 | 0,7613129 | 0,4185732 | 0,812378 | 0,8370799 | -0,04206 | 0,1038848 | 0,740263 | 0,3046216 | 0,735849 | 0,7201436 | 0,7114832 | 1 | | | | | |
| Plaquetas Inc | 0,0558592 | 0,9034515 | 0,8526867 | 0,8967846 | 0,8664936 | 0,4729099 | 0,9318994 | 0,7599048 | -0,051333 | 0,2770999 | 0,7673323 | 0,1878524 | 0,8855408 | 0,901549 | 0,8964251 | 0,6833613 | 1 | | | | |
| Crioprecipitado Inc | -0,310913 | 0,4195686 | 0,2920505 | 0,3539956 | 0,3738172 | 0,3533109 | 0,408613 | 0,7120457 | -0,01589 | 0,2037548 | 0,3361421 | 0,1141055 | 0,3361341 | 0,3272994 | 0,3529493 | 0,5284054 | 0,3282998 | 1 | | | |
| Glóbulos Rojos Inc | 0,0214715 | 0,881326 | 0,8067082 | 0,8731976 | 0,909453 | 0,3078787 | 0,9143951 | 0,7242725 | -0,047048 | 0,1518847 | 0,7824203 | 0,2610582 | 0,9096235 | 0,9092198 | 0,89841 | 0,6128791 | 0,8528536 | 0,2716583 | 1 | | |
| Plaquetas Inc | -0,35256 | 0,7635359 | 0,8579878 | 0,6634987 | 0,560737 | 0,8716544 | 0,5564709 | 0,5216743 | -0,016196 | 0,7963621 | 0,6390124 | 0,4557118 | 0,6951066 | 0,7764815 | 0,8036506 | 0,451713 | 0,6196221 | 0,2775102 | 0,5515088 | 1 | |

BIBLIOGRAFÍA

- Arellano, R. (2010). *Marketing : enfoque américa latina*.
- Banker, A. R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis SOME MODELS FOR ESTIMATING TECHNICAL AND SCALE INEFFICIENCIES IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS *, 30(9), 1078–1092.
- Bobo, F. T., Woldie, M., Wordofa, M. A., Tsega, G., Agago, T. A., Wolde-Michael, K., ... Yesuf, E. A. (2018). Technical efficiency of public health centers in three districts in Ethiopia: Two-stage data envelopment analysis. *BMC Research Notes*, 11(1), 11–15. <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3580-6>
- Carter Bloodcare. (2018).
- Centro Regional de Transfusión Sanguínea de Granada y Almería. (n.d.). La aféresis.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations (pp. 1–39). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8_1
- Fontalvo Herrera, T. J. (2017). Eficiencia de las entidades prestadoras de salud (EPS) en Colombia por medio de análisis envolvente de datos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(4), 681–692. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400681>
- Instituto Canaria de Hemodonación y Hemoterapia. (n.d.).
- Osorio, A. F., Brailsford, S. C., Smith, H. K., & Blake, J. (2018). Designing the blood supply chain: how much, how and where? *Vox Sanguinis*, 1–10. <https://doi.org/10.1111/vox.12706>
- Pereira, A. (2006). Las economías de escala en los bancos de sangre : un estudio basado en análisis envolvente de datos, 308–315.
- Petrović, M., Bojković, N., Stamenković, M., & Anić, I. (2018). A Sensitivity Analysis of ELECTRE Based Stepwise Benchmarking for Policy: the Case of EU Digital Agenda. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 23(2), 57. <https://doi.org/10.7595/management.fon.2018.0003>
- SANGRE Y SERVICIOS DE TRANSFUSIÓN , INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. (2018).

Transplant, N. B. and. (2018). No Title.

Veihola, M., Aroviita, P., & Linna, M. (2006). BLOODCOMPONENTS Comparación internacional de la técnica e fi ciencia del componente preparación, 2109–2114.

Veihola, M., Kekoma, R., Linna, M., Sintonen, H., & Aroviita, P. (2008). Working hours and produced cellular components as variables to evaluate blood bank efficiency. *Transfusion Medicine*, 18, 241–249. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3148.2008.00875.x>

Williams, S. (1996). Pearson's correlation coefficient. *The New Zealand Medical Journal*, 109(1015), 38. <https://doi.org/10.1136/bmj.e4483>

World Health Organisation. (2017). *Global Status Report on Blood Safety and Availability*.

Betancourt, D. P., & Suárez, M. G. (n.d.). Política nacional de sangre.

DANE. (n.d.). Proyecciones de población. Retrieved March 25, 2019, from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

Microsoft. (n.d.). Solver - Soporte de Office. Retrieved March 26, 2019, from <https://support.office.com/es-es/article/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>