OPTIMIZACIÓN DE UNA RED DE ABASTECIMIENTO DE EFECTIVO EN UNA ENTIDAD BANCARIA DE COLOMBIA.

CATALINA MARIA VELASQUEZ POSADA

Director

LUIS FERNANDO MORENO VELASQUEZ. Msc

Co-Director

JUAN ESTEBAN CALLE SALAZAR. Msc

MEDELLÍN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE MINAS

2017

OPTIMIZACIÓN DE UNA RED DE ABASTECIMIENTO DE EFECTIVO EN UNA ENTIDAD BANCARIA DE COLOMBIA.

CATALINA MARIA VELASQUEZ POSADA

Trabajo final de maestría

Presentada como requisito para optar el título de Magíster en Ingeniería – Ingeniería de Sistemas

Director

LUIS FERNANDO MORENO VELASQUEZ, Msc.

Co Director

JUAN ESTEBAN CALLE SALAZAR. Msc

MEDELLÍN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE MINAS

2017

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo doy gracias a Dios por ser siempre mi guía y soporte para hacer realidad mis sueños. Sin él no tendría claridad en mi camino.

Agradezco a mis padres que han hecho de mí lo que soy, con su ejemplo de responsabilidad, rectitud y perseverancia por seguir nuestras pasiones he logrado disfrutar lo que hago.

Agradezco la presencia de Julian Gaviria en vida, persona que con su amor le ha dado luz y continuidad a mis días.

Gracias al profesor Luis Fernando Moreno por su apoyo incondicional y por ser un ejemplo de vida para mí. Su tranquilidad y sencillez con la que vive la vida es de admirar. Llevo siempre presente sus enseñanzas.

Gracias a Transportempo, en especial a Fabio Carvajal, que ha sido muy perseverante en brindarme el apoyo que he necesitado para realizar un aprendizaje continuo en mi profesión.

Gracias a mis amigos Juan Esteban Calle, Sergio Montoya e Ibeth Vergara por ser colegas apasionados de la modelación y brindarme su apoyo incondicional.

RESUMEN

La cadena de abastecimiento del efectivo es un sistema complejo, el cual se comporta de manera cíclica. Comienza en el Banco de la República con la producción, pasa por el sistema de circulación y almacenamiento en las diferentes bóvedas, continua con el transporte del producto hacia o desde las sucursales, ATM, entre otras y finaliza con el re-circulación en los diferentes nodos de la red y así satisfacer las necesidades de los clientes.

Este trabajo presenta un modelo integrado de abastecimiento que se utiliza para la toma de decisiones de la planeación táctico estratégica en una cadena de suministro de efectivo, a partir de premisas como la ubicación y cantidad fija de las sucursales y ATM, y unos clientes que retiran y consignan dinero de manera determinística sin diferenciar la denominación y estado del producto, para dar respuesta a las siguientes preguntas: De qué fondo abastecer las sucursales y ATM bajo las condiciones de asignación fija fondo-sucursal y fondo-ATM? ¿De qué fondo abastecer las sucursales y ATM bajo las condiciones de asignación variable fondo-sucursal y fondo-ATM? ¿Qué impacto genera el abastecimiento entre sucursales?

Para dar respuestas a los anteriores interrogantes, se implementó el software de optimización y simulación “Supply Chain Guru” de la casa Llamasoft; donde se trabaja en el diseño de la red, teniendo en cuenta restricciones específicas como capacidad de almacenamiento máxima y mínima, capacidad de transporte máxima y mínima, y unos rubros de costos del sector transporte de valores de Colombia; bajo la claridad que son resultados de datos modificados de un problema real.

En este trabajo se presenta la introducción al problema objeto de estudio, su respectiva justificación y objetivos; luego la caracterización de la red de abastecimiento del efectivo en Colombia, y finalmente se presenta el marco teórico que resume todos los conceptos relacionados con el problema, finalizando con el modelo y el análisis de los resultados.

ABSTRACT

In order to be competitive, companies must pay attention to their entire supply chain. In the case of cash flow, the analysis implies a cycling system with the production at the Bank of Repuplic and warehouse systems in source, and the distribution to final customers and storage in these final nodes.

This work studies an integrated transportation model for supporting tactical and strategical supply chain decisions for a bank in the Colombian financial institutions. Given an existing distribution network, a fixed location and quantity for branches and ATMs which don't have different product quality, a set of branches and a set of ATMs with a deterministic supply and demand that can be only satisfied from specific origins, the proposed model answers the next questions in order to minimize the distribution network costs and satisfy the expected demand:

For each branch and ATM, which fund should be connected with each one in terms of fixed assignment?

For each branch and ATM, which fund should be connected with each one in terms of variable assignment?

Which branches can be supplied by any branch and, how efficient it is?

The model is implemented in the optimization and simulation software "supply chain guru" from Llamasoft with transport and warehousing capacity restrictions.

This paper presents the introduction to the problem under study, its respective justification and objectives; then the characterization of the cash flow network in Colombia, and finally presents the theoretical framework that summarizes all the concepts related to the problem, finalizing with the model and the analysis of the results.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 9
1.1 Planteamiento del Problema 9
1.2 Justificación 15
1.3 Objetivos 16
1.3.1 Objetivo general 16
1.3.2 Objetivos específicos 16
2. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO Y LA GESTION DEL EFECTIVO EN COLOMBIA 17
3. MARCO TEÓRICO 24
3.1 Índice de desempeño logístico 24
3.2 Contextualización de una red de suministro 25
3.3 Modelación de una red de suministro 27
3.3.1 Definición de parámetros y variables. 29
3.3.2 Función Objetivo 30
3.3.3 Restricciones 31
3.3.4 Software utilizado 32
4. METODOLOGÍA UTILIZADA 35
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS 43
6. CONCLUSIONES 44
7. TRABAJOS FUTUROS 45
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46
Referencias 46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Evolución del número de Bancos en Colombia 17
Tabla 2. Número de puntos presenciales por entidad 19
Tabla 3. Lista de Índice de desempeño logístico..... 25
Tabla 4. . Nodos red entidad bancaria modelada..... 36
Tabla 5. Resultados de la validación del modelo. 40

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Posibles conexiones red abastecimiento de efectivo de una entidad bancaria. 10
Ilustración 2. Diagrama causal del sistema de abastecimiento de efectivo en una entidad bancaria 11
Ilustración 3. Cobertura nacional de Bóvedas (Fondos) 12
Ilustración 4. Cobertura nacional de sucursales 13
Ilustración 5. Cobertura nacional de ATM 13
Ilustración 6. Estadístico H2 18
Ilustración 7. Participación por entidad en la cartera de consumo 18
Ilustración 8. Porcentaje preferencia pagar en efectivo 20
Ilustración 9. Vista general del complejo Banco de la República 21
Ilustración 10. Descripción proceso Imprenta Billetes, Banco de la República 21
Ilustración 11. Costos perfil Pagador 22
Ilustración 12. Costos perfil Receptor 22
Ilustración 13. Índice de desempeño logístico 25
Ilustración 14. Cadena de abastecimiento. 26
Ilustración 15. Estructura dimensional de la Cadena de Suministro 29
Ilustración 16. Liderazgo Llamasoft a nivel mundial 33
Ilustración 17. Optimización de redes 33
Ilustración 18. Optimización de flujos 34
Ilustración 19. Estructura del comportamiento de la red actual 37
Ilustración 20. Representación comportamiento sucursal en SCG 38
Ilustración 21. Representación del comportamiento ATM en SCG 38
Ilustración 22. Representación del comportamiento BanRep en SCG 39
Ilustración 23. Representación comportamiento Red actual en SCG 39
Ilustración 24. Representación del comportamiento Desbalanceo de Fondos 41
Ilustración 25. Representación comportamiento múltiple asignación 42
Ilustración 26. Representación comportamientos Sucursales-Sucursal 42

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

Uno de los temas más importantes en logística es el diseño de la red de abastecimiento (Vidal, 2006). Las principales razones que dan origen a la existencia de inventarios son los tiempos y costos de transporte de los productos, la aleatoriedad en los tiempos de entrega, y el nivel de servicio de los proveedores (Silver, David F, & Peterson, 1998).

Para entender el problema de abastecimiento de efectivo en Colombia, vale la pena enmarcar el proceso de distribución dentro de toda la cadena de abastecimiento del efectivo. Inicialmente, el efectivo es producido en el Banco de la República (Central de efectivo) para ser distribuido hacia los bancos de todo el país. La Central de Efectivo fue concebida como un complejo industrial que integra en un solo espacio físico las actividades tales como producción de Billetes, clasificación y distribución de efectivo, almacenamiento y recuperación automatizada de efectivo (Banco de la República, 2012). Las actividades que se desarrollan en el Banco de la República permiten alcanzar máxima eficiencia y seguridad para suplir las necesidades de efectivo de las instituciones financieras a nivel nacional y la demanda potencial de otros países.

Una red de abastecimiento de efectivo está compuesta por cinco nodos importantes que interactúan entre sí para la adecuada gestión: en primer lugar, está conformada por la Central de efectivo (Banco de la República) quién se encarga de la producción y renovación de efectivo. En este nodo, la entidad bancaria modelada compra, cambia efectivo deteriorado y/o almacena el dinero sobrante para que las áreas encargadas de realizar las inversiones utilicen el dinero disponible para dicha función. Este nodo tiene presencia en 29 ciudades tales como Armenia, Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga, Buenaventura, Cali, Cartagena, Cúcuta, Florencia, Girardot, Medellín, Montería, Honda, Ibagué, Ipiales, Leticia, Manizales, Neiva, Pasto, Pereira, Popayán, Quibdó, Riohacha, San Andrés, Santa Marta, Sincelejo, Tunja, Valledupar, Villavicencio; otro nodo perteneciente a la red son las bóvedas(fondos) de las trasportadoras de valores, lugar en el cual se almacena el efectivo. Las transportadoras que trabajan con la entidad bancaria modelada en este trabajo son Brinks, Prosegur, Transvasur, G4S y Atlas, cada una con una cobertura y participación diferente, además de tener restricción en la capacidad máxima de almacenamiento; Además, se tienen dos nodos que hacen parte de la entidad bancaria los cuales son las sucursales y ATM. Cada uno de éstos posee una capacidad máxima de almacenamiento y una necesidad de atender una demanda. Para el caso específico de esta entidad bancaria, los ATM sólo entregan dinero y las sucursales tienen la característica tanto de entregar como recibir dinero a clientes; Finalmente, se cuenta con el nodo que representa el cliente institucional a quien la entidad bancaria le vende efectivo.

Para fines de este trabajo todos los nodos permanecen fijos en el mismo lugar y sin opción de mover, cerrar o abrir nuevos nodos, ya que responden a una estrategia comercial que obliga a que este supuesto sea una restricción para la modelación.

A través de los nodos anteriormente nombrados se presenta flujo de un único producto llamado dinero, el cual no se clasificó por denominación y/o estado para el trabajo presente. El transporte del producto es realizado por las trasportadoras de valores, cada una ofrece un precio fijo y variable de acuerdo al monto de dinero, al tipo de transporte que se realice y al horizonte de tiempo que se tenga para realizarlo. El tipo de transporte

esta categorizado según la distancia que se vaya a recorrer, entre más distancia exista entre el nodo de origen y destino mayor es el precio; Y según el horizonte de tiempo, sí los transportes son programados con un periodo de antelación el costo es menor que el que se programa para ser ejecutado el mismo día. Los flujos existentes en la red modelada se ilustran en la siguiente Ilustración.

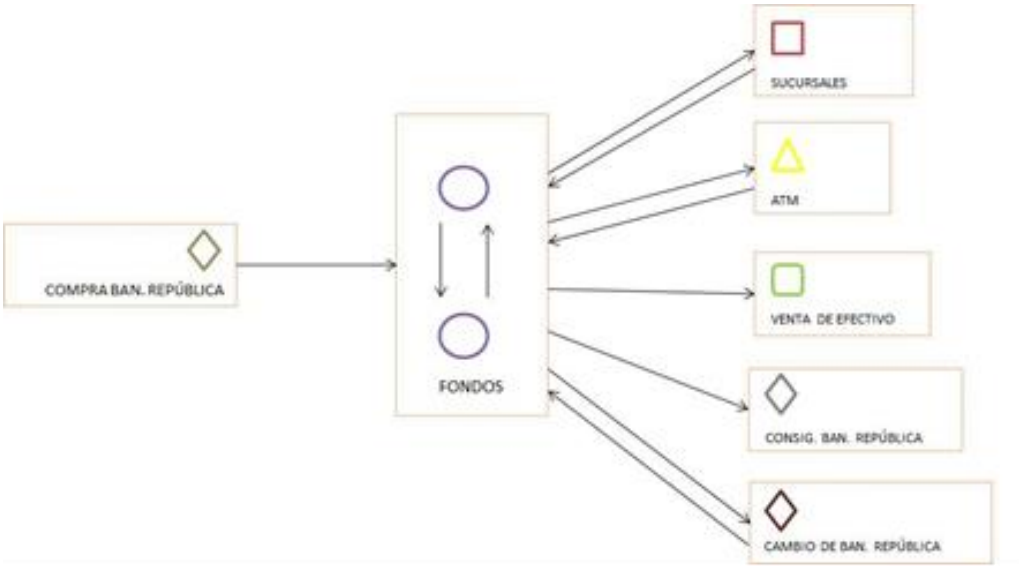

Ilustración 1. Posibles conexiones red abastecimiento de efectivo de una entidad bancaria.
Fuente: Desarrollo propio

Como se observa en la ilustración 1 el flujo de dinero se puede presentar de las siguientes maneras:

- Fondo-Fondo: cuando algún fondo se encuentra superávit o con déficit para abastecer algún nodo.
- Fondo-Banco de la República: cuando existe dinero deteriorado en los fondos y/o dinero sobrante en la red el cual la entidad bancaria puede decidir consignar en el banco de la Republica para ser utilizada en inversiones.
- Banco de la República-Fondo: cuando la entidad bancaría tiene escasez de dinero en toda la red y necesita comprar en el banco de la República.
- Fondo-Venta de efectivo: cuando la entidad bancaria decide vender efectivo a los clientes institucionales.
- Fondo-ATM-Fondo: cuando el ATM posee bajo inventario para abastecer la demanda. Para la entidad bancaria modelada, la mínima cantidad de dinero que debe existir es el 20% de la capacidad de almacenamiento del ATM. Además, cada que se abastece debe ser con la cantidad total de la capacidad, por ende el remanente es transportado hacia el fondo.
- Fondo-Sucursal-Fondo: cuando la sucursal necesita un abastecimiento o recogida de dinero.

Según lo anterior, tradicionalmente, las entidades bancarias han diseñado su red de abastecimiento sumamente rígida haciendo que los flujos de dinero siempre pasen por los fondos para luego ser llevadas al destino final generando así un sobrecosto de transporte, almacenamiento y preparación de dinero en las bóvedas.

La toma de decisiones de cuánto y cuándo realizar un transporte entre los nodos anteriormente nombrados se realiza de manera centralizada y descentralizada. Para el flujo entre Fondo-Sucursal, cada gerente de sucursal es quién decide, por experiencia, ésta operación generando por lo general overstock y en ocasiones más de dos transportes al día ya que no se cuenta con un método científico que ayude a predecir el comportamiento del efectivo en dichos nodos. Mientras que para el flujo entre Fondo-Venta de efectivo, Fondo-Fondo y Fondo-Banco de la República es programada de manera centralizada por un asesor de la entidad bancaria.

Como se puede observar en la ilustración 2, existen tanto costos de operación como costos de oportunidad dentro de la distribución del efectivo. Además, se ilustra cómo el dinero debe pasar siempre por los fondos para luego ser utilizado en algún nodo, dinámica la cual vale la pena ser evaluada y cuestionada dentro de la optimización a desarrollar.

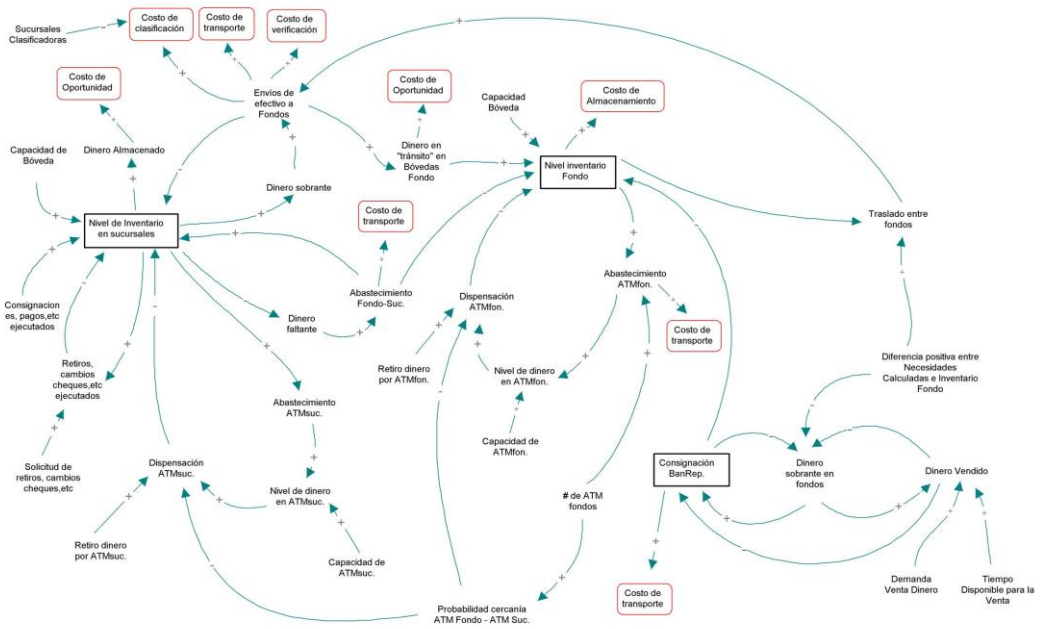

Ilustración 2. Diagrama causal del sistema de abastecimiento de efectivo en una entidad bancaria (Fuente: Desarrollo propio)

Se trata entonces de una red de transporte para un único producto re circulante, con varios tipos de transporte y costos. Los costos que componen la red son los siguientes:

- Costos fijos
  - ✓ Transporte entre nodos según la distancia y el horizonte de tiempo.

- Costos Variables
  - ✓ Almacenamiento y preparación en el fondo según el monto.
  - ✓ Consignación en el banco de la República según monto y tiempo de almacenamiento.
  - ✓ Compra de efectivo al Banco de la República según monto.
  - ✓ Transporte entre nodos según monto de efectivo.

- ✓ Costo financiero según el monto de dinero ocioso en algún nodo. (Costo de oportunidad)

Una vez clasificados los costos, el reto es disminuir el costo logístico de distribución y, para este caso en particular, el costo financiero de oportunidad. Vale la pena nombrar los comportamientos que hacen que estos costos aumenten:

- ✓ Existen varios fondos por ciudad y debido a que la red es fija, es decir la asignación de fondo a sucursal y ATM se definió en la apertura de dichos nodos sin ningún método científico, se presenta desbalanceo de fondos y por ende incremento en los transportes entre fondos ya que existen sucursales más Receptoras o Pagadoras de dinero y a su vez ATM que demandan más dinero que otros.

- ✓ La dependencia, en que el dinero debe siempre pasar por un fondo, hace que los costos de preparación, almacenamiento y financiero aumenten debido al tiempo que requiere este proceso antes del dinero poder ser utilizado.

- ✓ La descentralización y falta de método matemático en la toma de decisiones hace que se realicen decisiones inadecuadas en la venta del efectivo y la consignación en el Banco de la república. Además de generar transportes innecesarios entre Fondos-ATM.

Es importante resaltar que actualmente se tiene en el modelo una red de abastecimiento base, con unas sucursales, ATM y fondos con su respectiva ubicación e histórico de flujos y demanda. A continuación, se presenta la red base:

Ilustración 3. Cobertura nacional de Bóvedas (Fondos)
(Fuente: Desarrollo propio)

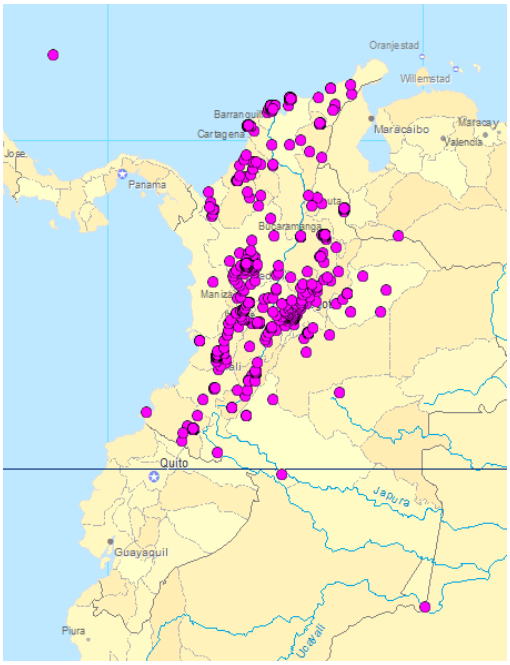

Ilustración 4. Cobertura nacional de sucursales
(Fuente: Desarrollo propio)

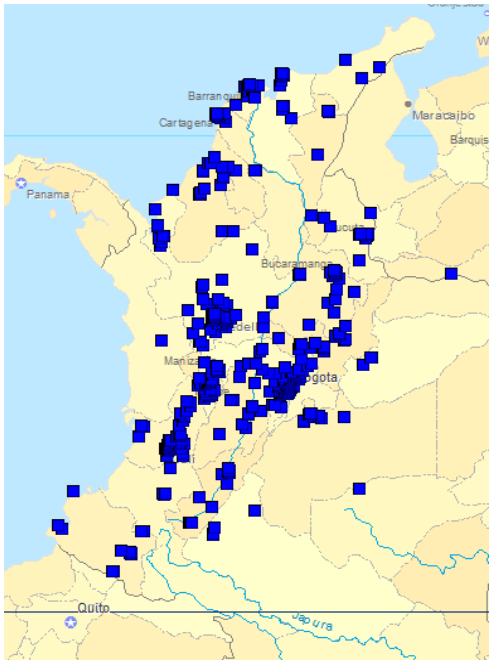

Ilustración 5. Cobertura nacional de ATM
(Fuente: Desarrollo propio)

Teniendo en cuenta lo anterior, se debe entonces plantear una estrategia que permita el balanceo de fondo reasignando los nodos y/o teniendo una asignación libre entre Fondo-Sucursal y Fondo-ATM de acuerdo al comportamiento dinámico que se estará presentando en cada periodo de tiempo. Además de una toma de decisión centralizada con método que mitigue los transportes innecesarios.

En este sentido, se quiere dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué pasaría sí se habilita el flujo de dinero entre sucursales sin tener que pasar el dinero por los fondos de las transportadoras?

- ¿Desde qué fondo se deben abastecer los cajeros y las sucursales teniendo en cuenta una única asignación fija durante todo el periodo del contrato con las transportadoras de valores?

- ¿Desde qué fondo se deben abastecer los cajeros y las sucursales teniendo en cuenta múltiples asignaciones durante todo el periodo del contrato con las transportadoras de valores?

1.2 Justificación

El uso de herramientas analíticas para diseñar la cadena de abastecimiento de las organizaciones en nuestro medio no es muy usual, muestra de ellos es la situación que se presenta en muchas compañías distribuidoras: “Se tiene mucho de lo que no se vende y escasea lo que realmente se vende”. Desde ya hace varias décadas han surgido metodologías para mejorar los procesos de administración de la cadena de abastecimiento y hoy en día existen en el mercado muchas herramientas tecnológicas para la administración de los mismos. Sin embargo, en las entidades bancarias en Colombia no es común hacer uso de este tipo de herramientas para la toma de decisiones inteligente.

En la cadena de suministro, los costos de transporte e inventario son los más significativos, y estos son los que impactan de mayor forma el rendimiento de la empresa, es decir su rentabilidad (Vidović, Popović, & Ratković, 2013).

Históricamente el estudio de los flujos que se presentan en una cadena de suministros se ha centrado en los flujos de materiales y en los flujos de información, pero la integración de las variables financieras a través de ésta ha sido pasada (Gunasekaran, Lai, & Edwin Cheng, 2008) desaprovechando los beneficios que se pueden obtener en la optimización del flujo financiero. Es por esto que las entidades bancarias, para tener un producto competitivo en el mercado y menor costo de oportunidad financiera en su distribución, deben hacer uso de modelos matemáticos y software de optimización que soporte la toma de decisiones abarcando la totalidad de variables y objetivos existentes en el comportamiento del sistema de abastecimiento del efectivo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Optimizar el costo de una red de abastecimiento de una entidad bancaria teniendo en cuenta un comportamiento de flujo de efectivo del año 2015.

1.3.2 Objetivos específicos

- Conocer una operación nacional de abastecimiento de efectivo de una entidad bancaria.
- Revisar literatura frente a los softwares para optimizar las redes de abastecimiento.
- Construir un modelo base, en Supply Chain Guru, del proyecto con información histórica de una entidad bancaria del año 2015.
- Validar el modelo base frente al efectivo histórico transportado, los costos fijos de la red y los costos variables por tipo de transporte asociados a dicho modelo.
- Presentar un diseño de red, indicando de qué fondo abastecer las sucursales y ATM bajo las condiciones de asignación fija fondo-sucursal y fondo-ATM.
- Evaluar el escenario en el que se puede hacer abastecimiento entre sucursales.
- Evaluar el escenario en el que se puede hacer asignación Fondo-sucursal y Fondo-ATM variable.
- Implementar el(los) modelo(s) elaborado(s) en el software de Supply Chain Guru de Llamasoft.
- Realizar presentación comparativa con los resultados obtenidos en la optimización.

2. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO Y LA GESTION DEL EFECTIVO EN COLOMBIA

Básicamente el Sistema Financiero (llamado también Sector Financiero) es el conjunto de instituciones que, previamente autorizadas por el Estado, están encargadas de captar, administrar e invertir el dinero tanto de personas naturales como de personas jurídicas (nacionales o extranjeras). Hacen parte del Sistema Financiero aquellas entidades que se encargan de prestar servicios y facilitar el desarrollo de múltiples operaciones financieras y comerciales (Dueñas, 2008).

El balance del sector bancario a diciembre de 2015 fue satisfactorio. De acuerdo con las cifras más recientes del Banco Mundial, el estadístico H que mide el grado de competencia (donde uno (1) corresponde a una estructura de mercado con competencia perfecta y cero (0) a la existencia de un monopolio), pasó de 0,57 en 2011 a 0,61 en 20131. Hecho que se explica por la entrada de nuevos participantes al sistema bancario colombiano, lo cual sin duda le ha permitido ser más competitivo y ofrecer un amplio portafolio de productos (Asobancaria, 2015).

La profundización de cartera medida como la relación de cartera bruta sobre el Producto Interno Bruto (PIB) ha presentado un ritmo acelerado de crecimiento anual del 34,7%, pasando de un 25,6% en diciembre de 2009 a un 43,9% en 2015. De forma similar, el nivel de activos totales como porcentaje del PIB también presenta un crecimiento significativo anual del 51,3% creciendo del 40,1% al 63% durante el mismo periodo (Asobancaria, 2015).

En los últimos años la banca ha experimentado una transformación que ha permitido garantizar un mayor grado de competitividad en el sector. Esto ha sido posible gracias a varios factores entre los que se destacan; (i) la reducción del costo de los servicios financieros; (ii) las herramientas tecnológicas que han permitido ampliar la cobertura de los servicios financieros a nivel nacional, y (iii) una amplia oferta de productos acorde con las necesidades de todos los usuarios. Desde 2009 han incursionado diez nuevas entidades en el mercado crediticio, estas son: la Fundación WWB (2010), Bancoomeva (2011), Finandina (2011), Falabella (2011), Pichincha (2011), y Coopcentral (2013), Santander de Negocios (2013), Banco Mundo Mujer (2014), Banco Multibank (2014), y a inicios de 2015, entró en funcionamiento Bancompatir. Hecho que le ha permitido al sector bancario tener a disposición de los clientes un portafolio de productos más integral (Asobancaria, 2015).

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Bogotá	Bogotá	Bogotá	Bogotá	Bogotá	Bogotá	Bogotá	Bogotá
Popular	Popular	Popular	Popular	Popular	Popular	Popular	Popular
Santander Colombia	Santander Colombia	Santander Colombia	Santander Colombia	Corpbanca	Corpbanca	Corpbanca	Corpbanca
Bancolombia	Bancolombia	Bancolombia	Bancolombia	Bancolombia	Bancolombia	Bancolombia	Bancolombia
Scotiabank Colombia	Scotiabank Colombia	Scotiabank Colombia	Scotiabank Colombia	Scotiabank Colombia	Citibank	Citibank	Citibank
Citibank	Citibank	Citibank	Citibank	Citibank	HSBC Colombia	GNB Sudameris	GNB Sudameris
HSBC Colombia	HSBC Colombia	HSBC Colombia	HSBC Colombia	HSBC Colombia	GNB Sudameris	BBVA Colombia	BBVA Colombia
GNB Sudameris	GNB Sudameris	GNB Sudameris	GNB Sudameris	GNB Sudameris	BBVA Colombia	Occidente	Occidente
BBVA Colombia	BBVA Colombia	BBVA Colombia	BBVA Colombia	BBVA Colombia	Helm Bank	Caja Social BCSC	Caja Social BCSC
Helm Bank	Helm Bank	Helm Bank	Helm Bank	Helm Bank	Occidente	Davivienda	Davivienda
Occidente	Occidente	Occidente	Occidente	Occidente	Caja Social BCSC	Red Multibanca Colpatria	Red Multibanca Colpatria
Caja Social BCSC	Caja Social BCSC	Caja Social BCSC	Caja Social BCSC	Caja Social BCSC	Davivienda	Agrario de Colombia	Agrario de Colombia
Davivienda	Davivienda	Davivienda	Davivienda	Davivienda	Red Multibanca Colpatria	AV Villas	AV Villas
Red Multibanca Colpatria	Red Multibanca Colpatria	Red Multibanca Colpatria	Red Multibanca Colpatria	Red Multibanca Colpatria	Agrario de Colombia	Procredit Colombia	Procredit Colombia
Agrario de Colombia	Agrario de Colombia	Agrario de Colombia	Agrario de Colombia	Agrario de Colombia	AV Villas	Bancamía	Bancamía
AV Villas	AV Villas	AV Villas	AV Villas	AV Villas	Procredit Colombia	WWB	WWB
Procredit Colombia	Procredit Colombia	Procredit Colombia	Procredit Colombia		Bancamía	Coomeva	Coomeva
Bancamía	Bancamía	Bancamía	Bancamía	Bancamía	WWB	Finandina	Finandina
		WWB	WWB	WWB	Coomeva	Falabella	Falabella
			Coomeva	Coomeva	Finandina	Pichincha	Pichincha
			Finandina	Finandina	Falabella	Cooperativo Coopcentral	Cooperativo Coopcentral
			Falabella	Falabella	Pichincha	Santander de Negocios	Santander de Negocios
			Pichincha	Pichincha	Cooperativo Coopcentral	Banco Mundo Mujer	Banco Mundo Mujer
					Santander de Negocios	Banco Multibank	Banco Multibank (1)
							Banco Compartir (2)
18	18	19	23	23	24	24	25

Tabla 1. Evolución del número de Bancos en Colombia
Fuente: (Asobancaria, 2015)

A nivel internacional existen diferentes indicadores que permiten establecer el nivel de competencia, tales como el estadístico H, el indicador C3, y el Índice de Herfindahl y Hirschman (IHH). El estadístico H, donde uno (1) corresponde a una estructura de mercado con competencia perfecta y cero (0) a la existencia de un monopolio, indica que el sector bancario colombiano tiene un grado de competencia igual al promedio de América Latina, y los países de ingresos altos y medios. Este índice pasó de 0,57 en 2011 a 0,61 en 2013, lo cual indica que la entrada de nuevos jugadores ha permitido al sistema bancario colombiano ser más competitivo y ofrecer un amplio portafolio de productos.

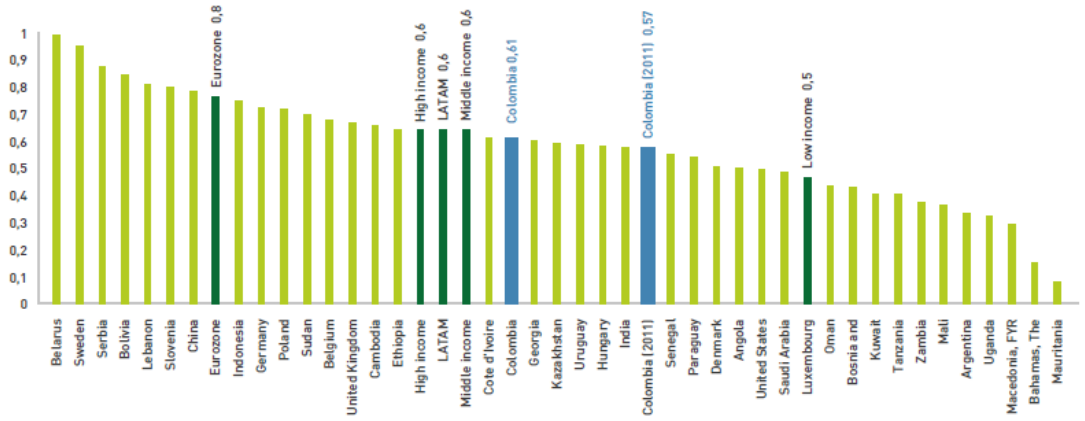

Ilustración 6. Estadístico H2
Fuente: (Asobancaria, 2015)

En la modalidad de consumo se resalta la baja concentración de la cartera con participaciones por entidad que no superan el 14%. De esta manera, el 70,9% del total se encuentra distribuido entre siete bancos: Davivienda (13,6%), Bancolombia (13,4%), BBVA (12,7%), Bogotá (9,4%), Popular (8,1%), Colpatria (7,2%) y Occidente (6,5%).

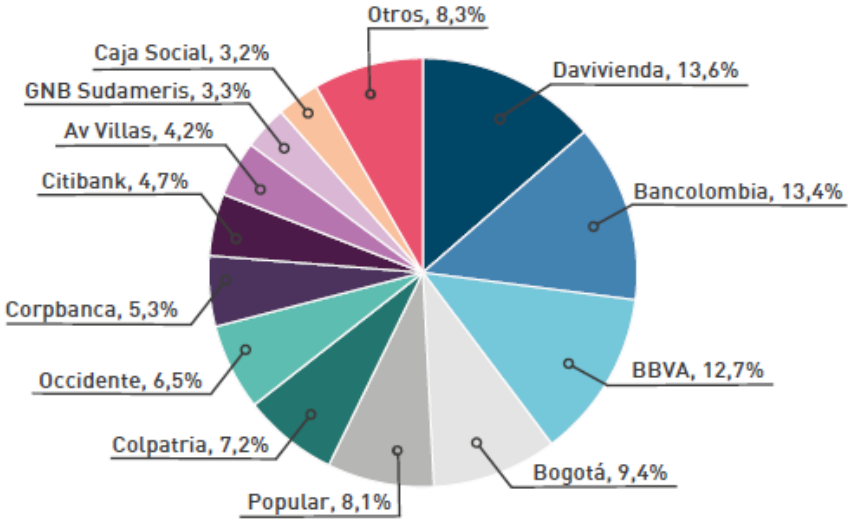

Ilustración 7. Participación por entidad en la cartera de consumo
Fuente: (Asobancaria, 2015)

Son varios los canales con los cuales cuenta el sistema bancario para que sus clientes, de acuerdo con sus preferencias y necesidades, puedan acceder a los diferentes productos y servicios financieros. La naturaleza de cada uno está supeditada a la disposición de las entidades de atender a la banca de personas o de empresas.

Actualmente los canales de distribución comprenden oficinas, datáfonos, cajeros automáticos (ATM por sus siglas en ingles), audio respuesta, internet, telefonía móvil, ACH (transferencia electrónica de fondos entre bancos y cooperativas de crédito a través de lo que se conoce como la red de Cámara de Compensación Automatizada), débitos automáticos y corresponsales bancarios. El número de los puntos presenciales, que incluyen a los corresponsales bancarios (CB), las oficinas, los datafonos y los cajeros automáticos, mostraron un ritmo de crecimiento sostenido en el periodo comprendido entre el 2008 y el 2014. Sin embargo, en lo corrido de 2015 hubo una disminución en los datafonos y corresponsales bancarios. Mientras que los primeros disminuyeron en un 7% pasando de 342.727 en 2014 a 317.204 en 2015, los segundos disminuyeron un 6% en el último semestre pasando de 94.264 en julio a 88.290 en diciembre.

A diciembre de 2015, el número total de puntos presenciales de los establecimientos bancarios descendió a 426.085 disminuyendo un 2% con relación al 2014 debido a la reducción de los datafonos y corresponsales bancarios. Las cifras de la tabla siguiente muestran que los bancos que lideran el ranking con el mayor número de puntos presenciales son Bancolombia, Av Villas y Bogotá; el primero con el mayor número de cajeros y oficinas, y el segundo con la mayor cantidad de CB. Se resalta el crecimiento de Bancamia, WWB y Citibank.

Entidad	Oficinas	Cajeros automáticos	Datáfonos	CB	Total 2015	Total 2014	Crecimiento
Bancolombia	800	4.014	6.188	6.595	17.597	16.927	4%
AV Villas	285	568	1.081	14.035	15.969	17.282	-8%
Bogotá	762	1.747	2.041	7.866	12.416	16.473	-25%
Occidente	241	345	-	9.637	10.223	8.823	16%
Caja Social	263	650	-	9.134	10.047	9.679	4%
Citibank	83	452	-	9.347	9.882	8.008	23%
Colpatria	185	327	-	8.703	9.215	8.585	7%
BBVA	475	1.302	-	7.136	8.913	12.836	-31%
Davivienda	590	1.727	-	4.768	7.085	6.860	3%
Bancamía	201	-	-	5.436	5.637	1.937	191%
Agrario	748	-	-	3.969	4.717	5.927	-20%
Popular	237	1.157	-	204	1.598	1.596	0%
WWB	140	-	-	1.021	1.161	853	36%
Coomeva	92	-	387	1	480	752	-36%
Bancompartir	87	-	-	317	404	-	-
Corpbanca	166	182	-	-	348	350	-1%
Banco Mundo Mujer	149	-	-	64	213	-	-
Falabella	57	48	-	57	162	153	6%
GNB Sudameris	135	-	-	-	135	127	6%
Pichincha	44	37	-	-	81	78	4%
Coopcentral	14	-	-	-	14	14	0%
Finandina	13	-	-	-	13	13	0%
Procredit	7	4	-	-	11	9	22%
Multibank	9	-	-	-	9	-	-
Santander	1	-	-	-	1	1	0%

Tabla 2. Número de puntos presenciales por entidad
Fuente: (Asobancaria, 2015)

A los colombianos les gusta pagar en efectivo. Sin tener en cuenta que 90% de las transacciones que se hacen son con papel moneda, cifras de Asobancaria muestran como la preferencia por este método de pago llega a 48,1% de la población, lo que hace que el país esté entre los 10 países (de 38) con mayor gusto por el dinero físico. (ANDI, 2014)

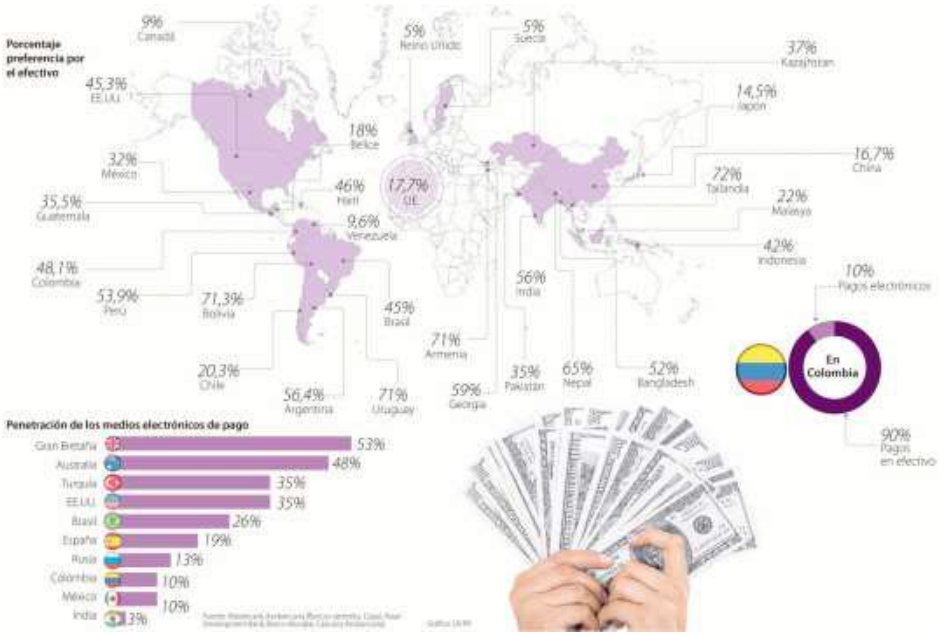

Ilustración 8. Porcentaje preferencia pagar en efectivo
Fuente: (ANDI, 2014)

Así, se puede decir que uno de cada dos consumidores en Colombia, prefiere usar el efectivo, una tendencia que superan tan solo tres países de la región, Bolivia con un indicador de 71,3%, Argentina con 56% y Perú, que cuenta con 54%. Este comportamiento, como explica César Corredor, director de economía de la Universidad de La Salle, se da por tres factores. “En primer lugar, es un tema cultural y de desconfianza hacia el sistema financiero por la percepción de altos costos, lo que se suma al impuesto 4x1.000 que hace que muchos consumidores del país prefieran transar con efectivo y por último, la alta informalidad que todavía hay entre los servicios financieros”. Igualmente, Guillermo Botero, presidente de Fenalco, señala que los altos niveles de uso de efectivo tienen una explicación muy clara, los altos costos de los medios electrónicos. “La gente prefiere utilizar el efectivo porque es más barato, hay que tener en cuenta que, en las tarjetas de crédito y débito, los manejos valen mucho, al igual que los cheques, mientras que la rentabilidad que se ofrece, no es alta”. Pero en Latinoamérica, no todos los países presentan una preferencia tan alta. Siguiendo con la lista, se encuentra Brasil con 45%, Uruguay que tiene 36%, México 32%, Chile de 20% y en la mejor posición, Venezuela con 9,6%.

El Banco de la República es la única entidad autorizada para emitir y poner en circulación el efectivo (billetes y monedas). La emisión de moneda legal responde a estudios sobre requerimiento de efectivo por parte del público, el ritmo de crecimiento de la economía, el crecimiento de la población colombiana y el deterioro del dinero en circulación (Dueñas, 2008). Por medio de La Política Monetaria, el Banco de la República mantiene una oferta de dinero acorde con el normal desarrollo de la actividad económica (demanda de dinero) y la estabilidad de los precios (inflación).

El banco de la república es también conocido como La Central de Efectivo, el cual fue concebido como un Complejo Industrial que integra en un solo espacio físico las siguientes actividades: Producción de Billetes, Clasificación y Distribución de Efectivo, Almacenamiento y Recuperación automatizada de Efectivo e Investigación y Desarrollo. Estas actividades permiten alcanzar máxima eficiencia y seguridad para suplir las necesidades de efectivo de las instituciones financieras a nivel nacional y la demanda potencial de otros países (Banco de la República, 2012)

Ilustración 9. Vista general del complejo Banco de la República
Fuente: (Hernandez Correa, 2008)

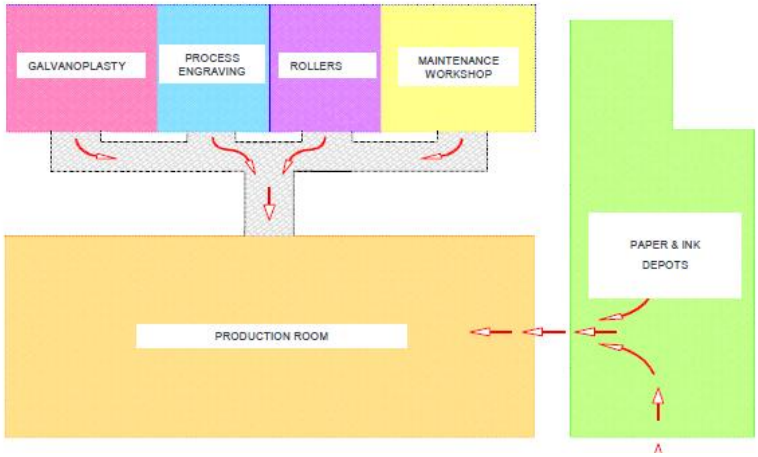

Ilustración 10. Descripción proceso Imprenta Billetes, Banco de la República
Fuente: (Hernandez Correa, 2008)

En las dos ilustraciones anteriores podemos observar gráficamente el complejo del Banco de la república, donde se realiza de manera eficiente y segura la producción del efectivo, y el proceso detallado de dicha actividad.

Las sucursales de bancos comerciales se clasifican, según su estrategia y nicho de mercado (tipo de clientes y operaciones), en dos tipos de perfiles: **Banco Receptor**, aquellos que reciben volúmenes de efectivo superiores a los que necesitan para prestar sus servicios; **Banco Pagador** aquellos que presentan faltantes de efectivo ya que sus necesidades son mayores a sus captaciones.

En una ciudad receptora los bancos comerciales tienen mayor acceso a fuentes de efectivo más económicas. El exceso lo consignan en el Banco de la República y/o envían remesas. Mientras que, en ciudades pagadoras las fuentes de efectivo para los bancos son más costosas, los faltantes de efectivo se cubren con retiros del Banco de la República y/o recibiendo remesas. Además, existe un mercado interbancario de efectivo en el cual los Bancos Receptores venden su efectivo sobrante a los Bancos Pagadores, esta posibilidad es más recurrente ya que el 4 x mil ha afectado la circulación de efectivo y los banco prefieren recircular el efectivo o recurrir a otra fuente, antes que al Banco de la República, por ende el mayor costo en el que incurren los bancos

comerciales en Colombia corresponde al transporte de efectivo y no a los retiros de efectivo del Banco de la República (Hernandez Correa, 2008).

En la ilustración 11 e ilustración 12 podemos observar que la participación de cada rubro en la estructura de costos es diferente para cada tipo de perfil, Receptor y Pagador.

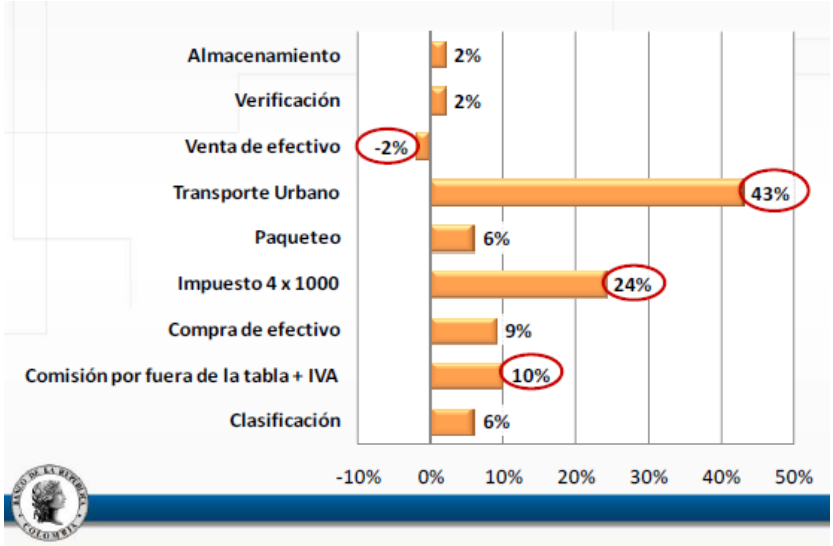

Ilustración 11. Costos perfil Pagador
Fuente: (Banco de la república, 2008)

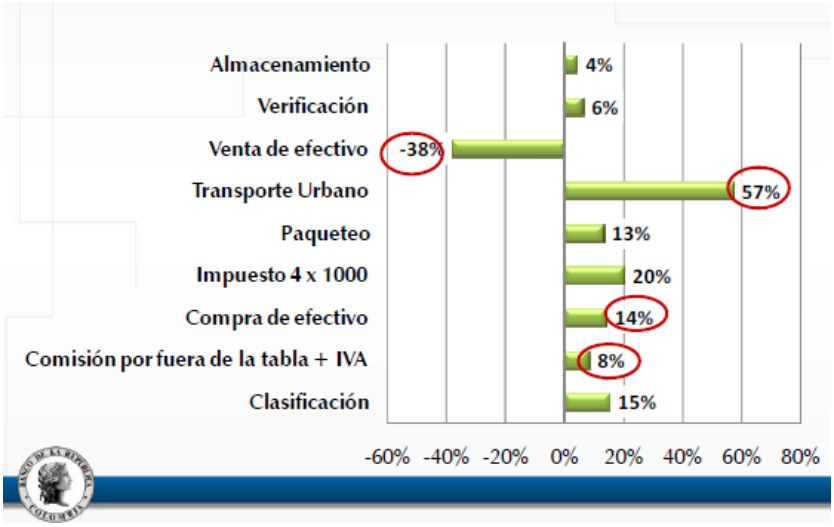

Ilustración 12. Costos perfil Receptor
Fuente: (Banco de la república, 2008)

El Banco de la República y el Sistema Financiero deben proveer un adecuado manejo del efectivo con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la economía. El Banco tiene un esquema de manejo del efectivo (distribución) que combina dos instrumentos: el dinero que sale directamente hacia las entidades financieras (en su mayoría de alta denominación) y el efectivo que sale a través de sus ventanillas de tesorería en todo el país. El mayor vacío en el manejo de efectivo está en la baja denominación, el Banco de la República participa en su

provisión, sin embargo se requiere del apoyo de las entidades financieras (Hernandez Correa, 2008)

3. MARCO TEÓRICO

Dentro del marco teórico realizado en esta investigación se encuentran los siguientes temas: Índice de desempeño logístico, Contextualización de una red de abastecimiento, Modelación de una red de abastecimiento y software a utilizar en el modelo.

3.1 Índice de desempeño logístico

Las operaciones logísticas en una cadena de suministros son un tema de máxima actualidad, dado el nivel de globalización de los mercados, lo cual ha llevado a que las empresas manufactureras, comerciales y de servicio se enfrenten a unos consumidores cada vez más exigentes y competidores, que se esfuerzan cada vez más en ser eficientes y rentables.

Dada la estructura corporativa y la globalización de los mercados en los últimos años, las industrias necesitan ser más competitivas tratando de obtener más beneficios, reduciendo los costos, mejorando los servicios y la calidad de los productos, etc, pero es un hecho que la eficiencia de una empresa puede verse limitada por la eficiencia de su gestión de la cadena de suministro (Antonio, 2013).

El término "Administración logística" de acuerdo con la definición del Council of Logistics Management consiste en "El proceso de planear, implementar y controlar el flujo y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes. "El problema de SCO (Supply Chain Optimization) consiste en determinar el óptimo de producir, almacenar, pedir y, variables relacionadas con subcontratar y distribuir asociadas a la cadena de suministro. (Antonio, 2013).

El Banco Mundial, en su reporte de 2016 señala la ubicación de Colombia en el puesto 94 de un total de 160 países en estudio con un desempeño global logístico del 2.61 equivalente al 50%. Acá se realiza una medición que consiste en escalar de 1 a 5, donde 1 es el nivel menos eficiente y 5 el nivel más eficiente. Se tienen en cuenta para la calificación seis factores: seguimiento y rastreo, aduanas, competencia y calidad logística, infraestructura, tiempos de entrega y envíos internacionales. (Banco Mundial , 2016) (SNCCTI, 2016)

Country	Year	LPI Rank	LPI Score	Customs	Infrastructure	International shipments	Logistics competence	Tracking & tracing	Timeliness
Dominican Republic	2016	91	2.63	2.39	2.29	2.67	2.68	2.63	3.06
Togo	2016	92	2.62	2.49	2.24	2.62	2.46	2.60	3.24
Moldova	2016	93	2.61	2.39	2.35	2.60	2.48	2.67	3.16
Colombia	2016	94	2.61	2.21	2.43	2.55	2.67	2.55	3.23
Cote d'Ivoire	2016	95	2.60	2.67	2.46	2.54	2.62	2.62	2.71
Iran, Islamic Rep.	2016	96	2.60	2.33	2.67	2.67	2.67	2.44	2.81
Bosnia and Herzegovina	2016	97	2.60	2.69	2.61	2.28	2.52	2.56	2.94
Comoros	2016	98	2.58	2.63	2.36	2.58	2.60	2.44	2.82
Russian Federation	2016	99	2.57	2.01	2.43	2.45	2.76	2.62	3.15
Niger	2016	100	2.56	2.59	2.22	2.63	2.50	2.35	3.02
Paraguay	2016	101	2.56	2.38	2.45	2.58	2.69	2.30	2.93
Nicaragua	2016	102	2.53	2.48	2.50	2.50	2.55	2.47	2.68
Sudan	2016	103	2.53	2.23	2.20	2.57	2.36	2.49	3.28
Maldives	2016	104	2.51	2.39	2.57	2.34	2.44	2.49	2.88

Tabla 3. Lista de Índice de desempeño logístico
Fuente: (Banco Mundial , 2016)

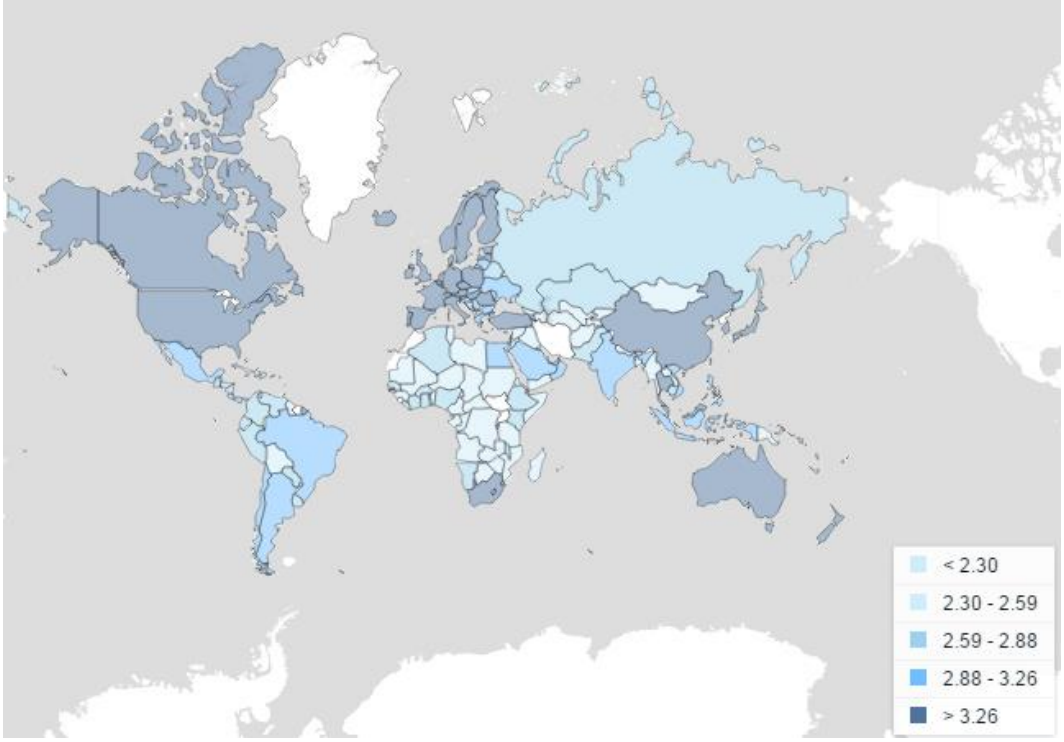

Ilustración 13. Índice de desempeño logístico
Fuente: (Banco Mundial , 2016)

3.2 Contextualización de una red de suministro

Una cadena de suministro es un sistema integrado que sincroniza en una empresa una serie de procesos interrelacionados para:

1) Adquirir materias primas y suministros.

2) Transformar esas materias primas en productos terminados.
3) Agregar valor a esos productos.
4) Distribuir y promover esos productos a los detallistas y clientes.
5) Facilitar el intercambio de información entre las diferentes entidades de negocio: proveedores, fabricantes, distribuidores, proveedores de logística y detallistas (Lambert & Cooper, 2000)

Las Cadenas de Suministro surgen como una respuesta estratégica de las empresas, ante la consideración de que la competencia ya no es negocio a negocio sino cadena a cadena (Lambert & Cooper, 2000). Por ejemplo, por más bien que se desempeñe una empresa, no puede garantizar un cumplimiento para la demanda y un nivel de rentabilidad esperado. Estas dos condiciones dependerán también del tipo de relación y el desempeño de otras unidades de negocios interrelacionadas con ella, como sus proveedores y sus distribuidores. Además, existen muchas inversiones como las que se realizan en activos de producción, que son prácticamente irreversibles y si la compañía desea generar valor para sus accionistas debe evaluar y administrar eficientemente todos sus recursos.

La gestión de la cadena de abastecimiento con éxito requiere una integración cooperativa entre todos los socios de la red. A nivel operativo, el comportamiento individual de los socios debe ser óptimo, por lo que sus actividades deben planificarse utilizando herramientas de optimización sofisticadas. Sin embargo, estas herramientas deben tener en cuenta la planificación de los socios restantes, a través del intercambio de información, con el fin de permitir algún tipo de cooperación entre los elementos de la cadena (Silva, 2009).

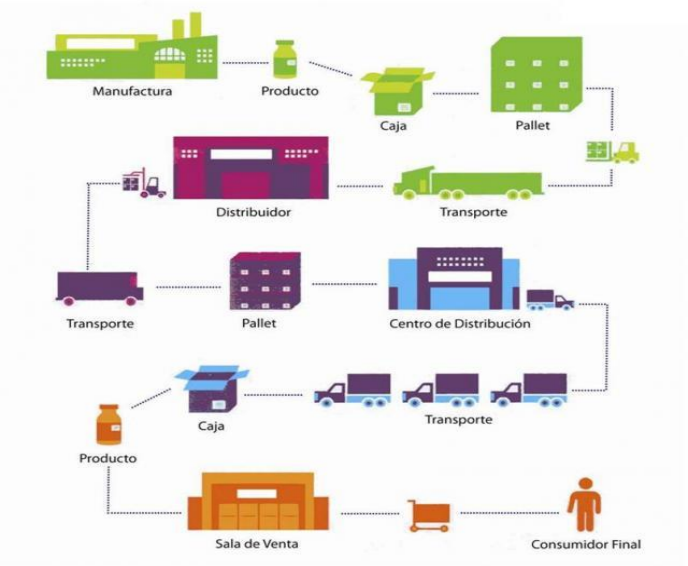

Ilustración 14. Cadena de abastecimiento.
Fuente: (Daza, 2015)

Las actividades de planificación y programación de estas cadenas de suministro son muy complejas y tienen que llevarse a cabo a lo largo de toda la cadena con el fin de lograr productos de alta calidad a un menor costo, menor inventario, y altos niveles de rendimiento. Como resultado de proporcionar de manera eficiente soluciones óptimas globales, las empresas están migrando de los procesos de planificación separados

hacia procesos más coordinados e integrados de planificación (Moon, Lee, Jeong, & Yun, 2008)

En las tres últimas décadas se han propuesto en la literatura muchos modelos de encadenamientos de localización para formular y resolver problemas de diseño de redes de distribución. La mayoría de ellos están relacionados con una red simple con dos capas (depósitos y clientes); cada modelo se caracteriza por el número de depósitos localizados (nodos de orígenes); por la presencia de restricciones de capacidad y por la forma de la función objetivo. (Ambrosino & Scutella, 2005).

Aunque los procesos de una cadena de suministro hacen referencia a plantas, productos y transformación de esos productos, en el sector financiero se puede entender como planta el Banco de la República que produce un producto que es el dinero que se desplaza por todos los nodos de la cadena. Y si bien en el nodo de producción de dinero, el Banco de la república, no hay competencia, en los demás nodos de la cadena si se da competencia y por lo tanto deben optimizarse procesos.

3.3 Modelación de una red de suministro

Los modelos de planificación difieren de los modelos de programación en varios ámbitos. En primer lugar, los modelos de planificación a menudo cubren múltiples etapas y optimizan más un horizonte de mediano plazo, mientras que los modelos de programación están generalmente diseñados para una sola etapa y optimizan en un horizonte de corto plazo. En segundo lugar, los modelos de planificación utilizan la información más agregada, mientras que los modelos de programación utilizan la información más detallada (Pinedo, 2011).

La meta-heurística denominada colonia de hormigas, permite el intercambio de información entre los diferentes problemas de optimización por medio de una matriz de feromona. El uso de esta metodología es más eficiente que una metodología simple para el diseño de una cadena de suministro (Silva, 2009).

La investigación de operaciones ha sido llamada la ciencia y tecnología de la toma de decisiones. El componente científico se interesa en ideas y procesos para articular y modelar los problemas de decisión al determinar los objetivos y restricciones de la toma de decisiones en las cuales se desea operar. También le preocupan los métodos matemáticos llamados algoritmos, para optimizar el sistema numérico que resulta al plantear los modelos. El interés del componente tecnológico son las herramientas de software y hardware a utilizar para recolectar y comunicar los datos, organizar estos datos, para usarlos en la generación y optimización de modelos, y luego reportar los resultados (Rosales, 2006).

Los modelos de programación lineal y los métodos para optimizarlos son determinantes en la aplicación de la cadena de suministro. Estos modelos ofrecen bases para el desarrollo de métodos de solución de otras técnicas de investigación de operaciones, como la programación entera, estocástica y la no lineal (Pinedo, 2011).

Para el problema específico planteado en la sección 1.1 se describe una red de distribución de 3 capas: plantas, centros de distribución y clientes. Este tipo de situaciones se modelan de forma general por medio de la programación matemática,

específicamente se formulan como problemas de programación lineal entera, en dónde se describen las variables, la función objetivo y las restricciones propias del problema.

Considerando el amplio espectro de una Cadena de Suministro, ningún modelo puede capturar todos los aspectos de sus procesos. Para resolver el dilema entre la complejidad del modelo y la realidad, el modelador debe definir un alcance para el modelo, de forma tal que éste refleje las dimensiones clave del mundo real que son de interés para el análisis que se está realizando. Para definir el alcance pueden utilizarse dos elementos: el nivel jerárquico en el cual se centran las decisiones de la cadena y la conformación de su estructura (Zhou, 2002).

Pueden distinguirse tres niveles de decisión jerárquicos: estratégico, táctico y operacional. En el nivel estratégico se toman decisiones de localización y asignación, planeación de la demanda, planeación del canal de distribución, alianzas estratégicas, desarrollo de nuevos productos, tercerización (outsourcing), selección de proveedores, selección de las tecnologías de la información, políticas de precios y reestructuración de la red. En el nivel táctico se toman decisiones sobre control de inventarios, coordinación de la producción y la distribución, consolidación de órdenes, manejo de materiales, selección de equipos y diseño de plantas. El nivel operativo incluye decisiones de programación de rutas, programación de personal y empaques. Determinar el nivel jerárquico, le permite al modelador identificar tanto el alcance del modelo como el horizonte de planeación de la Cadena de Suministro (Zhou, 2002). El otro enfoque para definir el alcance, es determinar la estructura de la cadena, la cual está en términos de sus miembros y de sus dimensiones vertical y horizontal; La dimensión horizontal se refiere al número de eslabones mientras que la vertical al número de clientes y proveedores representados en cada nivel. No todos los eslabones de la cadena deben ser coordinados e integrados. Sólo aquellos que representan procesos clave para la empresa, es decir, aquellos procesos que agregan valor, como el cumplimiento de órdenes, la Gerencia del flujo de manufactura, la Gerencia del servicio al cliente, la Gerencia de la demanda y el desarrollo de productos y su comercialización (Lambert & Cooper, 2000).

Tradicionalmente, muchos autores parecen asumir que todo el mundo conoce quiénes son los miembros que pertenecen a la cadena de suministro. Existe poco esfuerzo para identificar los miembros específicos de la cadena, los procesos clave que requieren integración o lo que la gerencia debe hacer para administrar exitosamente la cadena (Lambert & Cooper, 2000). La decisión de quiénes integran la cadena no es trivial, dado que pueden tenerse proveedores y clientes en varios niveles, como se muestra en la ilustración 15.

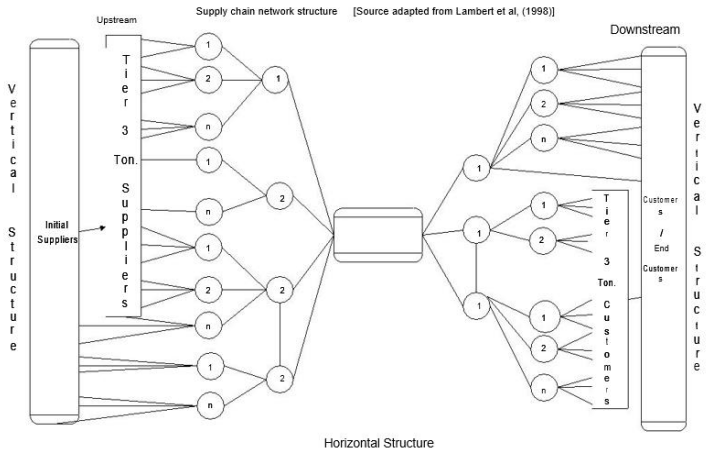

Ilustración 15. Estructura dimensional de la Cadena de Suministro
Fuente: (Lambert & Cooper, 2000)

Teniendo en cuenta que la metodología de solución utiliza un software comercial especializado en este tipo de problemas, para ejemplificar el modelo matemático, se adapta la formulación realizada por (Escobar, 2012) que considera un problema de re diseño de la red de distribución con variabilidad de demanda.

Como se nombró anteriormente, el modelo matemático teórico que más se adaptaba, al comportamiento del sistema planteado en este trabajo, fue encontrado en un artículo (Rediseño de una red de distribución con variabilidad de demanda usando la metodología de escenario) propuesto por John Willmer Escobar. A continuación, se encuentra el modelo de manera detallada:

3.3.1 Definición de conjuntos, parámetros y variables.

<u>Conjuntos principales</u>

- PL = Conjunto de plantas de manufactura, indexadas por i
- CD = Conjunto de centros de distribución, indexados por j
- C = Conjunto de zonas geográficas de clientes, indexadas por k
- PT = Conjuntos de productos terminados, indexados por p
- S = Conjunto de escenarios, indexados por s

<u>Conjuntos inducidos</u>

- CDEN = Conjunto de centros de distribución que pueden recibir productos enviados desde el centro de distribución $j \in CD$, $CDEN \subseteq CD$.
- CDRE = Conjunto de centros de distribución que pueden enviar productos al centro de distribución $j \in CD$, $CDRE \subseteq CD$.

<u>Variables de decisión</u>

Variables binarias

- w_j = 1 si el centro de distribución j se decide dejar abierto, 0 de lo contrario.

Variables continuas

- x_{ijps} = Cantidad de producto terminado p ∈ PT a fabricar en la planta i ∈ PL, enviado hacia el centro de distribución j ∈ CD en el escenario s ∈ S. [unidades de p / año].
- u_{jj^*ps} = Cantidad de producto terminado p ∈ PT a enviar hacia centro de distribución j * ∈ CDEN desde centro de distribución j ∈ CDRE en el escenario s ∈ S, donde j ≠ j*. [unidades de p / año].
- y_{jkps} = Cantidad de producto terminado p ∈ PT enviado hacia las zonas de consumo k ∈ C desde el centro de distribución j ∈ CD en el escenario s ∈ S. [unidades de p / año].
- *Capadis* = Capacidad adicional de producción a considerar en la planta *i* ∈ *PL* para todos los productos terminados en el escenarios ∈ *S*.

Parámetros

- Cf_j = Costo fijo de cierre del centro de distribución j ∈ CD [$/año].
- $VIPT_{jp}$= Costo de mantenimiento de inventario de producto terminado p ∈ PT en el centro de distribución j ∈ CD; [$/unidad de p].
- FPT_{jp}= Factor de inventario de seguridad del producto p ∈ PT en centro de distribución j ∈ CD.
- LTP_{jk} = Tiempo promedio de reposición de productos desde centro de distribución j ∈ CD hacia la zona de mercado k ∈ C [días].
- LTB_{jj^*} = Tiempo promedio de reposición de productos desde centro de distribución j ∈ CDRE hacia centro de distribución j* ∈ CDEN, j ≠ j* [días].
- $CVLTP_{jk}$ = Coeficiente de variación del tiempo de reposición LTP_{jk}.
- CVLTPjj* = Coeficiente de variación del tiempo de reposición LTB_{jj}.
- CTRPTij = Costo de transporte de producto terminado p ∈ PT desde la planta i ∈ PL hacia el centro de distribución j ∈ CD [$/kg].
- $CTRPTCD_{jj^*}$ = Costo de transporte de producto terminado p ∈ PT desde centro de distribución j ∈ CDRE hacia centro de distribución j * ∈ CDEN [$/kg], j ≠ j*.
- $CTRPTC_{jk}$ = Costo de transporte de producto terminado p ∈ PT desde el centro de distribución j ∈ CD hacia el cliente k ∈ C [$/ kg].
- FP_p = Factor de peso por unidad de p ∈ PT [kg/unidad de p].
- CP_{ip} = Costo variable de fabricación del producto terminado p ∈ PT en la planta i ∈ PL [$/kg. de p].
- $CMANCD_{jp}$ = Costo de manipulación del producto terminado p ∈ PT en el centro de distribución j ∈ CD [$/kg. de p].
- PCAP = Costo de penalización por cada unidad de la variable *Capdips* [$ / unidad].
- $CAPL_i$ = Capacidad de producción en la planta *i* ∈ *PL* para todos los productos *p* ∈ *PT* [kg/año].
- $CAPCD_j$ = Capacidad del flujo a través del centro de distribución *j* ∈ *CD* para todos los productos *p* ∈ *PT* [kg/año].

3.3.2 Función Objetivo

Min =

$$\sum_{j \in CD} CF_j \text{ x } [1 - w_j] \tag{2}$$

$$+ \sum_{s \in S} \varphi_s \text{ x } \left(\sum_{j \in CD} \sum_{k \in C} \sum_{p \in PT} VIPT_{jp} [FPT_{jp} \text{ x } CVLTP_{jk} \text{ x } LTP_{jk}] \right) y_{jkps} \tag{3}$$

$$+ \sum_{j \in CD} \sum_{j^* \in CDEN} \sum_{p \in PT} VIPT_{jp} [FPT_{jp} \text{ x } CVLTP_{jj^*} \text{ x } LTP_{jj^*}] \; u_{jj^*ps} \tag{4}$$

$$+ \sum_{i \in PL} \sum_{j \in CD} \sum_{p \in PT} CTRPT_{ij} \text{ x } FP_p \text{ x } x_{ijps} \tag{5}$$

$$+ \sum_{j \in CD} \sum_{j^* \in CDEN} \sum_{p \in PT} CTRPTCD_{jj^*} \text{ x } FP_p \text{ x } u_{jj^*ps} \tag{6}$$

$$+ \sum_{j \in CD} \sum_{k \in C} \sum_{p \in PT} CTRPTC_{jk} \text{ x } FP_p \text{ x } y_{jkps} \tag{7}$$

$$+ \sum_{i \in PL} \sum_{j \in CD} \sum_{p \in PT} CP_{ip} \text{ x } x_{ijps} \tag{8}$$

$$+ \sum_{j \in CD} \sum_{k \in C} \sum_{p \in PT} CMANCD_{jp} \text{ x } y_{jkps} + \sum_{j \in CD} \sum_{j^* \in CDEN} \sum_{p \in PT} CMANCD_{jp} \text{ x } u_{jj^*ps} \tag{9}$$

$$+ \sum_{i \in PL} PCAP \text{ x } Capad_{is} \Bigg) \tag{10}$$

3.3.3 Restricciones

$$\sum_{j \in CD} \sum_{p \in PT} FP_p \text{ x } x_{ijps} \leq CAPL_i + Capad_{is} \quad \forall i \in \text{PL}, s \in S \tag{11}$$

$$\sum_{i \in PL} \sum_{p \in PT} FP_p \text{ x } x_{ijps} + \sum_{j \in CDRE} \sum_{p \in PT} FP_p \text{ x } u_{jj^*ps} \leq CAPCD_j \text{ x } w_j \quad \forall j \in \text{CD}, s \in S \tag{12}$$

$$\sum_{i \in PL} x_{ijps} + \sum_{j^* \in CDRE} u_{jj^*ps} = \sum_{k \in C} y_{jkps} + \sum_{j^* \in CDEN} u_{jj^*ps} \quad \forall j \in \text{CD}, p \in PT, s \in S \tag{13}$$

$$\sum_{j \in CD} y_{jkps} = DEM_{kps} \quad \forall k \in \text{C}, p \in PT, s \in S \tag{14}$$

$$x_{ijps}, y_{jkps}, u_{jj^*ps}, Capad_{is}, \geq 0 \ \forall i,j,j^*,k,p,s; \ w_j \in [0,1] \ \forall j \tag{15}$$

La función objetivo del modelo matemático considera la minimización de la suma de los costos fijos de cierre en centros de distribución (2) y de la suma del valor esperado de los costos de inventario de seguridad en centros de distribución (3) y (4), de los costos de transporte de producto terminado de plantas hacia centros de distribución (5), de los costos de transporte de producto terminado entre centros de distribución (6) y de centros de distribución hacia clientes (7), de los costos variables de producción en plantas (8), de los costos de manejo de productos en centros de distribución (9), y de los costos de penalización por uso de capacidades adicionales en plantas (10). Las ecuaciones (11) y (12) restringen la capacidad en las plantas y centros de distribución, respectivamente. Las restricciones (13) determinan el balance de productos en los centros de distribución. El grupo de restricciones (14) asegura el cumplimiento de la demanda de cada producto, en cada zona de consumo y para cada escenario. Finalmente, el grupo de las ecuaciones (15) están relacionadas con las restricciones de no negatividad de las variables consideradas en el modelo.

3.3.4 Software utilizado

El software que se utiliza para la presente modelación es “Supply Chain Guru”, de la casa matriz Llamasoft. Dicha compañía se encuentra ubicada en Ann Arbor, Michigan EEUU.

Llamasoft es líder software especializado para la optimización y simulación de la cadena de abastecimiento. (Gartner, 2017).

Ilustración 16. Liderazgo Llamasoft a nivel mundial
Fuente: (Gartner, 2017)

Llamasoft es proveedor de tecnología, brinda soporte a nivel internacional y tiene cuenta con redes de comunidades para solucionar los problemas de cadena de abastecimiento que se puedan presentar, incorporando soluciones de diseño de redes, manufactura, inventarios y transporte. (Llamasoft, Llamasoft Supply Chain By Design, 2017)

A continuación, se describen los módulos utilizados en la elaboración de este trabajo:

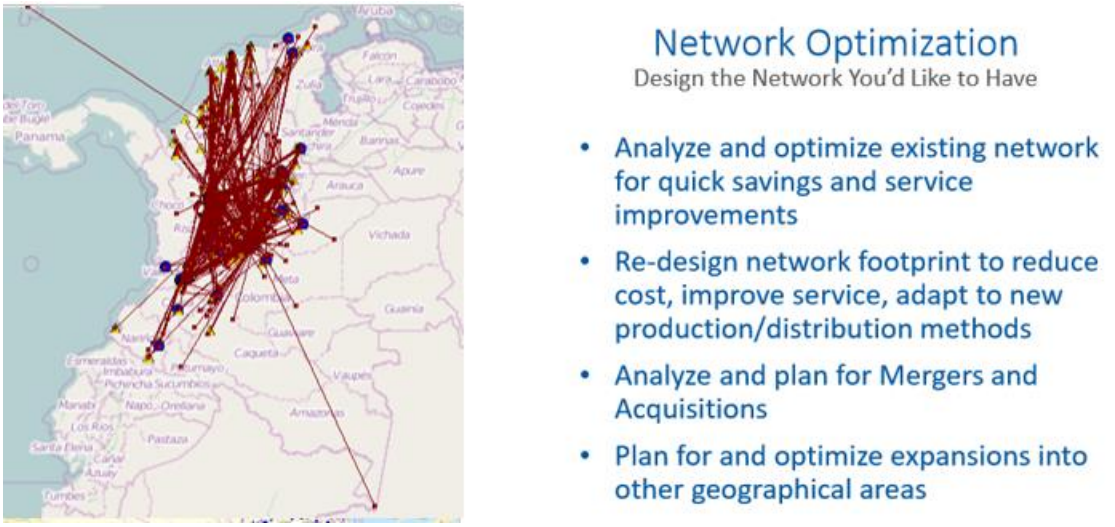

Ilustración 17. Optimización de redes
Fuente: (Llamasoft, Llamasoft Supply Chain By Design, 2017)

El módulo de Network optimization se encarga de optimizar los costos, servicios u otros objetivos, adicional, analiza las configuraciones de redes alternativas para identificar el diseño óptimo. La optimización de redes generalmente genera ahorros del 10% o más en los costos de su cadena de suministro. (Llamasoft Network Optimization, 2017)

La optimización de inventarios de Llamasoft permite a las empresas analizar y categorizar correctamente la demanda, factorizar todos los aspectos del inventario, y sincronizar las estructuras de cadena de abastecimiento existentes.

La solución de optimización de inventarios multinivel de LLamasoft, permite a los analistas crear modelos exactos en todos los escalones de la cadena de suministro, con un plan completo de inventarios que incluye stocks de seguridad óptimos, ciclos de stock e inventario pre-construido. (Llamasoft Inventory Optimization, 2017)

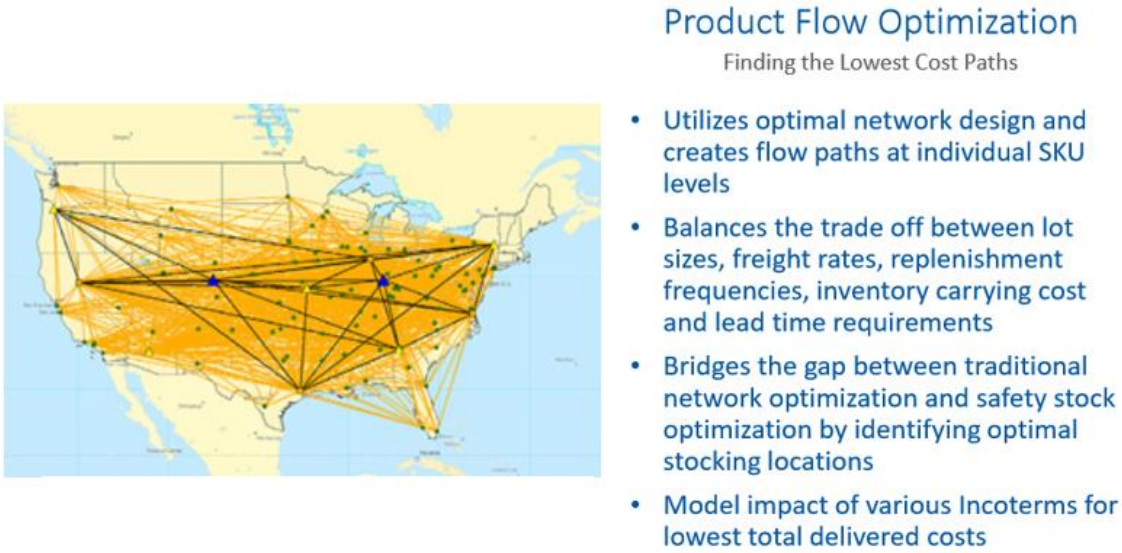

Ilustración 18. Optimización de flujos
Fuente: (Llamasoft, Llamasoft Supply Chain By Design, 2017)

Las combinaciones de flujo de producto pueden incluir un amplio rango de variables, incluyendo modos de transporte, cantidad de pedidos, puestos de embarque, centros de distribución y cada combinación puede producir costoso totales drásticamente diferentes.. (Llamasoft Product Flow Optimization, 2017)

4. METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología utilizada en el presente trabajo fue realizada en el software Supply Chain Guru (SCG) de llamasoft. (Llamasoft, Llamasoft Supply Chain By Design, 2016) y está compuesta por los siguientes pasos:

1) Inicialmente se conoció una operación de abastecimiento de efectivo de una entidad bancaria, en Colombia.

La entidad bancaria modelada está compuesta por 700 sucursales, 2000 ATM, 70 fondos de 5 diferentes transportadoras (Brinks, Prosegur, Transvasur, G4S y Atlas), 29 oficinas del Banco de la República a nivel nacional y aproximadamente 200 entidades comerciales a quienes les ha vendido efectivo durante el horizonte de tiempo modelado, 1 año.

Dentro del conjunto de **sucursales**, como se definió en la sección 2, existen aquellas que son pagadoras y recolectoras según la cantidad de dinero que reciben o entregan a sus clientes presenciales. Cada una, tiene una capacidad máxima de almacenamiento de aproximadamente 1.200 millones y cada vez que el gerente de la sucursal siente que se va a quedar sin dinero o se va a sobrepasar, es él quién programa un transporte de abastecimiento o recogida de dinero a la transportadora de valores que tiene asignada. Una vez es programado el transporte, en el caso en que es recogida, dos empleados de la sucursal se disponen a organizar el dinero en unas bolsas de seguridad entregadas previamente (cada mes) por la transportadora de valores y así tener todo listo para la llegada del vehículo. El comportamiento histórico de entrada y salida de efectivo a la sucursal, por medio de clientes presenciales, se asumió determinístico del año 2015. Podríamos decir que las características importantes, para la modelación, de este conjunto de nodos son las siguientes:

- ✓ Restricción de capacidad máxima.
- ✓ Restricción de un único fondo asignado de una transportadora de valores específica.
- ✓ Entrada y salida de efectivo proveniente de clientes presenciales.

Los **ATM** (Automated Teller Machine por sus siglas en inglés) se encuentran distribuidos en diferentes zonas del país y tienen la característica de sólo entregar dinero; próximamente tendrán la capacidad de recibir y entregar, a clientes de la entidad bancaria. Además, tienen una capacidad máxima de aproximadamente 350 millones. El abastecimiento se realiza directamente del fondo de la transportadora asignada y se tiene la política (definida por la entidad bancaria) de abastecerse cuando el ATM tenga el 20% de su capacidad y así asegurar que no existirá déficit en la atención de la demanda. La trasportadora de valores se auto programa para dicha actividad y desde la bóveda (fondo) trae un cajón, especial del ATM, lleno con el dinero para luego retirar el que se encuentra con el 20% e instalarlo. Es decir, que la transportadora siempre se devuelve con un remanente del 20% desde el ATM el cual debe ser procesado y almacenado en la bóveda. Para este conjunto de nodos las características importantes para la modelación son las siguientes:

- ✓ Restricción de capacidad máxima.
- ✓ Restricción de capacidad mínima del 20%
- ✓ Restricción de un único fondo asignado de una transportadora de valores específica.
- ✓ Salida de efectivo proveniente de clientes presenciales.

La asignación de fondo a una sucursal o ATM se realiza en el momento en que dicho nodo es abierto e inaugurado. No existe ningún método que soporte esta toma de decisión realizada por la entidad bancaria. Por tanto, podría estarse presentando un desbalanceo de fondos que genera transportes innecesarios (esta hipótesis será evaluada más adelante).

Los **fondos** o bóvedas son pertenecientes a las 5 transportadora de valores nombradas anteriormente y poseen una capacidad máxima de almacenamiento. Cada transportadora posee una cobertura nacional específica y por lo general tienen un único fondo por ciudad, y la transportadora con mayor cobertura es Brinks. En este nodo, cada que ingresa dinero se realiza el proceso de verificación, conteo y almacenamiento de efectivo, el cual tiene un costo variable por cada $10.000 procesado y por cada $10.000 por noche almacenada. Las trasportadoras de valores son quienes poseen los vehículos con las medidas de seguridad necesarias para realizar los transportes. Existen 4 tipos de transporte según la distancia, y cada uno tiene una capacidad máxima: Urbano, Interurbano, TAN y aéreo, además cada uno tiene un costo fijo y variable diferente según el tiempo de antelación en que fue solicitado. Es decir, aquellos que son programados de hoy para mañana tienen un costo variable menor que aquellos que son programados de hoy para hoy, estas variables son también definido por cada $10.000 transportados. Los transportes que se podrían presentar son Fondo-ATM, Fondo-sucursal, Fondo-Fondo, Fondo-Banrep y Fondo-Venta de efectivo. La entidad bancaria programa de manera centralizada los flujos; Fondo-Fondo, cuando algún fondo de alguna transportadora se sobre pasa de su capacidad máxima o se queda sin dinero para abastecer sus nodos asignados; Fondo-Banrep-Fondo, cuando se necesita hacer cambio de dinero en mal estado, consignar y/o retirar dinero en el Banco de la República; Fondo-Venta de efectivo, cuando se desea vender dinero a alguna entidad comercial. Podríamos decir que las características importantes, para la modelación, de este conjunto de nodos son las siguientes:

- ✓ Restricción de capacidad máxima almacenamiento.
- ✓ Restricción de capacidad máxima de transporte.
- ✓ Costo de transporte fijo y variable según monto, tiempo antelación y distancia.
- ✓ Costo variable de procesado y almacenaje.

FONDOS	70
BRINKS	25
PROSEGUR	22
G4S	10
ATLAS	9
TRANSVASUR	4

SUCURSALES	700
BRINKS	318
PROSEGUR	200
G4S	103
ATLAS	73
TRANSVASUR	6

ATM	2000
BRINKS	800
PROSEGUR	600
G4S	370
ATLAS	221
TRANSVASUR	9

Tabla 4. . Nodos red entidad bancaria modelada
Fuente: Desarrollo propio

Vale la pena resaltar que la venta de efectivo y/o la consignación en el banco de la República generan utilidad para la entidad bancaria. La primera, ya que se negocia un precio que deja ganancia al banco que vende y ésta depende de la negociación que se realice a diario con los clientes que generan la compra; Y la segunda, debido al uso que se le puede dar en otro tipo de inversión que genere utilidad y ésta es difícil de cuantificar ya que depende del tipo de inversiones que se generen con el dinero consignado en el Banco de la República.

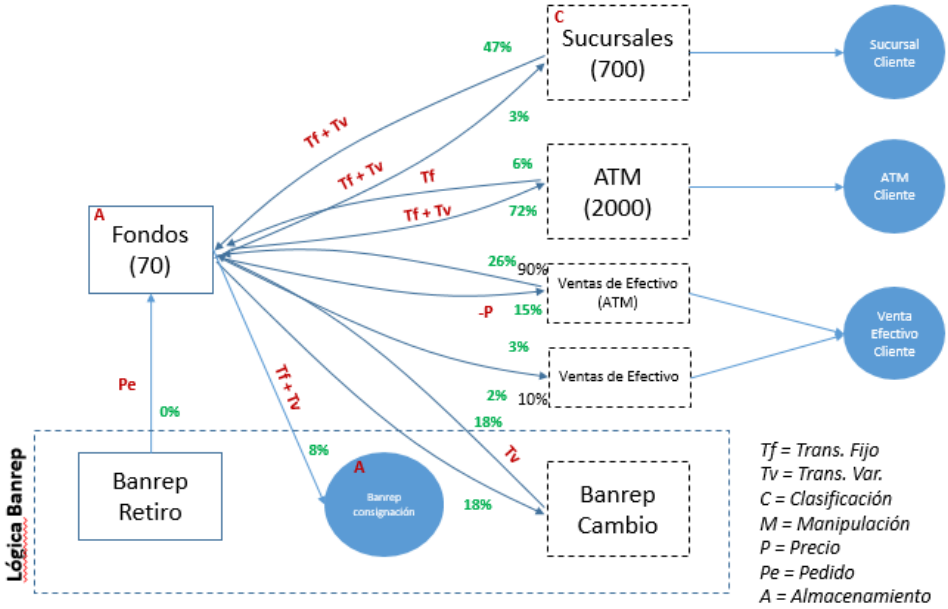

Ilustración 19. Estructura del comportamiento de la red actual
Fuente: Desarrollo propio

2) Se creó un modelo base que permita reflejar la situación actual con información histórica. Para este proyecto se trabajó con un modelo de demanda determinístico que representa el histórico del 2015.

Para la representación, de la situación actual, en un modelo construido en el software SPG fue necesario entender cómo funciona dicha tecnología. Según lo anterior, SCG posee 5 tablas indispensables para la ejecución de un modelo. Éstas son las siguientes:

- ✓ Sites: se definen los nodos existentes en la red y se asigna la tipología de cada uno con sus respectivas restricciones y costos. Existen tres tipologías; Customer, nodo el cual sólo demanda producto; Make, el único que puede producir producto; Y Facility, le entra y sale producto.
- ✓ Demand: se ingresa la información de la demanda de los sites “customer”
- ✓ Sourcing policies: se definen las uniones existentes o posibles de existir entre los nodos definidos.
- ✓ Transportation Policies: se le asigna a cada flujo el tipo de transporte (definido en Transportation Assets) que se puede presentar en dicha unión.
- ✓ Transportation Assets: se definen todos los tipos de transporte existentes, con su costo y restricciones.

Para la modelación de la situación actual hubo la necesidad de representar un único nodo con diferentes sites, ya que se presentaba más de una tipología en uno mismo, siendo éste comportamiento uno de los retos más grandes de la modelación. Por

ejemplo, el comportamiento de una sucursal es de productor ya que autogenera dinero para el sistema por medio de las consignaciones de los clientes externos; cliente ya que había salida de dinero del sistema por medio de los clientes que van a retirar dentro de las sucursales y centro de distribución a la vez debido a que se presenta almacenamiento con capacidad máxima. Por tanto, este comportamiento se representó de la siguiente manera:

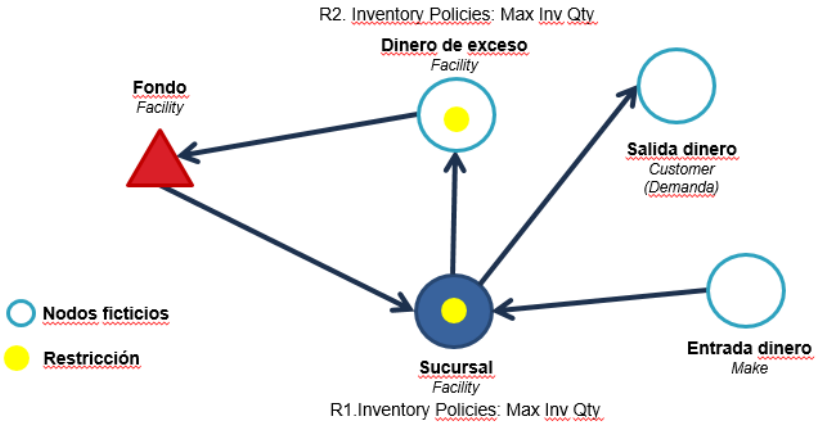

Ilustración 20. Representación comportamiento sucursal en SCG
Fuente: Elaboración propia

Así mismo, para la representación del comportamiento real de los ATM y el Banco de la República. En las siguientes ilustraciones se puede observar de manera detallada dicha representación.

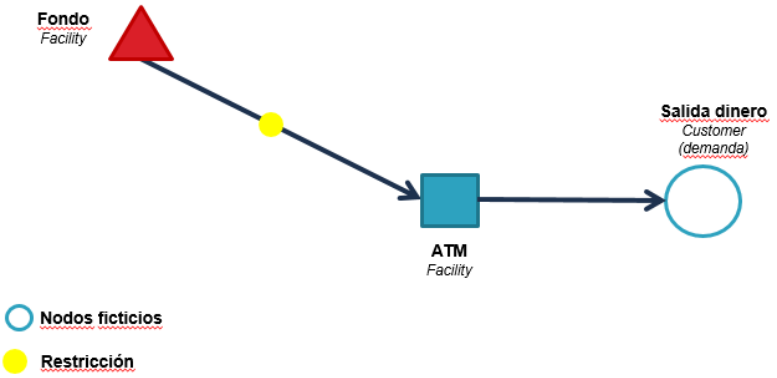

Ilustración 21. Representación del comportamiento ATM en SCG
Fuente: Elaboración propia

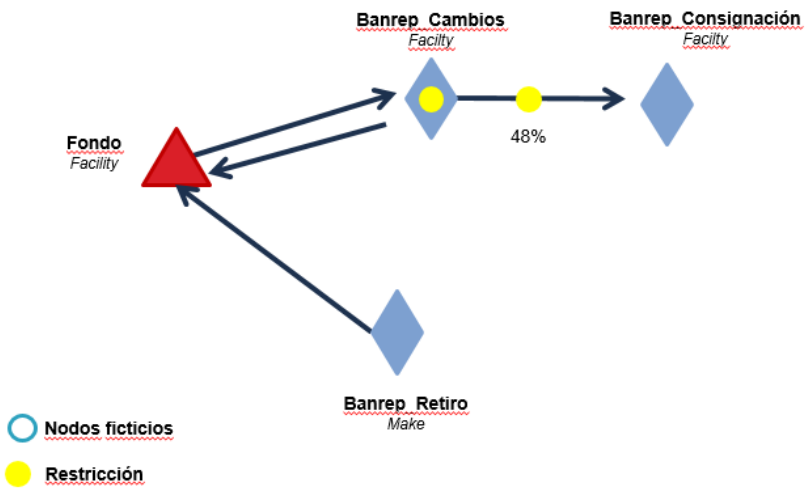

Ilustración 22. Representación del comportamiento BanRep en SCG
Fuente: Desarrollo propio

En la siguiente ilustración se puede observar la representación gráfica de la modelación del comportamiento real del sistema en el software SCP.

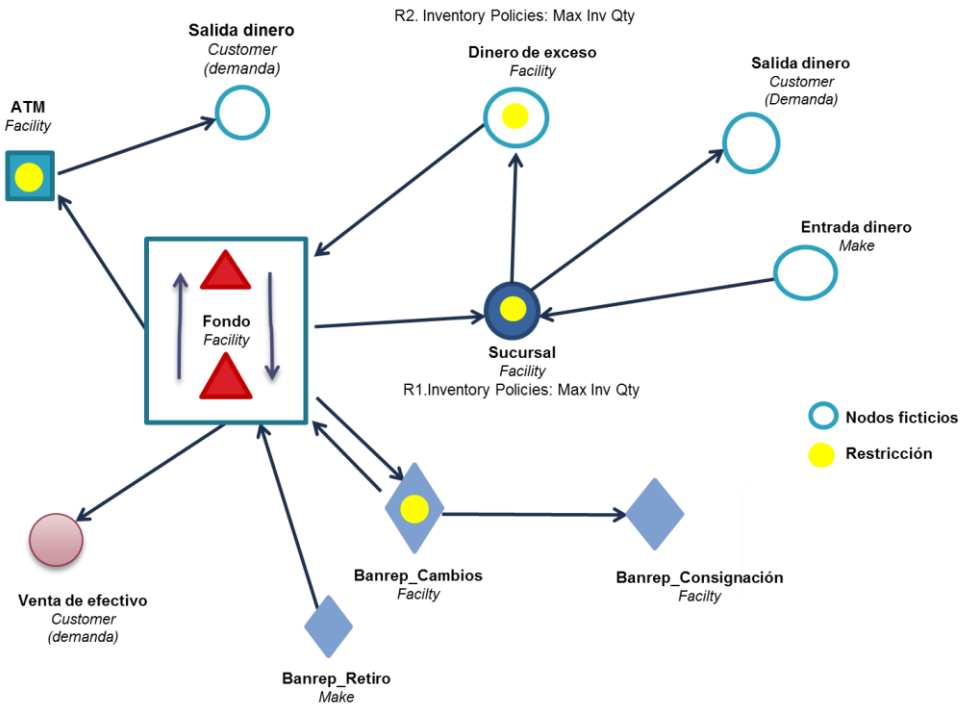

Ilustración 23. Representación comportamiento Red actual en SCG
Fuente: elaboración propia

Una vez diligenciadas las cinco tablas nombradas anteriormente, se definieron unas restricciones de flujo que hicieron que el modelo ejecutara exactamente los mismos transportes que se realizaron en el periodo modelado y así validar que los costos generados en el modelo (Baseline) fueran significativamente similares a los reales y así poder garantizar un porcentaje de asertividad del modelo.

Según los resultados, el modelo cumplió con un 92% de asertividad, teniendo para cada métrica desviaciones distintas. En la siguiente tabla se observan los porcentajes relativos de la diferencia entre el valor real y el del modelo para cada uno de los costos.

COSTOS OPERACIÓN	% RELATIVO
Costo Total Almacenamiento	-1%
Costo Total De Clasificación	0.5%
Costo Total De Verificación	6%
Costo Total De Transporte	8.6%
Total	7.4%

Tabla 5. Resultados de la validación del modelo.
Fuente: Elaboración propia

3) Siguiendo la consideración de que los nodos (sucursales, ATM y bóvedas) son fijos, no se puede plantear el abrir o cerrar dichos nodos, por lo que se dió respuesta a la siguiente pregunta dada la ubicación de las sucursales, los ATM y las bóvedas, y sus capacidades de almacenamiento específico; ¿Desde qué fondo se deben abastecer los cajeros y las sucursales teniendo en cuenta una única asignación fija durante todo el periodo del contrato con las transportadoras de valores, garantizando abastecimiento permanente en los nodos?

Antes de la descripción de éste paso, vale la pena detallar más a fondo el comportamiento del desbalanceo de fondos. En la siguiente ilustración podemos observar que el Fondo A tiene asignada una sucursal captadora, por ende sólo solicita recogidas cada semana de aprox. 500 millones y este dinero se acumula en el fondo excediendo la capacidad máxima ya que no tiene una sucursal que le genere alguna salida de dinero; mientras que por otro lado se encuentra un Fondo B con déficit de dinero por tener dos sucursales pagadoras que le solicitan abastecimiento cada semana de aproximadamente 500 millones, esto hace que dicho fondo necesite un abastecimiento desde otro fondo, el cual tiene un costo mayor al transporte Fondo-Sucursal o Fondo-ATM.

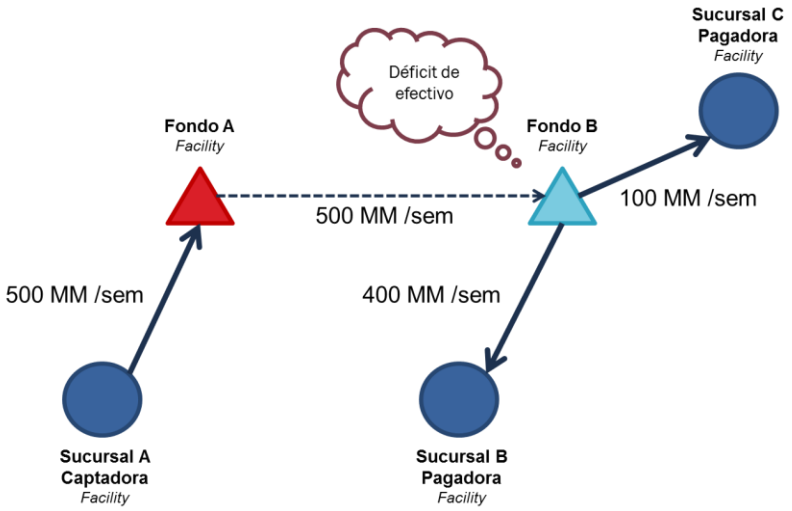

Ilustración 24. Representación del comportamiento Desbalanceo de Fondos
Fuente: Elaboración propio

Según lo anterior, se evaluó la asignación óptima de Fondo-ATM y Fondo-Sucursal para minimizar los transportes innecesarios por desbalanceo de Fondos. Para esta evaluación, se asignaron nuevos posibles flujos entre los fondos de una misma ciudad y todas las sucursales y ATM de la misma y así permitir que el modelo eligiera la asignación Fondo-ATM y Fondo-Sucursal adecuada. Además, se le asignó la restricción de única asignación por medio de la funcionalidad *Flow Constrains,* la cual obliga al modelo a escoger un único origen para el flujo de entrada o salida de dinero.

4) Luego de tener el diseño óptimo de la red de manera estratégica, bajo las especificaciones actuales, se realiza una optimización liberando ciertas restricciones, y se responde a la siguiente pregunta; ¿Desde qué fondo se deben abastecer los cajeros y las sucursales teniendo en cuenta múltiples asignaciones durante todo el periodo del contrato con las transportadoras de valores?

En este caso, se habilito la posibilidad de tener múltiple asignación de Fondo-ATM y Fondo-Sucursal de acuerdo al comportamiento de la demanda durante todo el horizonte de tiempo de la modelación. Es decir, se permitió la construcción de un modelo dinámico en el cual una sucursal y ATM podía ser abastecido o desabastecido por varios fondos al mismo tiempo. Como podemos observar, en la siguiente ilustración, la sucursal B fue abastecida por dos Fondos, lo cual evita la generación de transportes entre fondos.

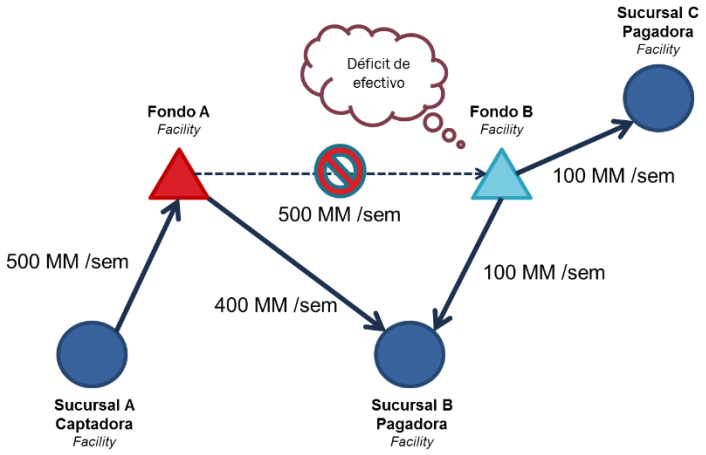

Ilustración 25. Representación comportamiento múltiple asignación
Fuente: Elaboración propia

Una vez se liberó dicha restricción, se corrió el modelo para identificar las múltiples asignaciones sugeridas y el impacto de costos generados para luego ser comparados con los escenarios anteriores.

5) Finalmente se modeló un escenario que pudiera dar respuesta a ¿Qué pasaría sí se habilita el flujo de dinero entre sucursales sin tener que pasar el dinero por los fondos de las transportadoras?

Para la modelación de este escenario, se habilito, al modelo inicial, el flujo entre las sucursales de una misma ciudad para evaluar el impacto en los costos de transporte y almacenamiento. Como podemos observar en la siguiente ilustración este nuevo comportamiento genera una disminución de transportes entre Fondo-Sucursal y Fondo-Fondo evitando que el dinero permanezca tiempo en los fondos para la clasificación y verificación.

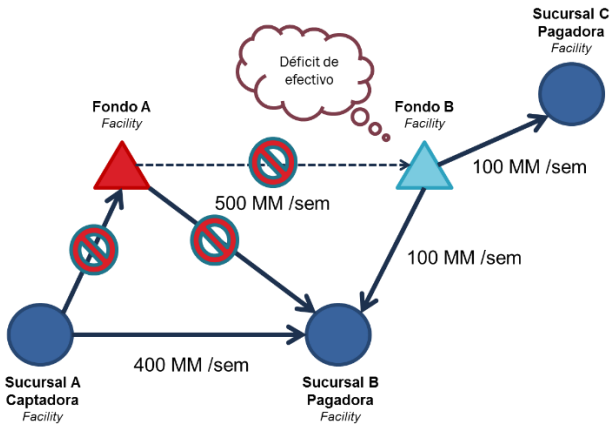

Ilustración 26. Representación comportamientos Sucursales-Sucursal
Fuente: Desarrollo propio

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tiempo Computacional:

El presente trabajo se modela en Supply Chain Guru de la casa Llamasoft (Llamasoft, Llamasoft Supply Chain By Design, 2017) las corridas se realizaron en un computador Acer Core i7-4300U Cpu @2.49 Ghz con 16 Gb de RAM en un sistema operativo de 64 bits; teniendo un tiempo de procesamiento en la optimización de 16 horas.

Impacto en costos:

Escenario	Ahorro
1. Balanceo de Fondos con asignación fija	2%
2. Múltiple y variable asignación	5%
3. Flujo entre sucursales	1%

Como podemos observar, el escenario que más ahorro genera es la múltiple asignación entre Fondo-sucursal y Fondo-ATM ya que minimiza los transportes entre fondos. Vale la pena resaltar que este tipo de transporte es el más costoso de la red.

6. CONCLUSIONES

En la revisión bibliográfica se identificó que se encuentran pocos modelos matemáticos asociados a la optimización del abastecimiento del efectivo. Además, en Colombia, el diseño, la planeación y la administración de éste sistema se basa en la intuición de los expertos que se encuentran en cada fase del proceso. Por tanto, la implementación de este trabajo genera un gran impacto positivo (ahorros) en la entidad financiera estudiada (confidencial).

La aplicación y adaptación del software industrial utilizado, en este trabajo, fue innovador y retador ya que es la primera vez en Latinoamérica que se hace uso de este tipo de herramienta para optimizar la gestión del efectivo de una entidad bancaria. Además, la herramienta está diseñada para el comportamiento estándar de una cadena de abastecimiento, por tanto fue necesario un alto conocimiento en modelación para lograr adaptar la herramienta al sistema real modelado.

Con los resultados encontrados en este trabajo, podemos confirmar una vez más la importancia de la toma de decisiones basada en métodos matemáticos como la investigación de operaciones que ayudan a encontrar una mejor solución abarcando todas las posibles opciones deseadas. Según el escenario óptimo, Múltiple y Variable Asignación, podríamos decir que entre más dinámica y flexible sea la gestión del abastecimiento del efectivo más eficiente será la solución. Por tanto, es necesario el uso de herramientas potentes y robustas que soporten la operación en el día a día, así como la toma de decisiones a mediano y largo plazo.

7. TRABAJO FUTURO

Modelar la red de abastecimiento, teniendo en cuenta las denominaciones y el estado del dinero.

Ingresar en el modelo una demanda estocástica, ya que realmente se presenta variabilidad en este parámetro, reflejando así la representación de un sistema más real, que aunque más complejo, lo que permitiría tomar mejores decisiones.

Incluir temas y políticas de manejo de inventario como puede ser el VMI (Vendor Managed Inventory) en los ATM y sucursales, para poder optimizar la integración entre transporte y almacenamiento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrosino, D., & Scutella, M. G. (2005). Distribution network desing: New problems and related models. *European Journal of operational research* , 610 - 624.

ANDI. (2014). Boletin retail N°9.

Antonio, E. (2013). *Mathematical programming and game theoryoptimization-based tool for supply chain planning incooperative.* European Journal of Operational Research.

Asobancaria. (2015). La banca colombiana en 2015.

Banco de la república. (2008). *Presentación estado financiero.*

Banco de la República. (2012). Un Moderno Complejo Industrial que integra actividades de Producción y Distribución.

Banco Mundial . (6 de 10 de 2016). Obtenido de http://datos.bancomundial.org/indicador/LP.LPI.OVRL.XQ

Daza, S. (10 de 4 de 2015). *economiacadenaabastecedora*. Obtenido de http://economiacadenaabastecedora.blogspot.com.co/

Dueñas, R. (2008). Introducción al Sistema Financiero y Bancario .

Gartner. (27 de 02 de 2017). *Gartnet Technology*. Obtenido de http://www.gartner.com/technology/home.jsp

Gunasekaran, A., Lai, K., & Edwin Cheng, T. (2008). Responsive supply chain: A competitive strategy in strategy in a networked economy. *Omega 36(4)*, 549-564.

Hernandez Correa, G. (2008). *Manejo del efectivo en Colombia.*

Lambert, D., & Cooper, M. (2000). Issues in Supply Chain Management. Industrial Marketing Management 29. 65- 83.

Llamasoft. (6 de 10 de 2016). *Llamasoft Supply Chain By Design*. Obtenido de http://www.llamasoft.com/supply-chain-guru/

Llamasoft. (27 de 02 de 2017). *Llamasoft Supply Chain By Design*. Obtenido de http://llamasoft.com/es/

Llamasoft Inventory Optimization. (29 de 04 de 2017). Obtenido de http://llamasoft.com/es/plataforma-de-supply-chain-design/

Llamasoft Network Optimization. (30 de 04 de 2017). *Llamasoft*. Obtenido de http://llamasoft.com/es/plataforma-de-supply-chain-design/

Llamasoft Product Flow Optimization. (28 de 04 de 2017). Obtenido de http://llamasoft.com/es/plataforma-de-supply-chain-design/

Moon, C., Lee, Y., Jeong, C., & Yun, Y. (2008). Integrated process planning and scheduling in a supply chain. Computers & Industrial Engineering,. 54(4). Obtenido de http://doi.org/10.1016/j.cie.2007.06.018

Pinedo. (2011). *Scheduling:Theory, Algorithms, and Systems.*

Rosales. (2006). *Una Introducción A Los Modelos Para LaOptimización De La Cadena De Suministros.*

Silva. (2009). *Distributed supply chain management using ant colony optimization.* European Journal of Operational Research.

Silver, E. A., David F, P., & Peterson, R. (1998). Inventory Management and Production Planning and Scheduling. *Editorial John Wiley & Sons*.

SNCCTI. (6 de 10 de 2016). Obtenido de http://www.colombiacompetitiva.gov.co/prensa/2016/Paginas/Indice-de-Desempeno-logistico-del-Banco-Mundial.aspx

Vidal, C. (2006). Fundamentos en Gestión de Inventarios. *Editorial Universidad del Valle*.

Vidović, M., Popović, D., & Ratković, B. (2013). *Mixed integer and heuristics model for the inventory routing problem in fuel delivery.* International Journal of Production Economics.

Zhou, M. H. (2002). *Supply Chain Modelling:past,present and future.* Computers & Industrial Engineering 43, 231-249.