

**Modelo de Planeación y Evaluación Financiera Aplicado a la Cadena de  
Suministro de Generación de Valor en el Sector Manufacturero**

Candidato al título de Magister  
Numar Alexis Peña Quevedo



Universidad de  
**La Sabana**

UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
CHÍA CUNDINAMARCA  
JUNIO 2017

**Modelo de Planeación y Evaluación Financiera Aplicado a la Cadena de  
Suministro de Generación de Valor en el Sector Manufacturero**

Candidato al título de Magister  
Numar Alexis Peña Quevedo

Director: MSc. Andrés Polo Roa



Universidad de  
**La Sabana**

UNIVERSIDAD DE LA SABANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS  
CHÍA CUNDINAMARCA  
JUNIO 2017

**Modelo de Planeación y Evaluación Financiera Aplicado a la Cadena de  
Suministro de Generación de Valor en el Sector Manufacturero**

---

**Jurado 1**

---

**Jurado 2**

---

**Jurado 3**

---

**DIRECTOR**

## CONTENIDO

<b>LISTADO DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTADO DE GRÁFICAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTADO DE TABLAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	6
1.4. MARCO TEÓRICO.....	7
1.5. OBJETIVOS.....	9
1.5.1. Objetivo General: .....	9
1.5.2. Objetivos Específicos: .....	10
1.6. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	10
1.7. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....	10
<b>Objetivo Especifico 1. ....</b>	<b>11</b>
1.8. HIPÓTESIS.....	12
<b>2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PARA UN SISTEMA DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE CADENAS DE SUMINISTRO.....</b>	<b>13</b>
2.1. MODELOS SCM CON ASPECTOS FINANCIEROS.....	17
2.2. DISEÑO DE CADENAS ROBUSTAS .....	19
<b>3. MODELO DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN FINANCIERA PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO .....</b>	<b>21</b>
3.1. MODELO DE CADENA DE SUMINISTROS CON ASPECTOS FINANCIEROS .....	21
3.2. SELECCIÓN DEL REQUERIMIENTO FINANCIERO DE ROBUSTEZ.....	37
3.3. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA Y SU TOLERANCIA .....	48
3.4. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PERTURBACIÓN.....	49
<b>4. MODELO DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN FINANCIERA PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO .....</b>	<b>51</b>
4.1. ANÁLISIS INICIAL PARA LA OBTENCIÓN DE POSIBLES CONFIGURACIONES .....	52
4.2 ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE PERTURBACIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN.....	55

4.3. DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DEL PARÁMETRO DE PERTURBACIÓN SOBRE EL REQUERIMIENTO DE ROBUSTEZ .....	81
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	90
5.2 RECOMENDACIONES.....	92
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>94</b>
6.1 ANEXO 1. VALORES DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO PLANTEADO .....	94
6.2 ANEXO 2. RESULTADOS MODELO.....	96
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>99</b>

## LISTADO DE FIGURAS

---

	Pág.
Figura 1. Presupuesto en la planeación de la producción utilizando herramienta APS	8
Figura 2. Método de medición de desempeño de la cadena de suministro con el desempeño de la estrategia financiera de la empresa	9
Figura 3. Cadena de suministro de bucle cerrado propuesta	22
Figura 4. Visualización de la red propuesta (Reversa)	23
Figura 5. Visualización de la red propuesta (Recuperación)	24
Figura 6. Configuración 1	56
Figura 7. Configuración 2	60
Figura 8. Configuración 3	64
Figura 9. Configuración 4	68
Figura 10. Configuración 5	72
Figura 11. Configuración 6	76

## LISTADO DE GRÁFICAS

---

	Pág.
Gráfica 1. TIR para cada escenario inicial	54
Gráfica 2. VPN para cada escenario inicial	54
Gráfica 3. EVA para cada escenario inicial	55
Gráfica 4. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 1.	57
Gráfica 5. Capacidad utilizada de las plantas en reversa - Configuración 1. Fuente: Autor	57
Gráfica 6. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 1	58
Gráfica 7. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 1	58
Gráfica 8. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 1	59
Gráfica 9. Demanda satisfecha - Configuración 1	59
Gráfica 10. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 2	61
Gráfica 11. Capacidad utilizada de las plantas en reversa - Configuración 2	61
Gráfica 12. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 2	62
Gráfica 13. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 2	62
Gráfica 14. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 2	63
Gráfica 15. Demanda satisfecha - Configuración 2	63
Gráfica 16. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 3	65
Gráfica 17. Capacidad utilizada de las plantas reversa - Configuración 3	65
Gráfica 18. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 3	66
Gráfica 19. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 3	66
Gráfica 20. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 3	67
Gráfica 21. Demanda satisfecha - Configuración 3	67
Gráfica 22. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 4	68
Gráfica 23. Capacidad utilizada de las plantas reversa - Configuración 4	69
Gráfica 24. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 4	69
Gráfica 25. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 4	70
Gráfica 26. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 4	70
Gráfica 27. Demanda satisfecha - Configuración 4	71
Gráfica 28. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 5	72
Gráfica 29. Capacidad utilizada de las plantas reversa - Configuración 5	73
Gráfica 30. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 5	73
Gráfica 31. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 5	74
Gráfica 32. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 5.	74
Gráfica 33. Demanda satisfecha - Configuración 5	75

Gráfica 34. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 6	76
Gráfica 35. Capacidad utilizada de las plantas reversa - Configuración 6	77
Gráfica 36. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 6	77
Gráfica 37. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 6	78
Gráfica 38. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 6	78
Gráfica 39. Demanda satisfecha - Configuración 6	79
Gráfica 40. Efectos del parámetro de perturbación sobre el requerimiento de robustez	81
Gráfica 41. Efectos del parámetro de perturbación sobre el VPN	84
Gráfica 42. Efectos del parámetro de perturbación sobre % de demanda satisfecha	85
Gráfica 43. Efectos del parámetro de perturbación sobre % de utilización de las plantas propuestas de las Configuraciones 3 y 4	86
Gráfica 44. Efectos del parámetro de perturbación sobre % de utilización de los Cdr's propuestos de las Configuraciones 3 y 4	87
Gráfica 45. Efectos del parámetro de perturbación sobre el Valor Económico Agregado (EVA)	88

## LISTADO DE TABLAS

---

	Pág.
Tabla 1. Revisión de cantidad disponible acerca de los indicadores seleccionados	42
Tabla 2. Calificación asignada a cada indicador por factor	43
Tabla 3. Matriz de Calificación Ponderada por indicador	43
Tabla 4. Costo promedio ponderado de capital	46
Tabla 5. Características de operación y tolerancias definidas	49
Tabla 6. Demanda mínima por mercado y periodo definida	50
Tabla 7. Demanda máxima por mercado y periodo definida	50
Tabla 8. Escenarios de variación de demanda	51
Tabla 9. Obtención de configuraciones primera corrida	53
Tabla 10. Configuración ideal según la demanda conocida	83
Tabla 11. Número de escenarios por configuración que sobrepasa la TIR mínima	83

## **1. GENERALIDADES**

---

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

---

La Cadena de Suministro (SC) se define como una red global de organizaciones que cooperan para mejorar los flujos de materiales e información entre proveedores y clientes al menor costo y la velocidad más alta. El objetivo de la Cadena de Suministro es la satisfacción del Cliente. (Proth, 2002).

El término Cadena de Suministro entró al dominio público en el año de 1982, cuando Keith Oliver un consultor en Booz Allen Hamilton lo uso en una entrevista para el Financial Times. A mediados del año de 1990 se empezaron a realizar publicaciones sobre el tema.

El propósito de la Cadena de Suministro (SC) es coordinar y mejorar procesos inter-organizacionales, creando sinergias o estrategias de cooperación con proveedores, intermediarios y empresas de servicios logísticos a fin de identificar y mejorar procesos críticos buscando cumplir los requerimientos de clientes a un menor costo, con mayor calidad y rapidez.

Ha existido confusión entre el término Cadena de Suministro (SC) y Logística, entendiéndose logística es la parte de la gestión de cadenas de suministro que planifica, implementa y controla el eficiente y eficaz el flujo y almacenaje de bienes, desde el punto de origen hasta el punto de consumo y viceversa para poder cumplir con los requerimientos de los clientes (Ribeiro, 2.004).

El modelo de Cadena de Suministro (SC) inicio su aplicación en el sector manufacturero en la década de los 90, el diseño que se implementó en su momento según (Chopra, 1991) abarca tres procesos, Administración de Proveedores, Administración Cadena de Suministro Interna y Administración de la relación con los Clientes; al transcurrir de los años su campo de aplicación se ha diversificado a otros sectores económicos los cuáles fabrican productos Tangibles e Intangibles.

Actualmente la competencia no es solo entre organizaciones, sino entre Cadenas de Suministro (SC); una empresa debe buscar tener excelentes relaciones con sus

proveedores y clientes que le permitan establecer niveles de confianza, compromiso, comunicación y colaboración. Una de las estrategias más utilizadas en la última década, la figura de Outsourcing, ha permitido a los empresarios concentrar sus esfuerzos en el (core business) del negocio tercerizando los procesos que son necesarios para la operación, pero que no son necesarios para la estrategia del negocio.

La Cadena de Suministro (SC) no solo debe analizarse desde la óptica operativa, se debe evaluar financieramente desde la perspectiva de Generación de Valor lo que involucra a la planeación y evaluación financiera como ejes principales, defínase **Planeación Financiera** como una técnica que reúne un conjunto de métodos, instrumentos y objetivos con el fin de establecer los pronósticos y las metas económicas y financieras de una empresa, tomando en cuenta los medios que se tienen y los que se requieren para lograrlo (Van Horne, 2000). Así mismo **Evaluación Financiera** como una metodología escogida para determinar ventajas y desventajas que se pueden esperar de asignar o no recursos hacia objetivos determinados, y toma como punto de partida la organización, estudio y análisis de los diferentes factores de orden económico, técnico, financiero, administrativo e institucional (Miranda, 2005).

En la actualidad existen diversos modelos para evaluar la Generación de Valor, involucrando la planeación y evaluación financiera aplicados a diferentes modelos de Cadena de Suministro (SC), los cuales han sido probados utilizando estudios de caso.

## **1.2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

---

El diseño de la red de cadena de suministro (SCND) es un problema de infraestructura en la gestión de la cadena, que involucra tanto a las decisiones estratégicas como las tácticas. En general se refiere a la determinación del número óptimo de instalaciones y su configuración, la tecnología, las cantidades de compras, producción, distribución, inventarios, y los envíos entre las instalaciones

establecidas, de tal manera que garanticen la satisfacción del cliente y aumente el valor de la cadena (Ramezani, Kimiagari, & Karimi, 2014).

En el diseño de cualquier cadena de suministro, se debe tener en cuenta, entre otros, el equilibrio de atención al cliente mediante la incorporación de proveedores, fabricantes y distribuidores, los cuales se traducen en elementos físicos como las instalaciones, fábricas, medios de transporte, almacenes, entre otros (Garcia & You, 2015). Al realizar el diseño, se debe determinar la capacidad de las organizaciones incluidas en ellas para competir en el mercado, así, una empresa que está tratando de competir en un mercado con costos bajos va a tener dificultades si incluye proveedores de alto costo en su cadena de suministro.

Las características del mercado final en el que una empresa está compitiendo también deben ser consideradas en el diseño de las cadenas de suministro (Chen, Kucukyazici, Verter, & Jesús Sáenz, 2015). Con lo anteriormente mencionado se entiende que las decisiones de diseño son complejas debido a las múltiples variables subyacentes en cada nivel. Estas variables también deben tener en cuenta una visión de las necesidades y alternativas de futuro que impulsarán diversas opciones en la mejor forma de desarrollar un sistema flexible, rentable y orientado al servicio (Holweg & Helo, 2014). El diseño de la cadena de suministro se complementa con el campo de la gestión de la cadena, el cual se ocupa de la colaboración y coordinación de varios grupos de interés para optimizar el flujo de bienes, información y finanzas a lo largo de toda la cadena de suministro (Mentzer et al., 2001).

Según lo expuesto en los textos anteriores, dado el gran número de decisiones interdependientes de la cadena de suministro y herramientas de diseño desarrolladas por expertos en la temática, es poco probable que una herramienta de diseño de la cadena de suministro abarque todo. De hecho, es muy dudoso que una herramienta de este tipo incluso sea útil. Así, prácticamente es necesaria una herramienta para cada caso en particular. Según la literatura especializada, las principales características que se desean evaluar para determinar la capacidad de

la cadena de suministro con el fin de hacer frente a desafíos futuros deben ser identificadas en su diseño (Baghalian, Rezapour, & Farahani, 2013), (An & Lo, 2015), (Chen et al., 2015). Mediante la identificación de las características críticas, el problema de diseño de la red de cadena de suministro SCND se hace más manejable, lo que permite el diseño de estrategias y herramientas.

Cuando se amplían los modelos clásicos de SCND, deben considerarse otras decisiones estratégicas sobre adquisición, selección de tecnología y políticas de mercado (Klibi & Martel, 2013). El problema entonces es mucho más complejo: el número de escalones en la red aumenta, los objetivos se vuelven heterogéneos. Además, la meta final de la administración no es sólo minimizar costos, como se supone en la mayoría de la literatura, sino más bien para maximizar la creación de valor.

En toda cadena de suministro existen flujos financieros, así como flujos de productos físicos. Las operaciones financieras son suplemento al flujo físico de productos y garantizan la financiación de las operaciones logísticas (Ramezani et al., 2014), de esta forma los recursos generados se convierten en el alma de cualquier cadena de suministro (Nagurney & Ke, 2006) (Wuttke, Blome, & Henke, 2013), por lo tanto no debe descuidarse la disponibilidad de recursos financieros en el diseño de la red con la finalidad de evitar la ruina de una cadena de suministro, garantizando desde su proyección no sólo la seguridad del flujo de elementos físicos, sino también de flujos financieros (Bogataj, Aver, & Bogataj, 2015), así el desarrollo exitoso y la supervivencia de las organizaciones pertenecientes a una cadena de suministros dependen del papel de la gestión financiera así como de la propia cadena.

Según (Bandaly, Shanker, Kahyaoglu, & Satir, 2013) ahora es un imperativo de las organizaciones perteneciente a una red reconsiderar sus estrategias y reevaluar los valores de sus socios de la cadena de suministro, así como sus propios negocios en condiciones de incertidumbre financiera y económica. Por lo tanto, costos, inversiones, creación de valor, flujos financieros y la incertidumbre son importantes

en diferentes grados a cualquier cadena de suministros. Sin embargo, si uno de los aspectos domina, esto ayuda a simplificar el complejo desafío de desarrollar estrategias o herramientas apropiadas para el diseño de la cadena de suministros (Longinidis & Georgiadis, 2013), para el problema SCND, la incertidumbre puede ser el desafío más importante.

En el diseño de las redes de la cadena de suministro es deseable tener una configuración de red flexible, que combine un horizonte de planificación multi-periodo con la incertidumbre asociada a variables estocásticas. Este es un tema importante debido al comportamiento de parámetros estocásticos que cambian en el tiempo, pues la solución óptima solo lo será para determinados periodos. En el contexto de los problemas SCND estocásticos, estudios como el de (Mohammadi Bidhandi & Mohd Yusuff, 2011) manejan escenarios resolviendo repetidamente el problema con pequeños conjuntos de escenarios. Sin embargo, este enfoque no se extiende a los programas estocásticos con aversión al riesgo. Para superar este problema es necesario contar una metodología que genere una métrica adecuada para el diseño de cadenas de suministro bajo los componentes de incertidumbre y generación de valor expuestos en los textos anteriores. La alineación de las medidas de rendimiento entre la cadena de suministro y las funciones financieras sigue siendo bastante pobre. Los parámetros de rendimiento de la SC y las métricas de desempeño financiero se definen de diferentes maneras lo que crea dificultades para traducir las medidas operativas de la SC, con su enfoque en las operaciones día a día, alineadas a los objetivos financieros (Camerinelli y Cantú, 2006).

Desde la perspectiva de generación de valor, se ha planteado la preocupación de como el control del riesgo financiero aparentemente salvaguardará la tasa de supervivencia de las pequeñas empresas en la fase inicial de establecimiento (Bolden, 2007). Por lo tanto, hay una urgencia para estudiar la integración del riesgo financiero en el problema SCND para que las organizaciones pertenecientes a una cadena de suministro puedan lograr un mejor rendimiento de su negocio en el futuro.

Según (Holweg & Helo, 2014) existe una ruptura entre la visión de la "cadena de valor" que tiene en cuenta los aspectos de la creación de valor y su apropiación por parte de las organizaciones, y la visión operacional de la cadena de suministro que tenga en cuenta las estrategias y herramientas para el diseño y operación en redes eficientes. De esta forma es necesario trabajar la cadena de valor en el diseño de cadenas de suministro para que operacionalmente sean eficientes.

Con lo mencionado, existen numerosos desafíos y oportunidades implícitos en la formulación, análisis y cálculo de soluciones de diseño de redes de cadenas de suministro bajo generación de valor. Sin embargo, a la fecha han sido pocos los modelos desarrollados para este problema, dejando un gran vacío en la literatura sobre cadena de suministro. Por lo tanto, vale la pena y es necesario llevar a cabo una investigación en esta área, con impactos potencialmente amplios sobre la economía, así como efectos positivos sobre el bienestar de las organizaciones. Todo esto abre la puerta para la interacción entre el conocimiento específico de las ciencias financieras y económicas que generan un enfoque en gestión del riesgo financiero, su evaluación de impacto ante los actuales retos mundiales y la generación de cadena de valor para que operacionalmente sean eficientes las cadenas de suministro y las herramientas de diseño ingenieril como lo es la optimización que aborda la incertidumbre existente en estas variables llevando a la necesidad de encontrar decisiones robustas al problema SCND con una perspectiva que incorpora la capacidad de respuesta y la capacidad de recuperación de este sistema.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

---

De acuerdo al análisis de la literatura y a las apreciaciones de diversos autores, se ha identificado que existe un vacío investigativo, en integrar nuevas formas de evaluar la generación de valor y diseñar una Cadena de Suministro (SC), por lo cual se ha formulado el siguiente problema de investigación:

¿Cómo puede ser diseñada la cadena de suministro de generación de valor del sector manufacturero mediante un modelo de planeación y evaluación financiera?

El crear una nueva forma de evaluar la generación de valor integrando diversas prácticas, permitirá diseñar una Cadena de Suministro (SC) que integre a todos sus eslabones, logrando así obtener mayor control en la ejecución de procesos y evaluación financiera.

#### **1.4. MARCO TEÓRICO**

---

En la literatura ubicada y analizada hasta el momento, se han encontrado diversos modelos de evaluación de generación de valor a Cadenas de Suministro (SC), algunos autores centran su mayor atención en la planeación a través de flujos de caja, (Morgan en 2.004) define “la identificación de beneficios y flujo de caja de control son los principales aspectos a dominar en la medición del desempeño organizacional”, (Chen en 2.010) reafirma el concepto manifestando que “el rendimiento del flujo de caja de la cadena de suministro (SC) es un componente esencial de la gestión del rendimiento de la Cadena de Suministro (SC)”.

Así mismo se han cuestionado las prácticas de evaluación desde el punto de vista financiero a la administración de procesos logísticos, según los autores cada uno de los intervinientes debe ser un eslabón de la Cadena donde se trabaje bajo estrategias de cooperación compartiendo información de proveedores y clientes, se propuso el “desarrollo de un modelo para la integración de herramientas de e-colaboración en la Cadena de Suministro (SC)” (Crespo Márquez, 2004).

Autores como Grand y Comelli manifiestan que “los objetivos se pueden lograr a través de la identificación de la fuente de malos resultados en términos de actividades específicas y la formulación de estrategias a corto plazo para mejorar el desempeño de estas actividades” (Grant, 2005), y “la optimización del flujo financiero se hace de una manera local en cada cadena de suministro, pocas veces de una manera global (Comelli, 2007), es decir siempre se evalúa desde la perspectiva nacional sin tener en cuenta el ámbito internacional.

Otra óptica de evaluación planteada es analizar los resultados considerando las necesidades financieras de cada empresa, en donde se propone medir “el rendimiento de la cadena de suministro vinculado a los objetivos estratégicos

financieros de la compañía” (Kremers, 2010), “desarrollar un método de medición del desempeño que vincula la Cadena de Suministro (SC) con el desempeño en la estrategia financiera de la empresa” (Elgazzar, 2012) donde “el principal objetivo financiero a largo plazo de la empresa es maximizar el beneficio, para lograr este objetivo general a largo plazo, la empresa debe traducir en objetivos de resultados significativos a corto plazo que pueden ser medidos y controlados” (Elgazzar, 2012).

Por último, se propone la “introducción de un modelo matemático que integra las consideraciones financieras con las decisiones de diseño de la Cadena de Suministro (SC) (Longinidis, 2010).

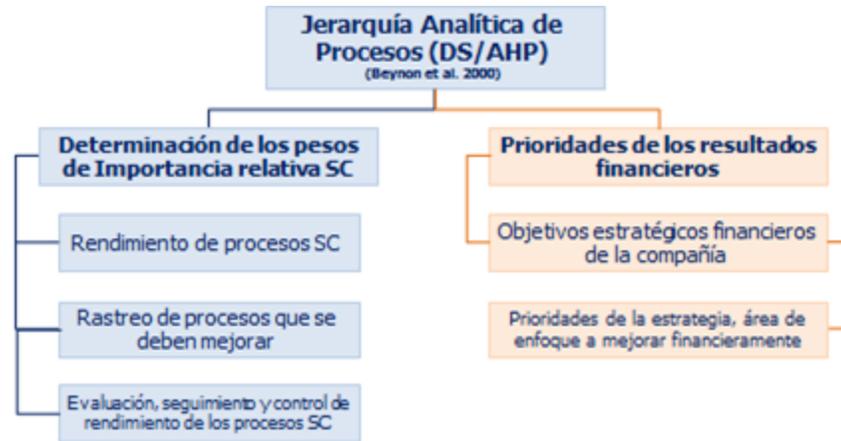
Abordando el problema de investigación planteado bajo estas ópticas de evaluación de generación de valor a la Cadena de Suministro (SC) se tomaron como referentes los modelos:

En la Figura 1, (Comelli, 2.007) propone analizar los niveles de inventario más la satisfacción de la demanda vs. el costeo basado en actividades incluyendo una evaluación minuciosa de las actividades de procesos logísticos estimando un flujo de efectivo eficiente financieramente.



**Figura 1. Presupuesto en la planeación de la producción utilizando herramienta APS. (Comelli, 2007)**

La Figura 2, (Elgazzar, 2012) presenta un modelo de jerarquía analítica de procesos donde propone la medición del rendimiento de la Cadena de Suministro (SC) vs. la estrategia financiera de la empresa.



**Figura 2. Método de medición de desempeño de la cadena de suministro con el desempeño de la estrategia financiera de la empresa. (Elgazzar, 2012)**

Por otra parte, (Longinidis, 2010) presenta modelo matemático donde se involucran las decisiones de diseño de la Cadena de Suministro (SC), la evaluación de incertidumbre de la demanda y la evaluación de condiciones financieras desde la perspectiva de flujos de caja.

Este último se ha tomado como el referente para iniciar el desarrollo del proyecto de investigación, se debe buscar la manera de integrar esta propuesta con las analizadas previamente y las que vayan surgiendo en el proceso investigativo a fin de diseñar un modelo de generación de valor para el Diseño de la Cadena de Suministro (SC) del sector manufacturero, así como buscar replicarlo en empresas de otros sectores económicos.

## 1.5. OBJETIVOS

### 1.5.1. Objetivo General:

Diseñar un modelo de planeación y evaluación financiera utilizando programación no lineal, ratios financieros y análisis de escenarios, a fin de seleccionar la mejor

alternativa de configuración de Generación de Valor aplicado a la Cadena de Suministro para el sector manufacturero.

#### **1.5.2. Objetivos Específicos:**

- Caracterizar el sistema de planeación y evaluación financiera a través de la revisión de literatura científica, con el fin de identificar métricas y variables para el modelo a proponer.
- Determinar el modelo de planeación y evaluación financiera utilizando programación no lineal entera mixta, integrando ratios financieros y análisis de escenarios, con el fin de diseñar la Cadena de Suministro (SC) de generación de valor para el sector manufacturero.
- Sensibilizar el modelo de planeación y evaluación financiera a través del análisis de escenarios, los cuales serán diseñados a partir de la Cadena de Suministro definida para el sector manufacturero con la finalidad de seleccionar una mejor configuración con la cual se genere valor.

#### **1.6. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

---

El tipo de investigación para el presente proyecto es correlacional pues se pretende relacionar métodos de investigación de operaciones, ratios financieros y variables para la obtención de un modelo matemático que permita evaluar la generación de valor en la Cadena de Suministro (SC) del sector manufacturero. Seguido diseñar la Cadena de Suministro (SC) de generación de valor que relacione a todos sus eslabones y que se pueda aplicar en un estudio de caso.

#### **1.7. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

---

La investigación se realizó en tres etapas, la primera abarcó la investigación de diferentes fuentes, ubicando los indicadores financieros base para establecer el requerimiento de robustez y su medición con el procedimiento FePIA (Ali, Maciejewski, Siegel, & Kim, 2004), luego se procedió al desarrollo del modelo matemático, sus respectivas pruebas de funcionamiento y finalmente se realizó el

análisis de escenarios para evaluar el nivel de robustez de la cadena de suministro diseñada.

### **Objetivo Especifico 1.**

- Búsqueda de literatura científica publicada desde enero de 2000 a diciembre de 2016, utilizando las bases de datos (Proquest, Emerald, Science Direct y EBSCO). De la literatura que se encuentre utilizando las bases de búsqueda, se caracterizaran los diferentes modelos de generación de valor que involucren la planeación y evaluación financiera en Cadenas de Suministro (SC), identificando herramientas, variables y métricas utilizadas en cada modelo. Las actividades a desarrollar son:
  - ✓ Recopilación de información: Se consultaron en diferentes fuentes los conceptos y metodologías aplicadas para la consideración de indicadores financieros.
  - ✓ Análisis de la información: Se seleccionaron los indicadores que son aplicables para ser considerados como requerimientos para la selección de la mejor configuración.
  - ✓ A partir de los indicadores seleccionados se elaboro una matriz de ponderación para evaluar cuál de los indicadores será el mejor para ser seleccionado.

### **Objetivo Especifico 2.**

- Integrar en un modelo matemático de Programación no lineal entera mixta (MINLP), ratios financieros y variables identificadas en el análisis de literatura científica, posterior diseñar la Cadena de Suministro (SC) de generación de valor para el sector manufacturero. Las actividades desarrolladas fueron:
  - ✓ Definir las características de operación que se analizarán en la cadena de suministro propuesta.
  - ✓ Definir el parámetro de perturbación mediante el análisis de literatura con el cual se generan cambios en la cadena de suministro.

- ✓ Elaborar un modelo de programación no lineal entera mixta para el diseño de la cadena de suministro seleccionada.

### **Objetivo Especifico 3**

- Construir posibles escenarios para analizar el modelo matemático a través de escenarios, probando el impacto de cambios en las variables definidas.
  - ✓ Realizar el análisis de escenarios posibles para la obtención de las configuraciones de la cadena de suministro propuesta.
  - ✓ Realizar el análisis de escenarios para cada configuración obtenida.

### **1.8. HIPÓTESIS**

---

Establecer un modelo de planeación y evaluación financiera para el diseño de la Cadena de Suministro (SC) de generación de valor en el sector manufacturero, permitirá determinar que configuración es mejor para agregar Valor a los aportes y ganancias generadas.

Para definir el valor de cada una de las variables de respuesta involucradas en la hipótesis, se ha tenido como referencia estudio realizado por Anif sobre la estructura del capital y costo ponderado durante los años 2007 al 2009, los resultados se presentan en la Figura 1 y Figura 2, a esto se suma un estudio de la Superintendencia de Sociedades sobre la rentabilidad del patrimonio y del activo, tomando como referencia la distribución de endeudamiento por sectores económicos en Colombia para los años 2.009 al 2.011, los resultados se presentan en las Figuras 3, 4, 5 y 6.

El costo de la deuda y del capital (equity) aumentó fuertemente durante 2.007 – 2008 como resultado de la crisis internacional. Sin embargo, en los años de “normalización” de 2009 – 2010 dicho costo se redujo nuevamente, llevando el WACC a un valor cercano al 13% (Clavijo, 2010).

## **2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PARA UN SISTEMA DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN FINANCIERA DE CADENAS DE SUMINISTRO**

---

Cada proceso y las decisiones en cadenas de suministro están predispuestos a la incertidumbre. Es así como al realizar evaluaciones y juicios erróneos, estos pueden conducir a acontecimientos imprevistos, que pueden tener consecuencias importantes cuando son detectados demasiado tarde, por tal motivo las incertidumbres deben ser estudiadas desde la fase de diseño de la cadena.

El diseño de una cadena de suministro puede ser eficiente si responde a las interrupciones, pero esta es una tarea compleja y significativamente difícil (Baghalian et al., 2013), así los interesados en el diseño de la cadena de suministro se esfuerzan por lograr que sus resultados sean eficientes y competitivos, pero sensible a los riesgos y las interrupciones. En el estudio desarrollado por (Wang, Craighead, & Li, 2014) demuestran como la inversión en las capacidades de la cadena de suministro aumenta la capacidad de la empresa para ser más resistentes y sensibles a las interrupciones. Sin embargo, existe una brecha en la literatura sobre el equilibrio entre el aumento de la inversión en capacidades de la cadena de suministro y la reducción de riesgos de la cadena.

En la gestión de la cadena de suministro, autores como (Kim & Henderson, 2015), (Bandaly et al., 2013), (Bogataj et al., 2015), (Chen et al., 2015) han sentido la necesidad de analizar de alguna manera el riesgo que produce estas incertidumbres. Debido a la complejidad e interrelación de las cadenas de suministro y la naturaleza de los acontecimientos inciertos, el impacto de cualquier acción se ha convertido en una tarea difícil o incluso imposible de predecir (Longinidis & Georgiadis, 2013).

La inclusión de la gestión del riesgo en problemas SCND se ha abordado en la literatura, aunque en contextos bastante limitados. En su revisión sobre riesgos de la cadena de suministro, (Tang & Nurmaya Musa, 2011) afirmaron que todavía hay

una carencia de modelos cuantitativos para la gestión de riesgo de la cadena de suministro, ya que la mayoría de la literatura se basa en enfoques cualitativos.

En la última década, los investigadores se han centrado en los riesgos de la cadena de suministro y el impacto de estos riesgos en las decisiones de diseño de la cadena de suministro. Así (Blackhurst, Wu, & O'Grady, 2005) estudian los riesgos al diseño del producto y el diseño de los procesos de fabricación; (Pishvaei & Razmi, 2012) integran en su diseño variables de riesgos ambientales con el fin de minimizar los costos de operación de la cadena diseñada; (Schmitt & Singh, 2012) analizan los riesgos asociados a oferta y demanda de productos de la cadena de suministros; (Tsao & Lu, 2012) integran a su diseño un modelo de descuentos en costos de transporte como fuente de riesgo; (Claypool, Norman, & Needy, 2014) diseñan una cadena de suministros teniendo el diseño de productos como fuente de riesgo visibles en la capacidad de los proveedores y la demanda de productos.

En este orden de ideas, (Nickel et al., 2012) desarrolla un problema de diseño de la red de cadena de suministro multi-periodo contemplando diferentes aspectos de relevancia práctica, como los relacionados con las decisiones financieras que deben tenerse en cuenta por una cadena de suministro. Por su parte, (Fattahi & Govindan, 2015) abordan un problema de diseño de una red de la cadena de suministro multi-periodo, en el que varios productos deben ser elaborados a través de diferentes niveles de procesos de fabricación, el problema es formulado como un modelo estocástico de tiempo y demanda de productos. (Goh, Lim, & Meng, 2007) presentan un modelo estocástico del problema de la red cadena de suministro global de varias etapas, que incorpora un conjunto de riesgos relacionados, a saber, la oferta, la demanda, el intercambio, y la interrupción.

Por su parte y en el mismo contexto, (Vahid Nooraie & Parast, 2015) realizan un trabajo en el cual su objetivo es examinar las ventajas y desventajas entre las inversiones en la mejora de las capacidades de la cadena de suministro y la reducción de riesgos de éstas, para minimizar el costo de las interrupciones. Así, la mayoría de diseños de cadena de suministro se caracterizan por múltiples fuentes

de riesgos e incertidumbres inherentes en el diseño de este tipo de sistemas. Por lo tanto, con el fin de obtener una evaluación más realista de los riesgos de la cadena de suministro y su impacto en el rendimiento de la cadena de suministro, los investigadores analizan diferentes parámetros a tener en cuenta, según (Heckmann, Comes, & Nickel, 2014) la mayoría de estudios se centran en analizar cadenas de suministro desde el punto de vista costos, beneficios, inventario y/o demanda insatisfecha; los trabajos de modelado en cadena de suministro bajo riesgo e incertidumbre relacionados con aspectos financieros son pocos, según estos autores.

En los procesos de diseño y planeación de las cadenas de suministro, la incertidumbre es un factor importante que puede influenciar la efectividad de su configuración y coordinación, afectando su desempeño de una manera poco despreciable (Peidro, Mula, Poler, & Verdegay, 2009). Con los anteriores ejemplos se detecta que la inclusión de la incertidumbre en los problemas de diseño de la cadena de suministro conduce a menudo a la necesidad de considerar enfoques de programación estocástica.

En la revisión realizada por (Fahimnia, Tang, Davarzani, & Sarkis, 2015) proporcionan una visión general de la literatura frente a los problemas de diseño y gestión de la cadena de suministro, donde apenas el 8% de las 489 referencias citadas tienen en cuenta aspectos de incertidumbre en el contexto de SCND. Así, no son abundantes los trabajos que tienen en cuenta este factor. La revisión hecha por (Melo, Nickel, & Saldanha-da-Gama, 2009) encuentran que el 20% de los artículos involucran variables estocásticas pero ninguna relacionada con aspectos financieros de la cadena de suministro, en esta investigación se destacan las variables de decisión típicas de una cadena de suministro, además de las tradicionales de ubicación y asignación de capacidad, inventario, adquisición, producción, ruteo y modos de transporte; en la revisión hecha por (Mula, Peidro, Díaz-Madroño, & Vicens, 2010), el 30% de los trabajos investigativos tienen en cuenta la incertidumbre. De estos trabajos investigativos poco más del 75%

corresponden a enfoques de costos, el 16% a utilidades y el restante a diversos enfoques.

En la literatura, hay varios ejemplos de la aplicación de las diferentes medidas de riesgo en el área financiera, pero pocos estudios han sido publicados en el área del diseño de la cadena de suministro. (Guillén, Mele, Bagajewicz, Espuña, & Puigjaner, 2005) formularon un problema de diseño de cadena de suministro como modelo MILP estocástico multi-objetivo para una cadena de suministro de tres escalones considerando la incertidumbre en la demanda, evaluando no sólo el beneficio por encima del horizonte de tiempo, sino también la satisfacción de la demanda. El modelo considera tres funciones objetivo: la maximización del valor presente neto esperado, la maximización de la satisfacción de la demanda y la reducción al mínimo del riesgo financiero utilizando la medida de riesgo a la baja. (Azaron, Brown, Tarim, & Modarres, 2008) desarrollaron un modelo de programación estocástica multi-objetivo para un diseño de la cadena de suministro en condiciones de incertidumbre; costos, demanda, abastecimiento, procesamientos, transporte, escasez y la expansión de la capacidad son considerados como los parámetros inciertos, pero con el objetivo de minimizar los costos y la probabilidad de no cumplir con un determinado presupuesto.

(Holweg & Helo, 2014) presentan un trabajo donde desarrollan un estudio de caso exploratorio para identificar la creación de valor en la cadena, el desarrollo de este fue completamente cualitativo. (Cardoso, Barbosa-Póvoa, & Relvas, 2015) proponen una formulación MILP que integra medidas de riesgo financiero en el diseño y planificación de las cadenas de suministro de ciclo cerrado, teniendo en cuenta la incertidumbre de la demanda, su objetivo es maximizar el valor presente neto (VPN) de la cadena de suministro, minimizando al mismo tiempo el riesgo asociado. (Vahid Nooraie & Parast, 2015) desarrollan un modelo estocástico multi-objetivo para el diseño de la cadena de suministro en condiciones de incertidumbre, las fuentes de riesgo se modelan como un conjunto de escenarios, el objetivo es examinar las ventajas y desventajas entre las inversiones en la mejora de las

capacidades de la cadena de suministro y la reducción de riesgos de la misma, y para minimizar sus costos.

Con lo expuesto se evidencia la carencia de estudios relacionados con los riesgos financieros asociados a incertidumbre como factor determinante en el diseño de la cadena de suministro, los pocos estudios relacionados con la temática poseen variables determinísticas financieras o se encuentran relacionadas con los criterios a evaluar en la función objetivo del estudio como la maximización del valor presente neto o minimización de riesgo financiero. A juzgar por la revisión literaria realizada, la investigación sobre modelos de diseño de cadenas de suministro que capturan aspectos financieros es aún poco explorada.

## **2.1. MODELOS SCM CON ASPECTOS FINANCIEROS**

---

Para determinar la importancia de diseñar un modelo matemático que contemple razones financieras y cuyo objetivo sea la maximización de la generación de valor se evaluarán artículos sobre esta temática.

Iniciando con el trabajo de (Romero, Badell, Bagajewicz, & Puigjaner, 2003) construyeron un modelo matemático multi-período determinista para la industria de procesos químicos por lotes que combinó la programación y la planificación con el flujo de caja y la administración del presupuesto. En el mismo sentido, (Badell, Romero, Huertas, & Puigjaner, 2004) propusieron un modelo multi-parámetro, multi-disciplinario, determinista con Programación Lineal Entera Mixta (MILP) para las industrias de proceso por lotes que integra la planificación avanzada y la programación a nivel de planta contemplando flujo de caja y presupuesto de capital. (Guillén, Badell, Espuña, & Puigjaner, 2006) Introdúcen un modelo determinista de MILP, para una cadena de suministro multi-producto, de múltiples niveles, que optimiza las decisiones de planificación y programación con flujo de efectivo y presupuesto simultáneamente, su función objetivo es maximizar el cambio en el patrimonio de la empresa, una novedad frente a los modelos anteriores. (Laínez, Guillén, Badell, Espuña, & Puigjaner, 2007) propusieron un modelo determinístico de MILP para el diseño óptimo de una cadena de suministro de productos químicos

basada en modelos holísticos que abarcaban tanto las operaciones de proceso como las finanzas de la empresa y apuntaban a maximizar el valor corporativo de la empresa.

(Comelli, Fenies, & Tcherneva, 2008) combinan la planificación maestra de la cadena de suministro con el cálculo de costos basados en la actividad para los procesos agregados de la cadena de suministro. (Bertel, Fenies, & Roux, 2008) maximizan la posición de efectivo promedio en su modelo de decisión para la planificación operativa de la cadena de suministro basada en una formulación de planificación de flujo. Por otra parte (Hahn & Kuhn, 2011) desarrollan un marco de decisión determinista para optimizar el Valor Económico Agregado (EVA<sup>TM</sup>) como una métrica de desempeño basada en el valor a mediano plazo de las ventas y la planificación de operaciones.

Otro modelo multi-producto es el presentado por (Hammami, Frein, & Hadj-Alouane, 2008), el cual también es multi-planta y multi-nivel y fue formulado como un MILP. Los aspectos financieros de este modelo fueron los precios de transferencia, la asignación de los costos de los proveedores y la asignación de los costos de transporte. También (Sodhi & Tang, 2009) presentaron un modelo de planificación de la cadena de suministro de programación lineal. La gestión del flujo de efectivo y las restricciones de endeudamiento fueron los aspectos financieros del modelo cuyo objetivo era maximizar el EVA del efectivo neto en un horizonte de planificación dado.

El modelo presentado por (Longinidis & Georgiadis, 2011) integra consideraciones financieras con las decisiones de diseño de la cadena de suministro bajo la incertidumbre de la demanda utilizando un estudio de caso para aplicar parámetros financieros que expresan el entorno empresarial. Posteriormente, (Nickel, Saldanha-da-Gama, & Ziegler, 2012) consideraron un modelo de diseño estocástico SCN que integró el presupuesto de capital y la gestión de apalancamiento bajo incertidumbre en la demanda y las tasas de interés. Finalmente, (Longinidis & Georgiadis, 2013) realizan un modelo matemático que integra el desempeño

financiero y el modelo de solvencia de crédito con decisiones de diseño de SCN bajo incertidumbre económica. El modelo de programación multi-objetivo es no lineal entero mixto (MINLP) y brinda resultados financieros a través del valor añadido económico (EVA™) y la solvencia crediticia a través de un modelo de puntaje de crédito válido (puntuación Z de Altman).

## **2.2. DISEÑO DE CADENAS ROBUSTAS**

---

Muchos métodos y enfoques buscan resolver problemas relacionados en el diseño de la cadena suministro. Estos métodos incluyen modelos matemáticos, la heurística y la inteligencia artificial (Vahid Nooraie & Parast, 2015). Cuando el diseño de la cadena de suministro se enfrenta a la incertidumbre, las políticas de respuesta operacionales deben adaptarse para hacer frente a acontecimientos imprevistos y la cadena debe ser estructurada para ser resistente a los cambios. Esto implica que los modelos de SCND deben incluir construcciones de mitigación de riesgo que fomentan la resiliencia, y que deben anticipar recursos resultantes de las políticas de respuesta. Los modelos de SCND deterministas no tienen capacidad de respuesta y de recuperación y la mayoría de los modelos estocásticos la tienen en cuenta sólo parcialmente. Aunque algunos de estos conceptos se investigaron en las variantes recientes de modelos de localización, aún queda mucho por hacer en la modelización estocástica de diseño de cadenas de suministro bajo incertidumbre.

Según (Klibi, Martel, & Guitouni, 2010) como los flujos financieros son inciertos, las medidas empleadas para evaluar futuras actuaciones de la red de cadena de suministro dependen del enfoque utilizado para modelar la incertidumbre. Una manera de abordar la incertidumbre financiera es considerando el concepto de robustez. Una revisión de la literatura sobre la robustez de la cadena de suministro (Vlajic, Van Der Vorst, & Haijema, 2015) muestra que hay una falta de un marco integral que orienta a las organizaciones en el diseño de las cadenas de suministro robustas, estos autores indican también que la robustez puede ser considerada tanto a nivel conceptual cualitativo como a nivel de modelos cuantitativos.

(Klibi & Martel, 2013) argumentan que, bajo la incertidumbre, los modelos formulados generalmente se resuelven por muestras representativas de posibles escenarios futuros. Según los autores citados el uso de diferentes muestras de escenarios o diferentes técnicas de solución conducen a diseños alternativos, los diseños sugeridos por el modelo deben ser comparados con la red de statu quo.

Ninguno de los estudios existentes hasta lo actualmente indagado, ha integrado una metodología de modelado de dificultades financieras en un marco de incertidumbre y menos que el diseño resultante haga frente a acontecimientos financieros imprevistos y que la cadena sea estructurada para ser resistente a los cambios. Para llenar este vacío, el presente trabajo desea desarrollar un diseño robusto de cadenas de suministro bajo condiciones de incertidumbre financiera.

Ali, et al, (2004) definen robustez como la preservación de ciertas características deseadas del sistema, a pesar de que se presenten fluctuaciones en el comportamiento de sus componentes o del ambiente. Con esto, ninguno de los estudios existentes, ha integrado una metodología de modelado de dificultades financieras en un marco de incertidumbre y menos que el diseño resultante haga frente a acontecimientos financieros imprevistos y que la cadena sea estructurada para ser resistente a los cambios. Para llenar este vacío, el presente trabajo desea desarrollar un diseño robusto de cadenas de suministro bajo condiciones de incertidumbre financiera. Precisamente Ali et al. (2004) proponen una metodología llamada Procedimiento FePIA, el cual es usado a manera de métrica de robustez, es decir, con él se determina cuantitativamente qué tan robusto es un sistema. El presente trabajo está basado en el uso de la metodología propuesta por Tordecilla-Madera, & González-Rodríguez (2014), el cual a su vez está basada en la de Ali et al. (2004), aplicando esta metodología al problema de diseño de una cadena de suministro de bucle cerrado mediante la adaptación de un modelo de programación binaria. Puedo concluir el logro de este objetivo es el que permite realizar un aporte al conocimiento, no se ha encontrado evidencia de aplicación del procedimiento FePIA en este contexto.

### **3. MODELO DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN FINANCIERA PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO**

---

El modelo matemático utilizado está basado en el trabajo de Cardoso, et al. (2016) y Hatefi & Jolai (2013) y fue modificado para que se ajustara a las características particulares consideradas en el presente trabajo. Se consideran varios períodos, un solo producto, una red multi-escalón de bucle cerrado consistente en diferentes proveedores, plantas de producción y centros de distribución en el flujo de avance y recogida, centros de disposición para la eliminación de los productos no recuperados en flujo inverso y centros de mercado para la comercialización de productos. El tipo de red logística contempla que el centro de distribución sea híbrido integrando la distribución y recogida de productos al igual que las plantas de producción que pueden reprocesar los productos recuperados.

#### **3.1. MODELO DE CADENA DE SUMINISTROS CON ASPECTOS FINANCIEROS**

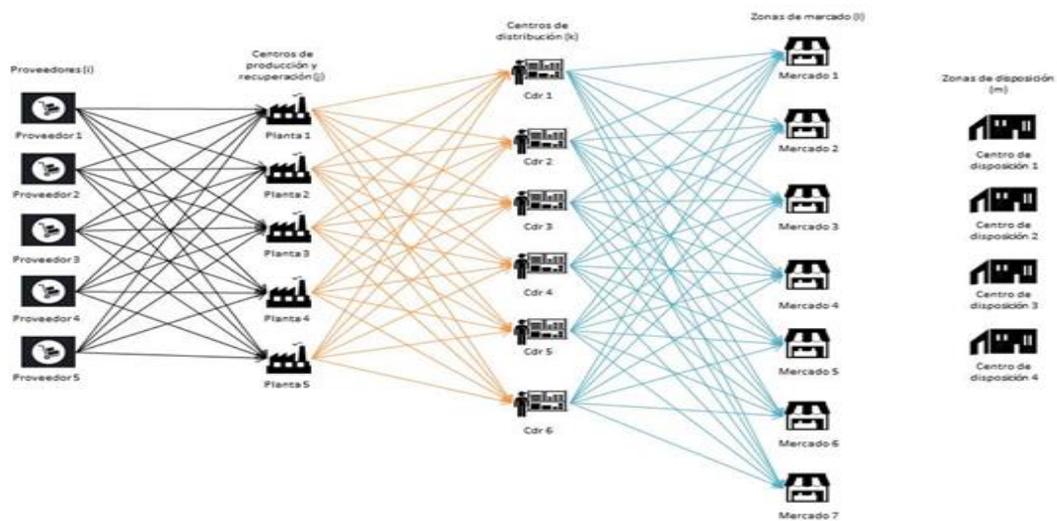
---

El desarrollo del modelo matemático inició a partir del diseño de la red para la cadena de suministro la cual estará conformada inicialmente por 5 proveedores quienes abastecerán 5 centros de producción, estos centros de producción tienen una característica especial ya que no solo cumplen la labor de fabricar el producto definido sino que además cuentan con una capacidad de recuperación de producto que puede llegar como devolución de los mercados considerados por desperfectos, garantías, o reacondicionamiento esta idea surge a partir de un nuevo enfoque considerado por (Hatefi & Jolai, 2013) en el que desde el diseño de la cadena de suministro es importante considerar el diseño de redes logísticas en reversa para afrontar los requerimientos legales existentes, y requerimientos de protección al medio ambiente que cada vez están más en auge y que por otra parte reflejan beneficios económicos.

Otro aspecto considerado en el desarrollo de la red para la cadena de suministro de este proyecto se sustenta en los riesgos asociados que pueden afectar su funcionamiento, según (Hatefi & Jolai, 2013) existen dos grandes categorías de

riesgo que deben ser considerados en el diseño de cualquier cadena de suministro el primero es el riesgo originado por las dificultades de coordinación de la demanda y el suministro y el segundo es el riesgo originado por la interrupción de las actividades normales incluidos las situaciones sobre las que no se tienen control por ejemplo desastres naturales, problemas económicos entre otros; basado en lo anterior en el diseño de la red de suministro de este proyecto se consideró la variación de la demanda como parámetro de perturbación, ya que en la vida real la demanda tienen variaciones no controlables que involucran un riesgo y adicionalmente su variación puede presentarse por falta de coordinación en la demanda y el suministro o por interrupción en las actividades normales, por esta razón no se consideró necesario definir un parámetro de perturbación para cada tipo de riesgo ya que la demanda pudo variar sea por uno por otro riesgo, sin embargo no se descarta la posibilidad de definir múltiples parámetros de perturbación según la profundidad que se desee para el estudio, lo que puede dotar la cadena de robustez al considerar cada vez más riesgos que se podrían controlar.

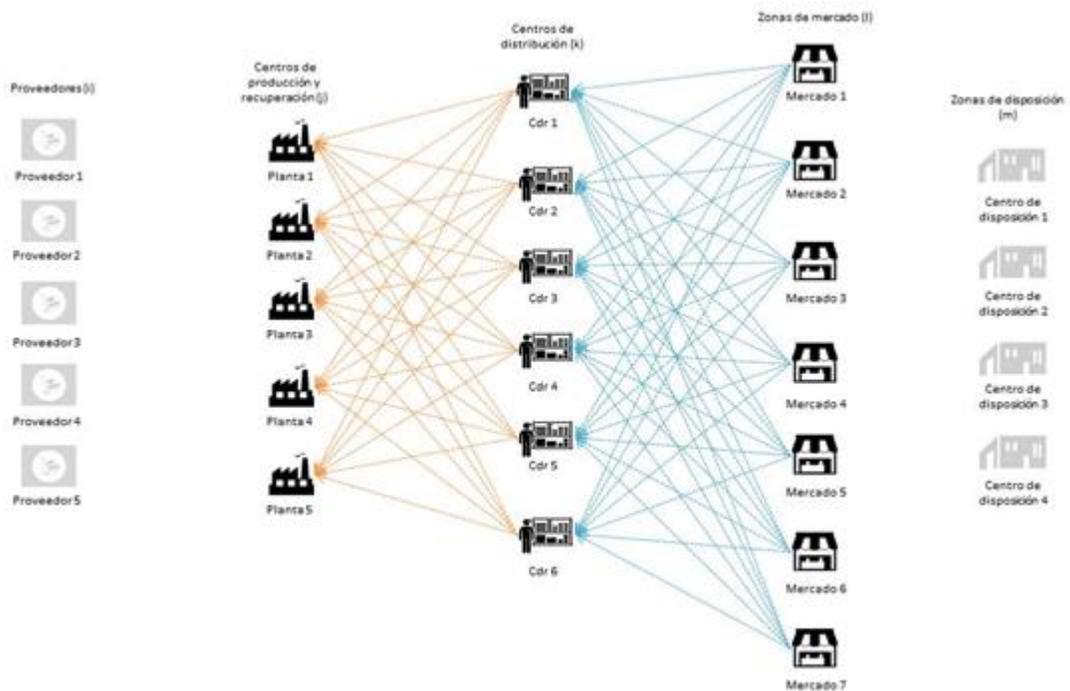
Una vez los proveedores abastecen a las plantas éstas fabrican el producto y hacen envío a los 6 centros de distribución disponibles, los cuales a su vez hacen envío de los productos a los 7 mercados demandantes como se ilustra en la Figura 3.



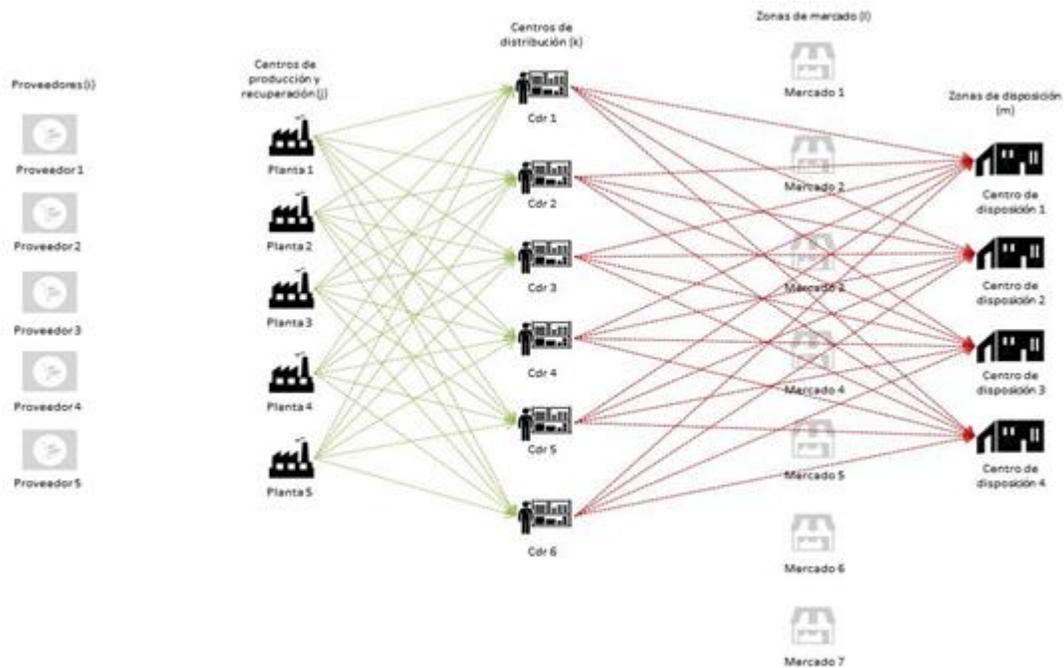
**Figura 3. Cadena de suministro de bucle cerrado propuesta.**

Una vez entregado el producto a los 7 mercados demandantes, es posible que se generen devoluciones ya sea por desperfectos, garantía o reacondicionamientos, considerando la logística de reversa encargada de lograr que los ítems devueltos regresen a la planta la cual intentará, según su capacidad y el estado del ítem, recuperarlo para su nueva incorporación al sistema. Su transporte inicia desde la zona de mercado al centro de distribución y posteriormente desde el centro de distribución al centro de producción y recuperación como se observa en la Figura 4.

Una vez el centro de recuperación procesa las unidades y les realiza el respectivo tratamiento nuevamente los enviará a los centros de distribución quienes evaluarán que productos pueden ser enviados a los respectivos mercados o si por el contrario envían estos ítems a las zonas de disposición disponibles ya que no es posible recuperarlo y se realizará el tratamiento adecuado para su disposición final (Figura 4).



**Figura 4. Visualización de la red propuesta (Reversa).**



**Figura 5. Visualización de la red propuesta (Recuperación).**

Los siguientes índices, parámetros y variables fueron definidos para la formulación del modelo matemático:

**ÍNDICES:**

- i:* Numero de proveedores;  $i = 1,2,3,4,5$ .
- j:* Numero de centro de producción y recuperación;  $j = 1,2,3,4,5$
- k:* Numero de centros de distribución y recolección;  $k = 1,2,3,4,5,6$
- m:* Numero de centros de disposición;  $m = 1, 2, 3, 4$ .
- l:* Numero de zonas de mercado;  $l = 1,2,3,4,5,6,7$
- t:* Numero de periodos de tiempo;  $t = 1,2,3,4,5$

**PARÁMETROS:**

- $GN_t$ : Ganancia Neta
- $PD$ : Coeficiente de variación (0-100)
- $dmin_{lt}$ : Demanda mínima posible por mercado  $l$  en el periodo de tiempo  $t$
- $dmax_{lt}$ : Demanda máxima posible por mercado  $l$  en el periodo de tiempo  $t$

$dem_{lt}$ :	<i>Demanda definida para el mercado l en el periodo de tiempo t</i>
$ret_{lt}$ :	<i>Tasa de retorno de productos usados en zona de mercado l, en el periodo t</i>
$cp_j$ :	<i>Capacidad de centro producción y recuperación j</i>
$cpr_j$ :	<i>Capacidad de centro producción y recuperación j en reversa</i>
$dc_k$ :	<i>Capacidad del centro de distribución y recolección k</i>
$dcr_k$ :	<i>Capacidad del centro de distribución y recolección k en reversa</i>
$ce_m$ :	<i>Capacidad de eliminación de productos del centro de disposición m</i>
$inip_j$ :	<i>Inversión inicial de la planta j</i>
$inicdr_k$ :	<i>Inversión inicial del centro de distribución k</i>
$inidm_m$ :	<i>Inversión inicial del centro de disposición m</i>
$f_{jt}$ :	<i>Costo fijo de operación de centros de producción y recuperación j en el periodo de tiempo t</i>
$g_{kt}$ :	<i>Costo fijo de operación de centros de distribución y recolección k en el periodo de tiempo t</i>
$h_{mt}$ :	<i>Costo fijo de operación de centro de disposición m en el periodo de tiempo t</i>
$a_{jkt}$ :	<i>Costo de transporte por unidad desde los centros de producción y recuperación j a centros de distribución y recolección k, en el periodo de tiempo t</i>
$b_{klt}$ :	<i>Costo de transporte por unidad desde el centro de distribución y recolección k a zonas de mercado l en el periodo de tiempo t</i>
$c_{ijt}$ :	<i>Costo de transporte por unidad desde el proveedor i a centro de producción y recuperación j en el periodo de tiempo t</i>
$e_{kjt}$ :	<i>Costo de transporte por unidad recuperada desde el centro de distribución y recolección k a centro de producción j en el periodo de tiempo</i>
$o_{kmt}$ :	<i>Costo de transporte por unidad desechada desde el centro de distribución k a centro de disposición m en el periodo de tiempo t</i>
$cr_{lkt}$ :	<i>Costo de transporte por unidad devuelta desde la zona de mercado l a centro de distribución k en el periodo de tiempo t</i>

$\alpha_{jt}$ :	<i>Costo de producción por unidad en el centro de producción y recuperación j en el periodo de tiempo t</i>
$\beta_{kt}$ :	<i>Costo de distribución por unidad en el centro de distribución k en el periodo de tiempo t</i>
$\rho_{it}$ :	<i>Costo de compra de material de proveedor i en el periodo de tiempo t</i>
$\eta_{kt}$ :	<i>Costo de recoger producto usado en centro de distribución k en el periodo de tiempo t</i>
$\gamma_{mt}$ :	<i>Costo de eliminar producto en centro de disposición m en el periodo de tiempo t</i>
$\pi_{lt}$ :	<i>Costo de penalización por zona de mercado l en el periodo de tiempo t</i>
$p_{vlt}$ :	<i>Precio de venta en zona de mercado l en el periodo de tiempo t</i>
$\lambda_{kt}$ :	<i>Costo de distribución de productos recuperados en el centro de distribución k en el periodo de tiempo t</i>
<i>ad:</i>	<i>Promedio de perdidas</i>
<i>ir:</i>	<i>Tasa de interés</i>
<i>vs:</i>	<i>Valor de salvamento</i>
<i>ti</i>	<i>Tasa por impuestos</i>
<i>ur:</i>	<i>Porcentaje utilidades retenidas</i>
<i>uc:</i>	<i>Porcentaje nuevas emisiones de acciones</i>
<i>tcde:</i>	<i>Tasa de crecimiento de la deuda</i>
<i>CANA:</i>	<i>Capital aportado con valor nominal de acciones</i>
<i>VAM:</i>	<i>Valor acciones en el mercado</i>
<i>TICP:</i>	<i>Tasa de interés corto plazo</i>
<i>TILP:</i>	<i>Tasa de interés largo plazo</i>
<i>TIRIE:</i>	<i>Tasa de riesgo</i>
<i>TIR:</i>	<i>Tasa de retorno esperada</i>
<i>Co<math>\beta</math>:</i>	<i>Coeficiente Beta de la cadena</i>
<i>NT:</i>	<i>Número de períodos de tiempo</i>

**VARIABLES DE DECISION:**

$CUP_{jt}$ :	<i>Capacidad utilizada en plantas de producción de productos j en el periodo de tiempo t</i>
$CUPR_{jt}$ :	<i>Capacidad utilizada en plantas de producción en recuperación de productos j en el periodo de tiempo t</i>
$CUCD_{kt}$ :	<i>Capacidad utilizada en centros de distribución k en el periodo de tiempo t</i>
$CUCDR_{kt}$ :	<i>Capacidad utilizada en centros de distribución k para recuperación en el periodo de tiempo t</i>
$CUCDS_{mt}$ :	<i>Capacidad utilizada en centros de disposición m en el periodo de tiempo t</i>
$X_{jkt}$ :	<i>Productos enviados desde plantas de producción y recuperación j a centro de distribución k en el periodo de tiempo t</i>
$Y_{klt}$ :	<i>Producto enviados desde centros de distribución k a zonas de mercado l en el periodo de tiempo t</i>
$\Delta_{lit}$ :	<i>Demanda no satisfecha en zona de mercado l en el periodo de tiempo t</i>
$VPN$ :	<i>Valor presente neto en escenario</i>
$FEA_t$ :	<i>Flujo de efectivo anual traído a valor presente en el periodo de tiempo t</i>
$FE_t$ :	<i>Flujo de efectivo anual en el periodo de tiempo t</i>
$FCD_t$ :	<i>Fracción de capital despreciable en el periodo de tiempo t</i>
$V_{lt}$ :	<i>Venta de productos en zona de mercado l en el periodo de tiempo t</i>
$R_{lkt}$ :	<i>Productos recuperado de zonas de mercado l enviados a centros de distribución k en periodo de tiempo t</i>
$RP_{kjt}$ :	<i>Productos a reprocesar llevados desde los centros de distribución k a plantas de producción y recuperación j en el periodo de tiempo t</i>
$DP_t$ :	<i>Depreciación en el periodo de tiempo t</i>
$FCl_t$ :	<i>Capital fijo invertido en el periodo de tiempo t</i>
$PR_{jkt}$ :	<i>Cantidad de producto recuperado en plantas de producción y recuperación j, enviado a centros de distribución k en periodo de tiempo t</i>

$W_{kmt}$ :	<i>Productos desechados enviados desde los centros de distribución k a centro de disposición m en el periodo de tiempo t</i>
$P_{ijt}$ :	<i>Productos comprados a proveedor i para la planta de producción y recuperación j en periodo de tiempo t</i>
$Q_j$ :	<i>Apertura o no de planta de producción y recuperación j</i>
$TCD_k$ :	<i>Apertura o no de centro de distribución k</i>
$U_m$ :	<i>Apertura o no de centro de disposición m</i>
$BN_t$ :	<i>Beneficio neto en periodo t</i>
$Rtotal_t$ :	<i>Responsabilidades totales en el periodo t</i>
$DIV_t$ :	<i>Dividendos en el periodo t</i>
$GARET_t$ :	<i>Ganancia retenida en el periodo t</i>
$AT_t$ :	<i>Activos totales en el periodo t</i>
$PT_t$ :	<i>Pasivos más patrimonio totales</i>
$AF_t$ :	<i>Activos fijos en el periodo t</i>
$EFEC_t$ :	<i>Efectivo en el periodo t</i>
$CPC_t$ :	<i>Cuentas por cobrar en el periodo t</i>
$EXIST_t$ :	<i>Activos existentes en el periodo t</i>
$RECIENT_t$ :	<i>Activos nuevos adquiridos en el periodo t</i>
$AC_t$ :	<i>Activos corrientes en el periodo t</i>
$NEA_t$ :	<i>Nueva emisión de acciones en el periodo t</i>
$PAT_t$ :	<i>Patrimonio en el periodo t</i>
$CPPLP_t$ :	<i>Cuentas por pagar largo plazo en el periodo t</i>
$CPPCP_t$ :	<i>Cuentas por pagar corto plazo en el periodo t</i>
$CI_t$ :	<i>Capital invertido en el periodo t</i>
$CAAPOR_t$ :	<i>Capital Aportado en el periodo t</i>
$GR_t$ :	<i>Nuevas Ganancias retenidas en el periodo t</i>
$NAFI_t$ :	<i>Nuevas acciones con fines de inversión en el periodo t</i>
$NAC_t$ :	<i>Número de acciones en circulación en el periodo t</i>
$CW_t$ :	<i>Capital de trabajo en el periodo t</i>

$VACC_t$ :	<i>Valor de la acción en el periodo t</i>
$WACC_t$ :	<i>Costo medio ponderado del capital al final del período periodo t</i>
$EVA$	<i>Valor Económico Agregado</i>
$UTILNETA_t$ :	<i>Utilidad neta después de impuestos en el periodo t</i>
$NCPPL_t$ :	<i>Nuevas cuentas por pagar largo plazo en el periodo t</i>
$NCPPC_t$ :	<i>Nuevas cuentas por pagar corto plazo en el periodo t</i>
$PAC_t$ :	<i>Precios de activos de capital en el periodo t</i>

### **FUNCION OBJETIVO:**

El objetivo de este modelo es maximizar el Valor Económico Agregado EVA<sup>TM</sup> (Stewart, 1994), índice ampliamente utilizado que proporciona a los inversionistas una evaluación imparcial, ya que supera las interpretaciones pesimistas del ingreso neto reportadas en la cuenta de resultados, de lo que la compañía realizó (Brealey, Myers & Marcus, 2004; Ross, Westerfield & Jordania, 2006). Su cálculo se realiza mediante la sustracción del costo medio ponderado del capital (WACC), cifra que expresa, en general, los costos reales asociados a las principales fuentes de capital empleadas por la empresa, a la utilidad neta después de impuestos que figura en el estado de resultados.

$$EVA = \sum_{t=1}^{NT} BN_t - \sum_{t=1}^{NT} WACC_t * CI_t$$

Por otra parte, se desea calcular las ganancias netas para cada configuración evaluada y por periodo de tiempo t, lo cual se calcula haciendo una resta de los flujos de entrada y salida de efectivo, en el modelo se calcula de la siguiente forma ilustrada en la Ecuación (2).

$$\begin{aligned}
GR_t = (1 - ir) & \left[ \sum_{\forall l}^J pv_{lt} V_{lt} - \sum_{\forall j}^J \sum_{\forall k}^K (\alpha_{jt} + a_{jkt}) x_{jkt} - \sum_{\forall k}^K \sum_{\forall l}^L (\rho_{kt} + b_{klt}) y_{klt} \right. \\
& - \sum_{\forall l}^L \sum_{\forall k}^K (\eta_{kt} + cr_{lkt}) R_{lkt} - \sum_{\forall k}^K \sum_{\forall j}^J (\lambda_{kt} + e_{kjt}) RP_{kjt} \\
& - \sum_{\forall m}^M \sum_{\forall k}^K (Y_{mt} + o_{km}) w_{kmt} - \sum_{\forall j}^J \sum_{\forall k}^K (a_{jkt} PR_{jkt}) - \sum_{\forall l}^L \varphi_{lt} \delta_{lt} \\
& \left. - \sum_{\forall i}^I \sum_{\forall j}^J \rho_{it} P_{ijt} \right] + (ir * DP_t) \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (2)
\end{aligned}$$

La ecuación (3) calcula los beneficios netos de explotación después de impuestos restando intereses a corto plazo e intereses a largo plazo.

$$BN_t = GR_t - TICP * CPPCP_t - TILP * CPPLP_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (3)$$

La ecuación (4) formula el balance general para la cadena de suministro. Comenzando con la ecuación básica del balance, donde el lado izquierdo es igual al derecho, es decir, los activos totales deben ser iguales al patrimonio de los inversionistas sumado el pasivo total como se muestra en la ecuación (4).

$$AF_t + EFEC_t + CPC_t = CAAPOR_t + GR_t + CPPLP_t + CPPCP_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (4)$$

Los activos totales son el resultado de la suma de Activos fijos, efectivo y cuentas por cobrar como se muestra en la siguiente ecuación.

$$AT_t = AF_t + EFEC_t + CPC_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (5)$$

Los activos fijos, según la ecuación (6) son el resultado de la suma de los activos existentes y los nuevos.

$$AF_t = EXIST_t + RECIEN_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (6)$$

De acuerdo con los principios de contabilidad, el costo de adquirir activos fijos no debe gravar totalmente el período fiscal en que se produjo esta adquisición sino todos los períodos fiscales (vida útil estimada del activo) que se benefician de su

uso. La depreciación es la asignación del costo de los activos fijos a los períodos fiscales que se benefician de su uso como un medio para equiparar los gastos con los ingresos porque si este enorme costo fue atribuido a un único período fiscal la información de rentabilidad será engañosa. La ecuación (7) muestra su cálculo para la presente investigación.

$$DP_t = \frac{(1 - vs)FCI_t}{NT} \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (7)$$

La ecuación (8) define que los activos fijos existentes se calculan como activos fijos existentes del período anterior menos su depreciación. Al expresar los activos fijos nuevos es necesaria una distinción entre el periodo inicial o de creación de la cadena y los siguientes períodos, por la tanto es necesario establecer el monto de los activos iniciales antes de la planeación de la cadena de suministro.

$$EXIST_t = EXIST_{t-1} + RECIENT_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (8)$$

El cálculo de los activos nuevos se muestra en la ecuación (9), indicando que su valor inicial es cero.

$$RECIENT_t = FCI_t - DP_t * FCI_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (9)$$

El capital invertido fijo en cada periodo se calcula, ecuación (10), como el costo de apertura de plantas, centros de distribución y centros de disposición.

$$FCI_t = \sum_{j=1}^J (f_{jt} * Q_j) + \sum_{k=1}^K (g_{kt} * TDC_k) + \sum_{m=1}^M (h_{mt} * U_m) \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (10)$$

La ecuación (11) define los activos corrientes como la suma de los activos líquidos, como el efectivo y las cuentas por cobrar. El efectivo se define en la ecuación (12) como el efectivo del período anterior más un porcentaje de adición a las ganancias retenidas.

$$AC_t = EFEC_t + CPC_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (11)$$

$$EFEC_t = EFEC_{t-1} + ur * GARET_t + (1 - uc) * NEA_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (12)$$

Las cuentas por cobrar, el otro componente del activo corriente, se define en la ecuación (13) como las cuentas por cobrar del período anterior más el porcentaje restante de adición a las ganancias acumuladas.

$$CPC_t = CPC_{t-1} + (1 - ur) * GARET_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (13)$$

La ecuación (14) define el capital invertido total como el patrimonio de los accionistas, los pasivos a corto plazo y los pasivos a largo plazo.

$$CI_t = PAT_t + CPPLP_t + CPPCP_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (14)$$

El patrimonio, tal como se muestra en la ecuación (15), se define como la suma del capital aportado y las utilidades retenidas. En la ecuación (16), el capital aportado se define como el capital aportado del período anterior más la nueva emisión de acciones obtenidas de los mercados de capitales. La ecuación (17) establece las nuevas acciones emitidas para fines de inversión de capital de trabajo.

$$PAT_t = CAAPOR_t + GR_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (15)$$

$$CAAPOR_t = CAAPOR_{t-1} + NEA_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (16)$$

$$NEA_t = NAFI_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (17)$$

La restricción (18), define las ganancias acumuladas como las ganancias retenidas del período anterior más la adición a las utilidades retenidas. El pasivo es la suma de los pasivos a corto plazo y el pasivo a largo plazo, como se muestra en la ecuación (19). Los pasivos a corto plazo se definen en la restricción (20) como pasivos a corto plazo del período anterior más nuevos pasivos a corto plazo del ciclo financiero para la cadena de suministros. De la misma manera, los pasivos a largo plazo se definen en la restricción (21) como el pasivo a largo plazo del período anterior más los nuevos pasivos a largo plazo del ciclo financiero del ejercicio fiscal en curso.

$$GR_t = GR_{t-1} + GARET_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (18)$$

$$Rtotal_t = CPPLP_t + CPPCP_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (19)$$

$$CPPCP_t = CPPCP_{t-1} + NCPPC_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (20)$$

$$CPPLP_t = CPPLP_{t-1} + NCPPL_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (21)$$

El capital de trabajo se define como activo corriente menos pasivo a corto plazo, ecuación (22). El número de acciones en circulación se define en la ecuación (23) dividiendo el capital aportado con el valor nominal de las acciones. El valor de mercado del patrimonio es el producto del número de acciones en circulación y el valor de mercado de las acciones, como se muestra en la ecuación (24). Por último, el costo total del establecimiento de los centros de distribución y centros de disposición y plantas, debido a la configuración de cadena de suministro, debería financiarse mediante una combinación de nuevas acciones emitidas para fines de inversión de capital fijo y nuevos pasivos a largo plazo. De nuevo, el término se multiplica con la suma de nuevas acciones emitidas con fines de inversión de capital fijo para presentar el valor neto del efectivo ganado para pagar el costo de establecimiento del activo fijo, como se muestra en la ecuación (25).

$$CW_t = AC_t - CPPCP_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (22)$$

$$NAC_t = CA_t / CANA \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (23)$$

$$VACC_t = NAC_t * VAM \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (24)$$

$$FCI_t = (1 - uc) * NAFI_t + NCPPL_t \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (25)$$

El cálculo del costo medio ponderado del capital (WACC), una cifra que expresa el costo de capital para la empresa en su conjunto y que refleja el rendimiento requerido de los activos de la empresa (Longinidis & Georgiadis, 2013) se muestra en la ecuación (26). Dado que la cadena de suministro utiliza deuda y capital social para financiar sus operaciones, este costo total del capital es una mezcla de los rendimientos necesarios para compensar a sus acreedores y los necesarios para compensar a sus accionistas (Magni, 2015). Lamentablemente, no hay una manera de observar directamente el retorno que los inversionistas de capital de la cadena requieren en sus inversiones y por esta razón el modelo de precios de activos de capital (PAC) se utiliza como sustituto. PAC es una ecuación que muestra la rentabilidad esperada de un activo particular y consta de tres términos (Longinidis

& Georgiadis, 2013). El primer término es la tasa de interés libre de riesgo, la recompensa por colocar capitales en una inversión sin tomar ningún riesgo. El segundo término, la diferencia entre el rendimiento esperado del mercado, es la recompensa por la colocación de capitales en el mercado, y por lo tanto con un promedio de riesgo sistemático. El tercer término, el coeficiente beta, es la cantidad de riesgo sistemático presente en un activo particular y relativo al de un activo promedio. Por el contrario, el costo de la deuda se puede observar directamente porque es la tasa de interés que la empresa paga por los nuevos préstamos, que se define en los mercados financieros. Dado que una empresa tiene tanto una deuda a corto como una deuda a largo plazo con una ponderación adecuada, basada en la porción de cada tipo de deuda dentro de su deuda total, es necesario.

$$\begin{aligned}
 WACC_t &= \left[ \left( \frac{PAT_t}{CI_t} (TIRIE + (TIR - TIRIE)Co\beta) \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \left( \frac{CPPCP_t + CPPLP_t}{CI_t} \left( \frac{CPPCP_t}{Rtotal_t} TICP + \frac{CPPLP_t}{Rtotal_t} TILP \right) (1 - TR) \right) \right] \quad \forall t \\
 &= 1, 2, \dots, NT \tag{26}
 \end{aligned}$$

En la Ecuación (27), se limita el modelo a que la cantidad productos enviados a cada mercado más la demanda no satisfecha de productos debe ser igual a la demanda total.

$$\sum_{k=1}^K Y_{klt} + S_{lt} = dem_{lt} \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; l = 1, 2, \dots, L \tag{27}$$

El cálculo de productos recuperados en el mercado l se realiza restando a la demanda total la demanda no satisfecha y este valor se multiplica por la tasa de retorno por periodo definida, su cálculo se evidencia en la Ecuación (28)

$$\sum_{k=1}^K R_{lkt} = ret_{lt} * (dem_{lt} - S_{lt}) \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; l = 1, 2, \dots, L \tag{28}$$

En la Ecuación (29), la suma de productos enviada desde la planta al centro de distribución y los productos llevados a reprocesar desde el centro de distribución a

la planta debe ser igual a la cantidad de productos enviados desde el centro de distribución a los mercados.

$$\sum_{j=1}^J X_{jkt} + \sum_{j=1}^J RP_{jkt} = \sum_{l=1}^L Y_{kit} \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; k = 1, 2, \dots, K \quad (29)$$

La cantidad de productos desechados desde el centro de distribución al centro de disposición es igual a la cantidad de productos recuperados en el mercado l por la tasa promedio de pérdidas, su cálculo se evidencia en la Ecuación (30):

$$\sum_{m=1}^M W_{kmt} = Ad * \sum_{l=1}^L R_{lkt} \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; k = 1, 2, \dots, K \quad (30)$$

La Ecuación (31) muestra que los productos llevados a reprocessar desde el centro de distribución a la planta debe ser igual a 1 menos la tasa promedio de pérdidas por la cantidad de productos devueltos en el mercado l para reprocesso, su cálculo se observa en.

$$\sum_{j=1}^J RP_{kjt} = (1 - Ad) * \sum_{l=1}^L R_{lkt} \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; k = 1, 2, \dots, K \quad (31)$$

La cantidad de productos enviados a reprocessar a la planta desde el centro de distribución debe ser la misma cantidad de productos que salen desde la planta para revisión en el centro de distribución, su cálculo se demuestra en la Ecuación (32).

$$\sum_{k=1}^K RP_{kjt} = \sum_{k=1}^K PR_{jkt} \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; j = 1, 2, \dots, J \quad (32)$$

La cantidad de productos enviados desde la planta al centro de distribución debe ser menor o igual a la capacidad de la planta, su cálculo se evidencia en la Ecuación (33).

$$\sum_{k=1}^K X_{jkt} \leq cp_j * Q_j \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; j = 1, 2, \dots, J \quad (33)$$

La Ecuación (34) calcula la cantidad de productos llevados a reprocessar en la planta debe ser menor o igual a la capacidad de la planta en reversa.

$$\sum_{k=1}^K RP_{kjt} \leq cpr_j * Q_j \quad \forall t = 1,2,\dots,NT; j = 1,2,\dots,J \quad (34)$$

La cantidad de productos enviados desde el centro de distribución a los mercados debe ser menor o igual a la capacidad del centro de distribución, su cálculo se evidencia en la Ecuación (35).

$$\sum_{l=1}^L Y_{klt} \leq dc_k * TCD_k \quad \forall t = 1,2,\dots,NT; k = 1,2,\dots,K \quad (35)$$

La cantidad de productos recuperados en el centro de distribución desde los mercados para reproceso debe ser menor o igual a la capacidad de recolección del centro de distribución, su cálculo se evidencia en la Ecuación (36).

$$\sum_{l=1}^L R_{lkt} \leq dcr_k * TCD_k \quad \forall t = 1,2,\dots,NT; k = 1,2,\dots,K \quad (36)$$

En la Ecuación (37), la cantidad de productos enviados al centro de disposición debe ser menor o igual a la capacidad del centro de disposición.

$$\sum_{k=1}^K W_{kmt} \leq cem * U_m \quad \forall t = 1,2,\dots,NT; m = 1,2,\dots,M \quad (37)$$

La cantidad de productos comprados al proveedor debe ser igual a la cantidad de productos a enviar desde la planta al centro de distribución, su cálculo se evidencia en la Ecuación (38).

$$\sum_{i=1}^I P_{ijt} = \sum_{k=1}^K X_{jkt} \quad \forall t = 1,2,\dots,NT; j = 1,2,\dots,J \quad (38)$$

La cantidad de productos enviada desde el centro de distribución a los mercados debe ser igual a la cantidad de venta de productos en mercado, su cálculo se evidencia en la Ecuación (39).

$$\sum_{k=1}^K Y_{klt} = V_{lt} \quad \forall t = 1,2,\dots,NT; l = 1,2,\dots,L \quad (39)$$

La inversión inicial total se calcula en la Ecuación (40) y corresponde a la suma de valor inicial que se asume por cada planta, centro de distribución y centro de disposición abierto.

$$FCI_t = \sum_{j=1}^J (inip_j * Q_j) + \sum_{k=1}^K (inicdr_k * TDC_k) + \sum_{m=1}^M (inid_m * U_m) \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT \quad (40)$$

Las Ecuaciones (41), (42), (43), (44) y (45) corresponden a los cálculos para evaluar la capacidad utilizada en plantas, centros de distribución y centros de disposición:

$$CUP_{jt} = \sum_{k=1}^K X_{jkt} / cp_j \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; j = 1, 2, \dots, J \quad (41)$$

$$CUPR_{jt} = \sum_{k=1}^K PR_{jkt} / cpr_j \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; j = 1, 2, \dots, J \quad (42)$$

$$CUCD_{kt} = \sum_{l=1}^L Y_{klt} / dc_k \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; k = 1, 2, \dots, K \quad (43)$$

$$CUCDR_{kt} = \sum_{j=1}^J RP_{kjt} / dcr_k \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; k = 1, 2, \dots, K \quad (44)$$

$$CUCDS_{mt} = \sum_{k=1}^K W_{kmt} / ce_m \quad \forall t = 1, 2, \dots, NT; m = 1, 2, \dots, M \quad (45)$$

$$Q, TCD, U \in \{0, 1\}$$

En el Anexo 1 se determinan los valores de los parámetros usados para la presente investigación.

### 3.2. SELECCIÓN DEL REQUERIMIENTO FINANCIERO DE ROBUSTEZ

Partiendo del objetivo principal de esta investigación que se encauza en diseñar un modelo de la cadena de suministro de generación de valor, se hizo uso del

procedimiento FePIA para la métrica de robustez propuesto por (Ali, Maciejewski, Siegel, & Kim, 2004), y que apoyado en los trabajos de (Tordecilla Madera, 2012) y (Tordecilla-Madera, Polo, Muñoz, & González-Rodríguez, 2017) se puede definir dicha metodología como una serie de pasos que proporcionarán una forma de medir la robustez de cualquier sistema que se desee analizar considerando los recursos de este sistema, sus características de operación y los efectos de los parámetros de perturbación definidos.

En la metodología FePIA se emplean una serie de pasos que se explicarán a continuación:

1. Se debe seleccionar el requerimiento de robustez ( $\Gamma$ ) el cual a través de una medición cuantitativa y cualitativa permitirá establecer cuando el sistema estudiado es robusto o no.
2. Una vez se define el requerimiento de robustez se deben determinar las características de desempeño u operación del sistema ( $\Phi$ ), las cuales tendrán variaciones cuantitativas que pueden estar permitidas o no según el valor máximo y mínimo  $\langle \beta_j^{\min}, \beta_j^{\max} \rangle$  que se definan y que permitirán cumplir con el requerimiento de robustez.
3. Siguiendo la metodología se deberá determinar los parámetros de perturbación ( $\Pi$ ) los cuales afectarán al requerimiento de robustez y a las características de desempeño ya establecidas, y suele ser perturbaciones ambientales como variaciones de la demanda entre otros factores.
4. Una vez completados los tres pasos anteriores, se procede a través de la experimentación y la variación controlada intencional del parámetro de perturbación ( $\Pi$ ), a analizar el efecto de esta variación sobre las características de operación ( $\Phi$ ).
5. Finalmente se revisará el efecto de la variación controlada intencional del parámetro de perturbación sobre el requerimiento de robustez establecido.

### **3.2.1. SELECCIÓN DEL REQUERIMIENTO DE ROBUSTEZ.**

El requerimiento de robustez puede definirse como la medida o la respuesta sobre la que se evaluará si el sistema es robusto o no, ya que dicho requerimiento se verá afectado de manera positiva o negativa debido a la variación controlada que se realizará del parámetro de perturbación y que generará diferentes alternativas de aprovechamiento de los recursos disponibles como máquinas y sus capacidades, así como todas las posibilidades en la configuración de redes de distribución y sus costos asociados entre otros recursos que se pueden gestionar, y que aun cuando pueden existir perturbaciones el objetivo será satisfacer el requerimiento establecido y maximizar el rendimiento del sistema y su rentabilidad, esto llevando al sistema a ser más robusto cuando se optimizan los recursos mencionados anteriormente y dotando al sistema de la capacidad para funcionar bajo condiciones sub-óptimas pero garantizando características de operación deseadas.

Desde la formulación de este proyecto se resaltó el interés de utilizar indicadores financieros para evaluar la robustez de la cadena de suministro que se diseñará, debido a esto y en pro del cumplimiento del primer objetivo de este proyecto se realizó una consulta en diferentes fuentes primarias y secundarias con el fin de revisar, recordar y evaluar los conceptos, metodologías y cálculos necesarios para la consideración de indicadores financieros. A partir de la información que se consultó en diferentes fuentes, se realizó un estudio para determinar los indicadores financieros que podían utilizarse y facilitarían la medición de la robustez. En esta consulta se obtuvieron indicadores posibles como:

Valor presente neto (VPN): se define como una herramienta utilizada para la evaluación financiera de proyectos, su cálculo consiste en la resta de traer a valor presente los flujos de caja futuros considerando una tasa de interés al valor presente de la inversión. La tasa de interés que es utilizada en este cálculo, conocida como TMAR, es definida por el inversionista usando como criterio la rentabilidad que puede obtenerse en otras alternativas de inversión.

Su cálculo arrojará un valor que al ser igual a cero indicará que la inversión realizada se recuperará considerando la rentabilidad usada en el cálculo es decir el proyecto es viable, cuando el valor es mayor a 0 el proyecto también será viable y dará una rentabilidad mayor a la considerada, pero en el caso de que el VPN sea menor a 0 es porque la tasa de rentabilidad es menor a la considerada y es probable que la inversión no se recupere haciendo el proyecto no viable.

TIR (Tasa interna de retorno): Es la tasa de rentabilidad real del proyecto, la cual al ser utilizada para calcular el valor presente los flujos de caja futuros dará el mismo valor que el valor presente neto del capital a invertir generando que el VPN sea igual a 0.

CPPC – WACC (Costo promedio ponderado del capital): Es un cálculo utilizado en la evaluación financiera de proyectos, este se centra en determinar los costos siempre existentes y asociados a la financiación que puede proceder de bancos o inversionistas. Su consideración permite calcular la TMAR y posteriormente la TIR.

TMAR (Tasa mínima aceptable de rentabilidad): Es definida como la tasa de rentabilidad mínima que espera un inversionista y sobre la cual tomará la decisión de invertir o no en el proyecto, su cálculo está ligado con el WACC Costo promedio ponderado del capital debido a que debe ser mayor para que solvete los costos ligados a la financiación y sea rentable. Por otra parte, puede considerar otras tasas para su cálculo como impuestos, la inflación, rendimientos adicionales, entre otros.

Razón Corriente: Es un indicador que permite identificar si una organización puede cumplir sus obligaciones financieras, su cálculo se fundamenta en la división del activo corriente sobre el pasivo corriente, entre mayor sea el resultado obtenido mayor es la capacidad de pago.

Rotación de inventario: Indicador que permite evidenciar que tan rápido el inventario es comercializado, su cálculo consiste en dividir el costo de las mercancías vendidas en el año sobre el costo promedio del inventario en el periodo. Entre mayor sea este

indicador se puede decir que se mantiene menos inventario en bodega y la gestión de este es adecuada reduciendo los costos asociados.

Costo/Beneficio: Indicador que compara los ingresos que genera un proyecto con el capital invertido, su cálculo consiste en la división de los ingresos sobre el capital invertido. Cuando este indicador es mayor a 1 indica que los ingresos o ganancias son mayores al capital invertido, cuando es igual a 1 la inversión es igual a las ganancias y finalmente cuando es menor a 1 indica que la inversión es mayor a los ingresos que generará al proyecto.

### **3.2.1.1 Selección de los indicadores que son aplicables para ser considerados como requerimientos de robustez**

A partir de la consulta de los diferentes indicadores financieros y tomando en consideración los más importantes y que se han descrito anteriormente, se procedió a realizar una evaluación para la selección del indicador mediante una matriz de ponderación que permitió un análisis más eficaz entre las posibilidades que se plantearon como requerimiento financiero de robustez.

Para la implementación de esta matriz inicialmente se deben establecer unos criterios o factores de evaluación, que para este trabajo serán tres (3), descritos a continuación: El primer factor evalúa la dificultad que pueden tener los indicadores seleccionados para su cálculo con base a los datos y variables que se tienen en el modelo, según el proceso para el uso adecuado de la matriz de ponderación se le asigna un peso a este factor entre 0% y 100% en donde 100% correspondería a los tres (3) factores en total, para este primer factor se le asignó un peso de 50% sobre el 100% total debido a que es importante que el indicador seleccionado como requerimiento de robustez pueda ser calculado con la información que se dispone en el modelo formulado y que se tenga experiencia en la forma en la que se calcula ya que si no se cumple con estos criterios es muy probable que se puedan presentar desviaciones en los resultados obtenidos.

El segundo factor tiene como fin evaluar la relación del indicador con otros de los evaluados debido a que en ocasiones se requieren cálculos previos entre diversos indicadores para poder obtener el que se ha seleccionado, por otra parte, esta dependencia de un indicador con otro puede proveer mayor información y más conclusiones en cuanto a la robustez de la cadena de suministro. Como puede existir una conexión entre los indicadores a tal punto de necesitar uno para calcular el otro se definió un peso del 30% sobre el 50% restante después de haber asignado al primer factor un 50%.

Por último, el tercer factor considerado fue la cantidad de información disponible en distintas bases y buscadores acerca de los indicadores evaluados, ya que esto indica que se tienen múltiples casos aplicados, definiciones y herramientas que facilitan la interpretación y el cálculo de los indicadores seleccionados. Para este factor se le asigna el 20% restante una vez asignado los dos primeros.

Para la evaluación de los indicadores se les dará una calificación de 0% a 100% según cumplan con el criterio. Se observa que los dos (2) primeros factores dependerán del criterio, experiencia e interpretación del investigador, y el tercer peso si dependerá de la cantidad aproximada de información, documentos y artículos que se encontraron en las principales bases de datos. Estos resultados son mostrados en la Tabla 1:

**Tabla 1. Revisión de cantidad disponible acerca de los indicadores seleccionados.**

Base de datos - Buscador.	Cantidad de resultados por base o buscador.						
	VPN	TIR	CPPC / WACC	TMAR	Razón Corriente	Rotación de Inventario	Costo / Beneficio
Google Académico	289	613	44	369	193	167	448
ScienceDirect	40435	376889	1592				94288
Ebsco	2902	2030	357	6			4311
IEEE	77300	45600	150	2330			
Proquest	332427	154709		361			21209
Emerald	386	30461	205	130			10938
<b>Total</b>	453739	610302	2348	3196	193	167	131194
1201139	37.8%	50.8%	0.2%	0.3%	0.0%	0.0%	10.9%

Con base a los resultados obtenidos en la Tabla 1 se observa que, según la información disponible en las diferentes bases de datos y buscadores, la TIR tendrá la mayor calificación en el factor tres (3) de la evaluación debido a la cantidad de resultados obtenidos. Por otra parte, se evidencia que algunos indicadores en algunas bases no tienen resultados debido a que el contenido encontrado no tiene relación con indicadores financieros que es el interés de esta investigación.

Una vez se definieron los criterios de evaluación se realizaron las respectivas calificaciones como se observará en la Tabla 2 a continuación:

**Tabla 2. Calificación asignada a cada indicador por factor.**

Factor de Evaluación	Peso	VPN	TIR	CPPC	TMAR	Razón Corriente	Rotación de Inventarios	Costo / Beneficio
Facilidad y disponibilidad de datos para su cálculo.	50%	60,0%	80,0%	70,0%	70,0%	49,0%	55,0%	70,0%
Relación con otros indicadores.	30%	75,0%	90,0%	65,0%	60,0%	40,0%	32,0%	50,0%
Mayor cantidad de datos para su cálculo en bases de datos.	20%	30,7%	55,9%	0,3%	1,1%	0,2%	0,1%	0,6%

100%

**Fuente: Autor.**

Una vez se tienen las calificaciones cada una de estas se multiplicará por el peso asignado al factor de evaluación obteniendo la matriz con la calificación ponderada para cada indicador que permitió seleccionar el indicador que sería el requerimiento de robustez, como se observa en la Tabla 3.

**Tabla 3. Matriz de Calificación Ponderada por indicador.**

Factor de Evaluación	Peso	Calificación						
		VPN	TIR	CPPC	TMAR	Razón Corriente	Rotación de Inventarios	Costo / Beneficio
Facilidad y disponibilidad de datos para su cálculo.	50%	30	40	35	30	24.5	27.5	35
Relación con otros indicadores.	30%	22.5	27	21.5	24	12	9.6	15
Mayor cantidad de datos para su cálculo en bases de datos.	20%	6.1	11.2	0.1	0.2	0,0%	0	0.1
	100%							
<b>Total</b>		22.97	30.34	23.97	22.24	15.85	16.63	22.02

**Fuente: Autor.**

Con los resultados obtenidos en la matriz de ponderación se define la TIR (Tasa Interna de Retorno) como requerimiento de robustez, su cálculo es de gran importancia debido a que indica directamente la tasa de rentabilidad del proyecto siendo un indicador que facilita la toma de decisiones en cuanto a decidir en qué proyecto invertir cuando se tienen múltiples opciones sin olvidar que su cálculo es eficaz solo en proyectos con vidas económicas iguales según (Fernández, 2007), por otra parte a partir de la revisión realizada a múltiples indicadores fue posible evidenciar que existe relación entre la TIR, el CPPC la TMAR, y el VPN ya que el cálculo de uno acerca al cálculo del otro y debido a estos indicadores fueron valorados altamente en el factor dos (2) que evaluaba esta relación.

Adicionalmente la TIR es un indicador muy completo ya que desde su valor sea mayor que el CPPC se puede garantizar que se cubrirá la inversión realizada y se generarán rendimientos, entre sus ventajas también se encuentra que en su cálculo se hallará la tasa de rentabilidad real del proyecto analizando los ingresos y los egresos, y adicionalmente considera todos los flujos de efectivo y su distribución en el tiempo (Fernández, 2007).

Al seleccionar la TIR como requerimiento de robustez, se debió definir cuál debe ser su valor máximo y su valor mínimo para evaluar la robustez del diseño de la cadena de suministro que se desarrolló fue posible evidenciar que otros indicadores financieros podían ser utilizados para calcular la TIR de manera adecuada entre estos se encontró inicialmente el WACC (Costo promedio ponderado del capital) el cual permitió identificar cual es el costo asociado para cualquiera que sea la fuente de financiación sean bancos, inversionistas entre otros.

El cálculo del Valor Presente Neto se detalla en la ecuación (46). Se espera que el valor del VPN sea positivo, lo que indicaría que los ingresos que se obtendrán en el futuro son mayores que los egresos generados.

$$VPN = (-INVIN) + \left( \sum_{t=1}^{NT} FEA_t \right) \quad (46)$$

Para la presente investigación se ha determinado como requerimiento de robustez un VPN que sea positivo.

El cálculo del flujo de efectivo para cada periodo de tiempo  $t$  traído a valor presente, se evidencia en la ecuación (47), en el cual se utiliza una tasa para descontar a cada flujo. Cada flujo se dividirá sobre la tasa mencionada elevada al número del periodo en el que se recibirá dicho ingreso.

$$\begin{aligned}
 FEA_t &= \frac{FE_t}{(1 + ir)^1} \\
 FEA_t &= \frac{FE_t}{(1 + ir)^2} \\
 FEA_t &= \frac{FE_t}{(1 + ir)^3} \\
 FEA_t &= \frac{FE_t}{(1 + ir)^4} \\
 FEA_t &= \frac{FE_t}{(1 + ir)^5}
 \end{aligned}
 \tag{47}$$

La distribución de los aportes para asumir esta inversión se definió, 55% aportarán los inversionistas y el 45% se obtendrá de un préstamo bancario tomando como ejemplo, la distribución de los aportes se realiza de esta forma, como la inversión en la compra de inmuebles nuevos para su posterior venta obteniendo como ganancia la valorización de este tipo de activo.

**Costo de la deuda:** El 45% del capital de inversión que sería obtenido por financiación se encuentra en \$100.000.000, los cuales según el análisis de crédito en algunas entidades financieras la menor tasa de interés con la que se podría tomar el préstamo sería al 22.42% E.A, para pasivos a largo plazo, que sería lo ideal ya que entre mayor la tasa de interés mayor sería el monto de intereses a asumir. El costo de la deuda para este trabajo se calcula en la Ecuación (48) a continuación:

$$\text{Costo de la deuda} = i (1 - \text{Tasa de impuestos})
 \tag{48}$$

$i = \text{Tasa E.A del préstamo}$

$$\text{Costo de la deuda} = 22,42\% (1 - 34\%) = 14,79\%$$

**Costo de los aportes del inversionista:** El 55% que sería obtenido por el aporte de los inversionistas será de \$120.000.000 los cuales son invertidos en otras opciones de inversión, como lo puede ser un CDT en donde se acuerdan las tasas de rendimiento fijas y con un riesgo moderado o bajo, se puede tener rendimiento de hasta 7% E.A en 1 año.

$$\text{Costo de los aportes del inversionista} = 7\%$$

Una vez se tienen los dos costos se procedió a calcular el  $WACC_0$ , obteniendo un ponderado de la participación de los aportes con cada tasa calculada para el costo de la deuda y por separado para el costo de los aportes de los inversionistas, luego de esto se sumaron los dos ponderados y este será el costo promedio ponderado del capital, como se observa en la Tabla 4.

**Tabla 4. Costo promedio ponderado de capital.**

CPPC (Costo promedio ponderado del capital)					
Fuentes	Monto Aproximado	Participación	Tasa	Ponderado	
Aporte de socios	\$ 120.000.000	55%	7,00%	3,85%	
Préstamo Bancario	\$ 100.000.000	45%	14,80%	6,66%	
		100%	CPPC	10,51%	
El promedio del costo de la financiación es 10,51%					

Una vez calculado el  $WACC_0$  este fue utilizado para definir la Tasa mínima de rentabilidad (TMAR), indicador financiero que se define como la tasa que al considerar algunos aspectos permitirá tomar la decisión de aceptar o no un proyecto de inversión (Magni, 2016), entre sus criterios según está que la TMAR será mayor al CPPC y la TIR (Tasa interna de retorno) será mayor a la TMAR como se observa en la Ecuación (49):

$$TIR \geq TMAR \geq CPPC. \quad (49)$$

Para el cálculo de la TMAR según se parte del CPPC al que se le adicionó un rendimiento esperado adicional, el cual para este caso fue del 2%, su cálculo se evidencia en la Ecuación (50):

$$TMAR = CPPC + Rendimiento\ esperado. \quad (50)$$

$$TMAR = 10,51\% + 2\% = 12,51\%$$

También se consideró la inflación, esto con el fin de que el dinero invertido no pierda su valor en el tiempo, esta TMAR se define como ajustada por la inflación, su cálculo se realizó como se observa en la Ecuación (51).

$$TMAR = i + f + if \quad (51)$$

$i = TMAR$  ya calculada anteriormente.

$f = Tasa$  de Inflación.

Según las expectativas de algunos analistas del mercado reflejadas en una encuesta realizada por el Banco de la República y publicada en la (Revista Dinero, 2017) se estima que la inflación al finalizar el año 2017 puede alcanzar un porcentaje 6,07% siendo esta la tasa de inflación que sería utilizada para el cálculo de la TMAR a continuación en la Ecuación (52)

$$TMAR = 12,51\% + 6,07\% + (12,51\% * 6,07\%) = 19,34\% \quad (52)$$

Finalmente el cálculo de la TMAR dio como resultado un valor de 19,34% y teniendo en cuenta que la TIR es el requerimiento de robustez seleccionado, su valor mínimo debe ser igual a la TMAR según la relación de la Ecuación 53, ya que con esta tasa como mínimo se logrará solventar los costos asociados a la inversión que se realizará en este proyecto, es decir que para considerar que una configuración es robusta debe igualar o superar el 19,34% definido; Para el máximo valor, la TIR es una variable del tipo mayor es mejor y desde que supere el mínimo y entre mayor sea su valor reflejará una configuración más robusta.

$$TIR \geq TMAR \geq CPPC$$

$$TIR_{min} = 19,34\% \quad (53)$$

$$TIR_{max} > 19,34\%$$

### 3.3. DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA Y SU TOLERANCIA

---

Para que el diseño de la cadena de suministro propuesto sea robusto, su funcionamiento debe garantizar el cumplimiento con el mínimo establecido como requerimiento de robustez y adicionalmente siguiendo los pasos propuestos por la metodología FePIA este diseño debe también cumplir con una serie características de operación que se definieron y sus tolerancias permitidas  $\langle \beta_j^{\min}, \beta_j^{\max} \rangle$ , estas características de operación o desempeño para la cadena de suministro que se diseñó fueron la capacidad utilizada de las plantas, la capacidad utilizada de las plantas para recuperación, la capacidad utilizada de los centros de distribución en el transporte hacia adelante y en reversa, y la demanda satisfecha.

El valor mínimo establecido para uso de la capacidad de las plantas y de los centros de distribución en ambos sentidos (fabricación y recuperación) se definió para esta investigación en un 60%, este porcentaje se sustenta en la necesidad de aprovechar de manera óptima la capacidad que se tiene y no subutilizar las instalaciones asumiendo costos innecesarios cuando la demanda no permitirá solventarlos, por otra parte se debe analizar que en el caso en el que una configuración plantee el uso de dos o más plantas o centros de distribución es necesario que se utilice al menos una planta o centro de distribución en su máxima capacidad y no las dos instalaciones por debajo del mínimo establecido por ejemplo. En cuanto al valor máximo del uso de la capacidad siempre se espera alcanzar el mayor porcentaje de utilización de las plantas centros de distribución y centros de disposición entre otras instalaciones que tengan costos asociados a su operación es decir el 100%. En cuanto al valor mínimo del centro de disposición para este proyecto se define en un 30%.

Finalmente en cuanto a la demanda satisfecha se entiende que es una variable del tipo mayor es mejor, Considerando la importancia que tiene la satisfacción de la demanda y del cliente según (Hatefi & Jolai, 2013) y en pro de alcanzar ventajas competitivas y no afectar la imagen de la organización por ejemplo con

incumplimientos y asumiendo costos de penalización existentes se espera que la demanda se satisfaga en un 100%, sin embargo existe un riesgo inherente de no cumplir con lo solicitado por razones inevitables por esta razón se espera que la demanda sea cumplida en un rango mínimo del 90% y máximo del 100%.

**Tabla 5. Características de operación y tolerancias definidas.**

Características de operación o desempeño		
Característica de operación:	Valor Mínimo (%)	Valor Máximo (%)
% Capacidad Utilizada – Plantas de Producción.	60%	100%
% Capacidad Utilizada – Plantas de Producción (Recuperación).	60%	100%
% Capacidad Utilizada – Centro de distribución (Adelante).	60%	100%
% Capacidad Utilizada – Centro de distribución (Reversa).	60%	100%
% Capacidad Utilizada – Centro de disposición	30%	100%
% Demanda Satisfecha.	90%	100%

Las características de operación o desempeño definidas y sus tolerancias se resumen en la Tabla 5.

### **3.4. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE PERTURBACIÓN**

En este paso siguiendo la metodología FePIA se seleccionó el parámetro de perturbación que corresponde a variables no controlables y por lo general inherentes que pueden afectar al sistema, principalmente a las características de operación; para el diseño de la cadena de suministro de este proyecto se ha seleccionado como parámetro de perturbación (II) la demanda, debido a que esta puede variar por factores internos y externos como el comportamiento de la economía, competencia, entre otros.

El diseño de la red para la cadena de suministro propuesta opera para 5 periodos (años) en los que cada uno tendrá una demanda definida por mercado, la demanda variará entre unos valores máximos y mínimos establecidos en las Tablas 6 y 7 respectivamente.

**Tabla 6. Demanda mínima por mercado y periodo *definida*.**

Demanda mínima por mercado y periodo.					
	t1	t2	t3	t4	t5
mer1	588	907	684	998	869
mer2	559	903	693	983	876
mer3	521	809	719	983	886
mer4	589	955	671	960	899
mer5	556	815	745	976	872
mer6	548	824	650	966	892
mer7	597	844	672	965	892

**Convenciones**

mer Mercado  
t Periodo

**Tabla 7. Demanda máxima por mercado y periodo *definida*.**

Demanda máxima por mercado y periodo					
	t1	t2	t3	t4	t5
mer1	1642	1240	1444	1232	1386
mer2	1635	1233	1481	1230	1568
mer3	1700	1283	1474	1212	1518
mer4	1637	1290	1479	1255	1378
mer5	1652	1232	1423	1233	1593
mer6	1719	1235	1429	1293	1693
mer7	1613	1262	1454	1214	1482

La variación descrita de la demanda se realizará considerando los valores mínimos y máximos de las Tablas 6 y 7 y con la Ecuación (54) la cual está compuesta de un coeficiente de variación el cual variará desde 0% a 100% en intervalos de 5%, dando como resultado 21 escenarios ( $\pi$ ) o variaciones de la demanda.

$$Demanda = D_{min} + (D_{max} - D_{min}) * \left(\frac{1}{PD}\right) \quad (54)$$

$D_{min} = Demanda\ Mínima$

$D_{max} = Demanda\ Máxima$

**Tabla 8. Escenarios de variación de demanda.**

Escenario	Demanda	Variación %
$\pi_1$	27866	0
$\pi_2$	28965	5
$\pi_3$	30064	10
$\pi_4$	31163	15
$\pi_5$	32262	20
$\pi_6$	33361	25
$\pi_7$	34460	30
$\pi_8$	35559	35
$\pi_9$	36658	40
$\pi_{10}$	37758	45
$\pi_{11}$	38855	50
$\pi_{12}$	39954	55
$\pi_{13}$	41053	60
$\pi_{14}$	42152	65
$\pi_{15}$	43251	70
$\pi_{16}$	44350	75
$\pi_{17}$	45449	80
$\pi_{18}$	46548	85
$\pi_{19}$	47647	90
$\pi_{20}$	48746	95
$\pi_{21}$	49844	100

Finalmente, para facilitar el análisis de resultados una vez diseñados los escenarios para analizar, la demanda no se consideró por periodo sino como un total es decir se sumará la demanda para cada periodo quedando un solo valor por escenario como se observa en la Tabla 8.

#### **4. MODELO DE PLANEACIÓN Y EVALUACIÓN FINANCIERA PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO**

---

El modelo matemático anterior que incluye la función objetivo, Ecuación (1), y sus restricciones, Ecuaciones (2)-(45), es un Problema de Programación No Lineal Entera Mixta (MINLP), no convexo, que explica la maximización del Valor

Económico Agregado (EVA™) de una cadena de suministro de bucle cerrado el cual se resolvió usando técnicas *branch and bound*.

Con el modelo matemático formulado y con el fin de evaluarlo se procedió a realizar análisis de escenarios en el software GAMS® Versión 22.5 mediante el uso de solver *DICOPT* usando: *NLP=CONOPT* y *MIP=CPLEX*, en un equipo con procesador Intel® CORE™ i5; el modelo consta de 1737 variables, 741 restricciones y un promedio de 790 segundos de uso CPU con un máximo de 997 segundos de uso CPU. Las corridas iniciales, realizando las variaciones con el parámetro de perturbación, dan como resultado información relevante como la cantidad enviada de un nodo a otro, los costos asociados a dichas transferencias, adicionalmente presenta la capacidad utilizada en plantas, centros de distribución y centros de disposición, así como demanda satisfecha de los mercados, también brinda información sobre capital invertido en cada periodo y los flujos de efectivo por periodo de tiempo, valores clave para calcular el requerimiento de robustez (TIR), al igual que información relevante sobre estado de Pérdidas y Ganancias y Balance General de la cadena de suministros propuesta para la investigación, como se puede evidenciar en el Anexo 2.

#### **4.1. ANÁLISIS INICIAL PARA LA OBTENCION DE POSIBLES CONFIGURACIONES**

---

Una vez el modelo matemático se formuló se procedió a realizar el respectivo análisis de escenarios en el software GAMS®, ejecutando la variación del parámetro de perturbación según los 21 escenarios descritos anteriormente en la Tabla 8. Esto se realizó con el fin de analizar cuáles son las posibles configuraciones de la red diseñada y que posteriormente serán evaluadas con la metodología FePIA. Las configuraciones obtenidas se muestran en la Tabla 9.

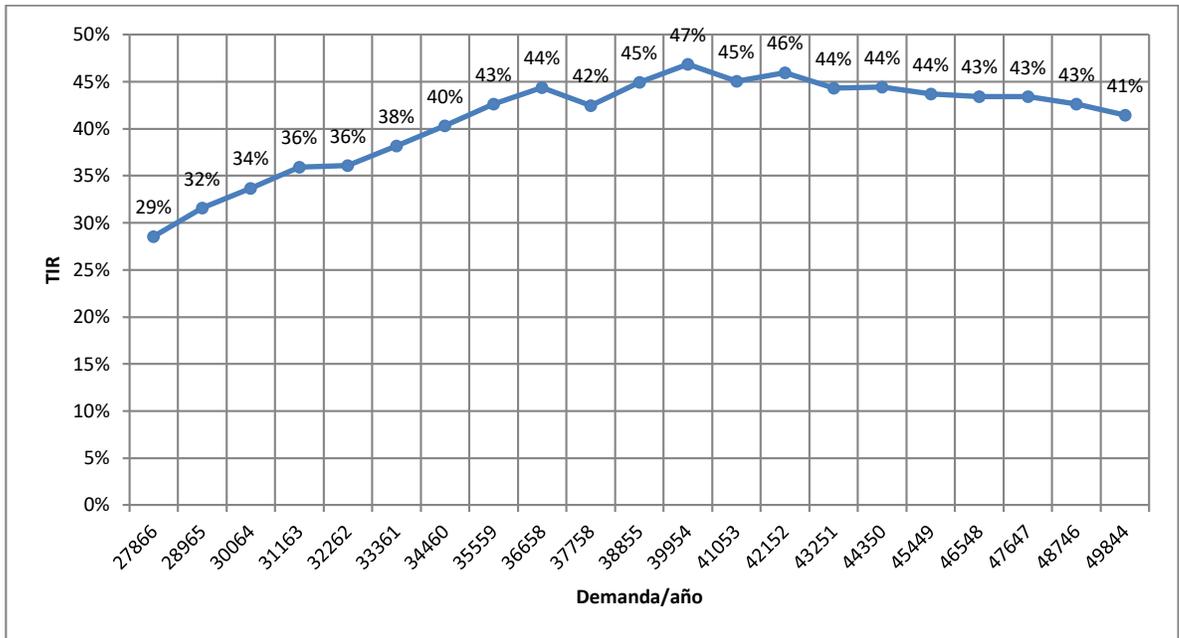
A partir de la Tabla 9 y de los resultados del primer análisis con los 21 escenarios definidos y sin tener restricciones de las plantas, centros de distribución y centros de disposición a utilizar se obtuvieron 6 configuraciones que serán utilizadas para cumplir la demanda y maximizar el EVA™, estas configuraciones posteriormente

serán evaluadas con la metodología FePIA para determinar su nivel de robustez, estas configuraciones se pueden observar resaltadas con color naranja.

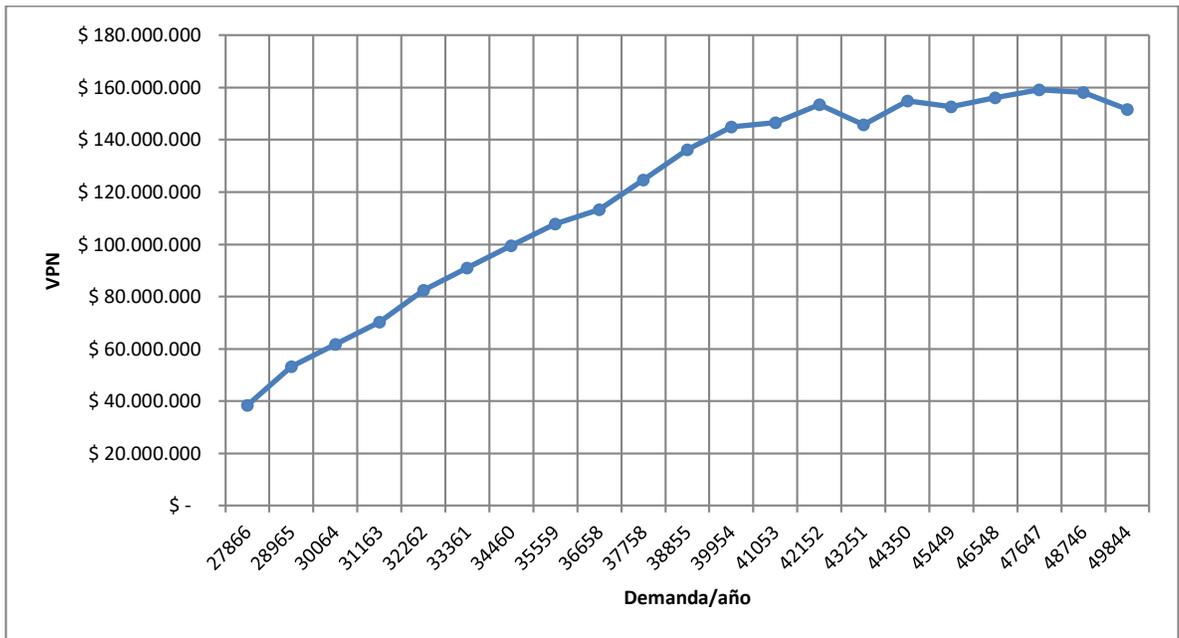
**Tabla 9. Obtención de configuraciones primera corrida**

Escenario	Demanda (Unid/año)	Variación PD (%)	Inversión Inicial Total (\$)	VPN (\$)	TIR	Proveedores (#)	Plantas (#)	Cdr's (#)	Cd (#)	% Demanda Insatisfecha
$\pi_1$	27866	0	-220000000	47150072	29%	1,5	5	4	1	1%
$\pi_2$	28965	5	-220000000	63615138	32%	1,5	5	4	1	2%
$\pi_3$	30064	10	-220000000	70606511	34%	1,5	5	4	1	2%
$\pi_4$	31163	15	-220000000	78888916	36%	1,5	5	4	1	3%
$\pi_5$	32262	20	-220000000	91793593	36%	1,5	2,4	4	1	0%
$\pi_6$	33361	25	-220000000	100624428	38%	1,5	2,4	4	1	1%
$\pi_7$	34460	30	-220000000	107630389	40%	1,5	2,4	4	1	2%
$\pi_8$	35559	35	-220000000	116601350	43%	1,5	2,4	4	1	3%
$\pi_9$	36658	40	-220000000	123622714	44%	1,5	2,4	4	1	4%
$\pi_{10}$	37758	45	-220000000	132946406	42%	1,5	1,5	3,4	1	0%
$\pi_{11}$	38855	50	-220000000	145267817	45%	1,5	1,5	3,4	1	1%
$\pi_{12}$	39954	55	-220000000	155132073	47%	1,5	1,5	3,4	1	2%
$\pi_{13}$	41053	60	-220000000	157475620	45%	1,5	2,5	3,4	1	0%
$\pi_{14}$	42152	65	-220000000	164085106	46%	1,5	2,5	1,4	1	1%
$\pi_{15}$	43251	70	-220000000	154070878	44%	1,5	2,5	1,4	1	2%
$\pi_{16}$	44350	75	-220000000	164571704	44%	1,5	3	2,4	1	0%
$\pi_{17}$	45449	80	-220000000	163030990	44%	1,5	3	2,4	1	1%
$\pi_{18}$	46548	85	-220000000	166856054	43%	1,5	1,2,5	4,5	1	0%
$\pi_{19}$	47647	90	-220000000	167971854	43%	1,5	1,2,5	4,5	1	1%
$\pi_{20}$	48746	95	-220000000	168906833	43%	1,5	1,2,5	4,5	1	1%
$\pi_{21}$	49844	100	-220000000	160530574	41%	1,5	1,2,5	4,5	1	2%

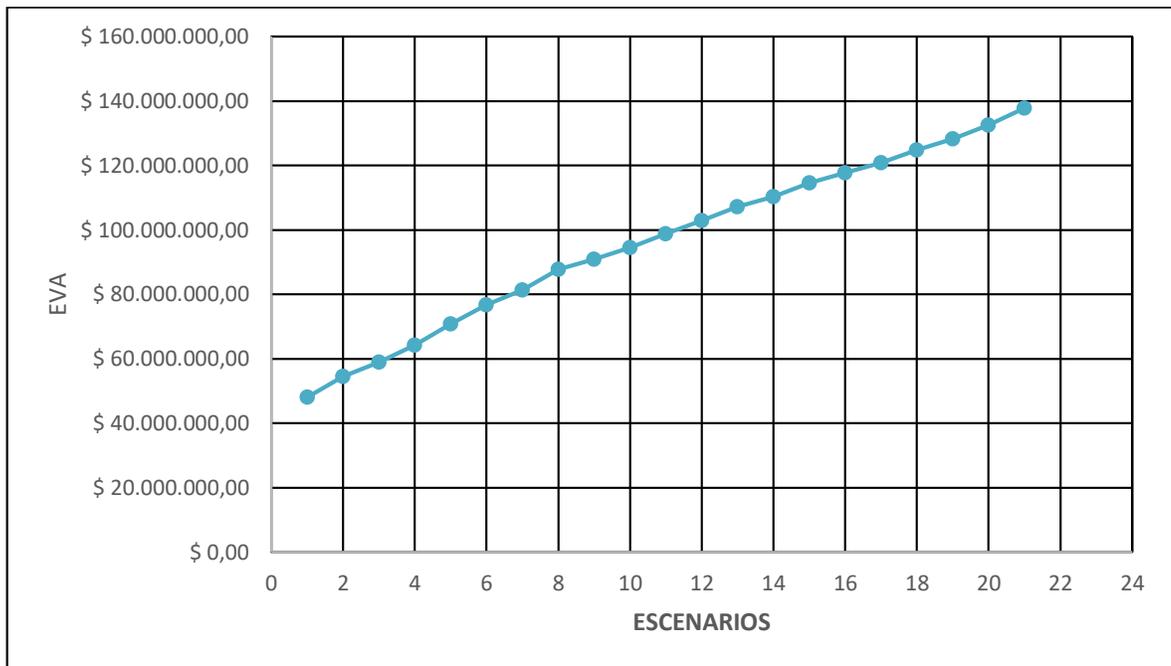
En las Gráficas 1-3 se muestran los cambios presentes en los requerimientos de robustez y en la función objetivo, evidenciado como a medida que aumentan las demandas, parámetro de perturbación, los valores de TIR, VPN y EVA<sup>TM</sup> aumentan.



**Gráfica 1. TIR para cada escenario inicial**



**Gráfica 2. VPN para cada escenario inicial**



**Gráfica 3. EVA para cada escenario inicial**

Estas gráficas indican una relación directa entre los niveles de demanda, Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno y Valor Económico Agregado.

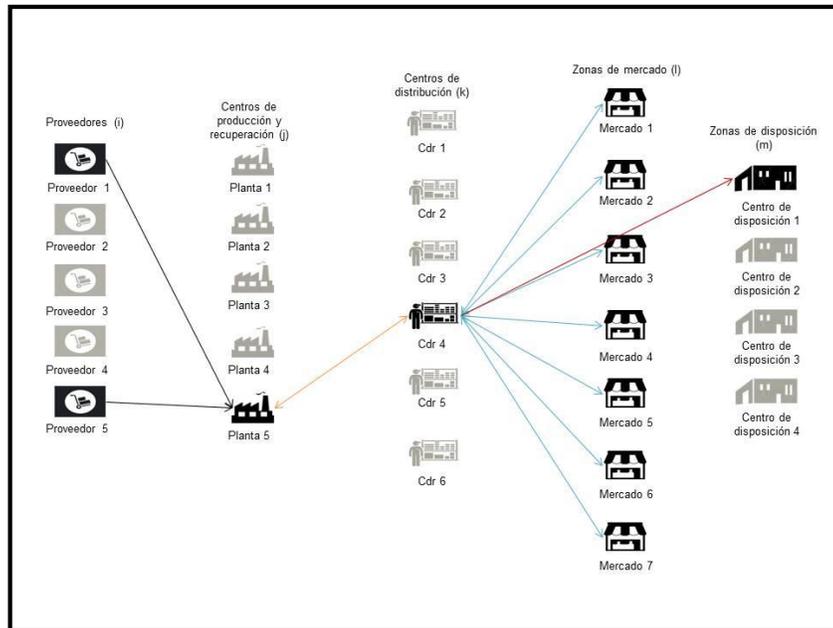
## **4.2 ANÁLISIS DE ESCENARIOS Y EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE PERTURBACIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN**

Una vez realizadas las variaciones en el parámetro de perturbación para determinar los diferentes escenarios se procedió a analizar la capacidad utilizada de las plantas, centros de distribución y centros de disposición, así como el porcentaje de demanda satisfecha, los cuales fueron seleccionados como características de operación del sistema, para cada uno de ellos.

### **4.2.1. Configuración 1**

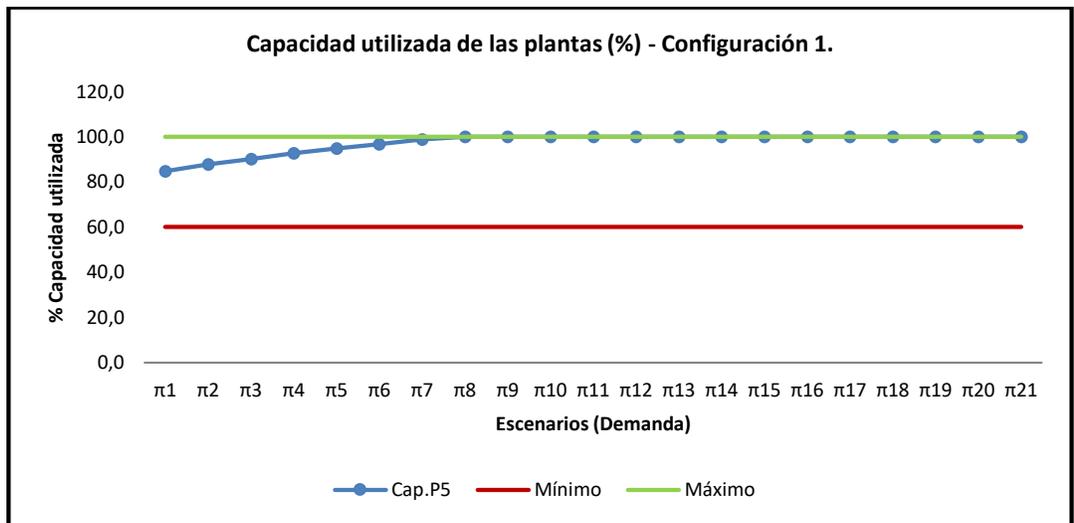
En este escenario se propone la utilización de 1 de las 5 plantas disponibles, esta es la planta 5 la cual se encarga de fabricar el producto y una vez el producto se encuentra listo es enviado al centro de distribución 4 que es el único habilitado para esta configuración de los 6 centros de distribución disponibles, finalmente los

productos serán enviados a los 7 mercados demandantes. En cuanto a los productos defectuosos que se generen y no se pueden recuperar se enviarán al centro de disposición 1 descartando los 3 restantes. Esta configuración es una de las dos configuraciones en las que solo se opera con 1 sola planta, su representación corresponde a la Figura 6.



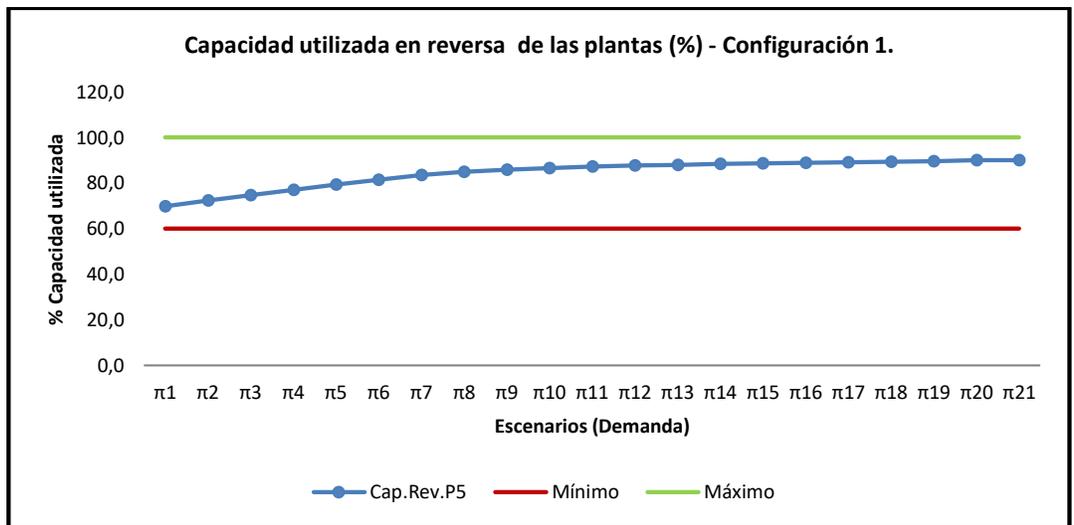
**Figura 6. Configuración 1.**

La Gráfica 4 muestra que la capacidad utilizada de la planta 5 en esta configuración se encuentra sobre el mínimo establecido y en el escenario  $\pi_8$  en el que la demanda ha aumentado se alcanza el uso máximo del 100%, lo que genera demanda insatisfecha ya que solo se opera con dicha planta.



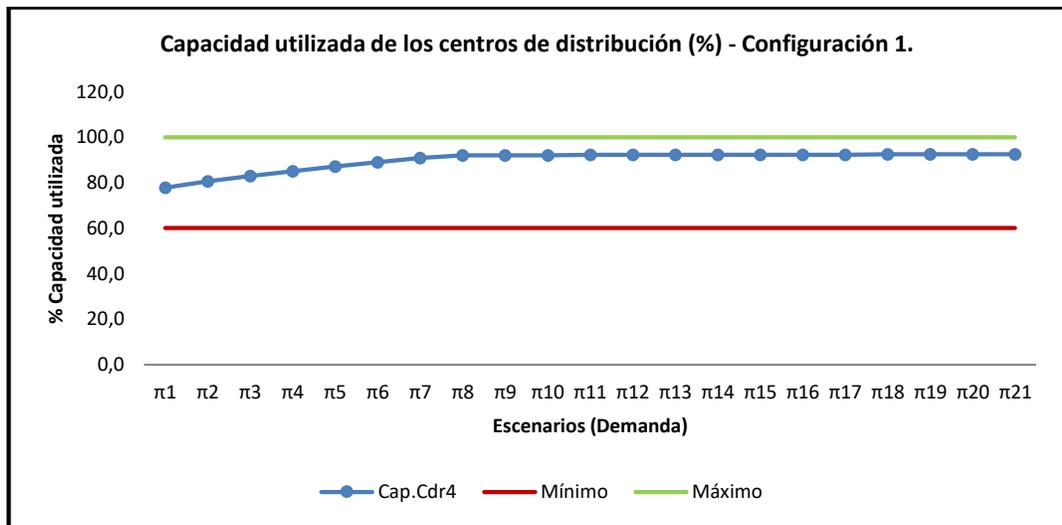
Gráfica 4. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 1.

Según la Gráfica 5, se observa que la capacidad utilizada de recuperación de productos de la planta 5 se encuentra sobre el mínimo establecido y no presenta dificultades con sobreuso de capacidad.



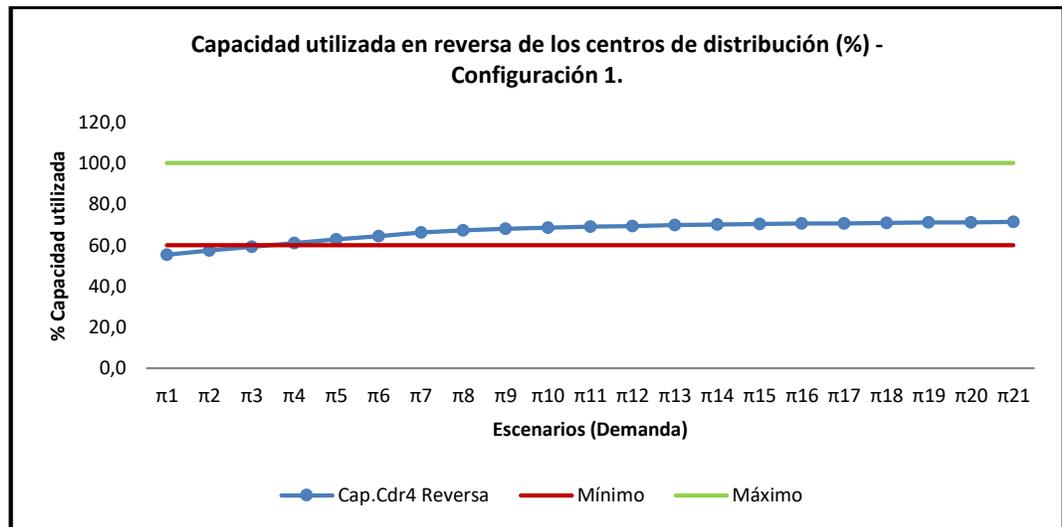
Gráfica 5. Capacidad utilizada de las plantas en reversa - Configuración 1. Fuente: Autor.

En el caso del centro de distribución (Cdr), en esta configuración el centro habilitado (Cdr4) hace uso de su capacidad superior a 60% que es el mínimo definido, esto se observa en la Gráfica 6, igualmente no hay utilización máxima de capacidad.



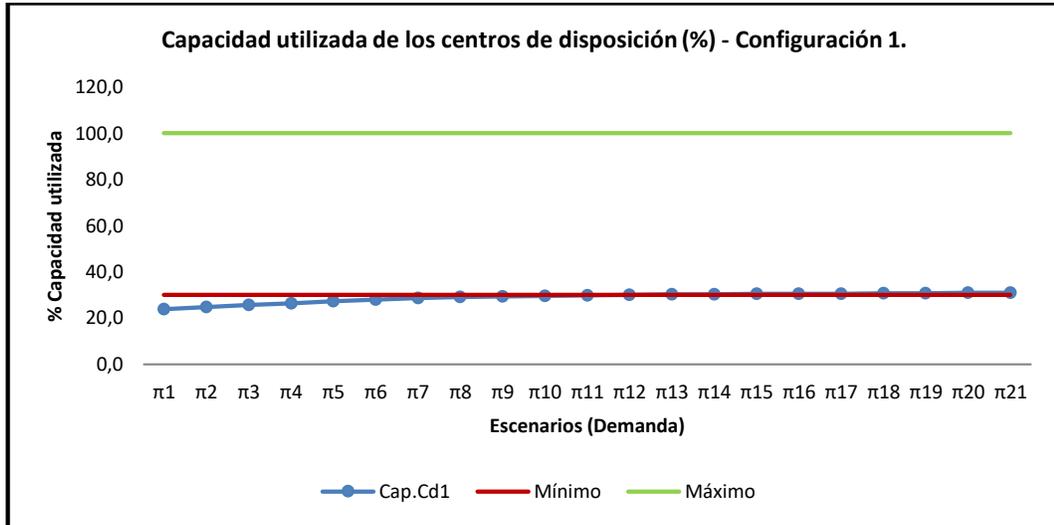
Gráfica 6. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 1.

En la Gráfica 7 se observa que el uso de la capacidad del (Cdr4) en la recolección de productos desde los mercados para recuperación se encuentra por encima del 60% mínimo definido a partir del escenario π4, cuando la demanda es baja no se logra alcanzar a aprovechar la capacidad como se espera.



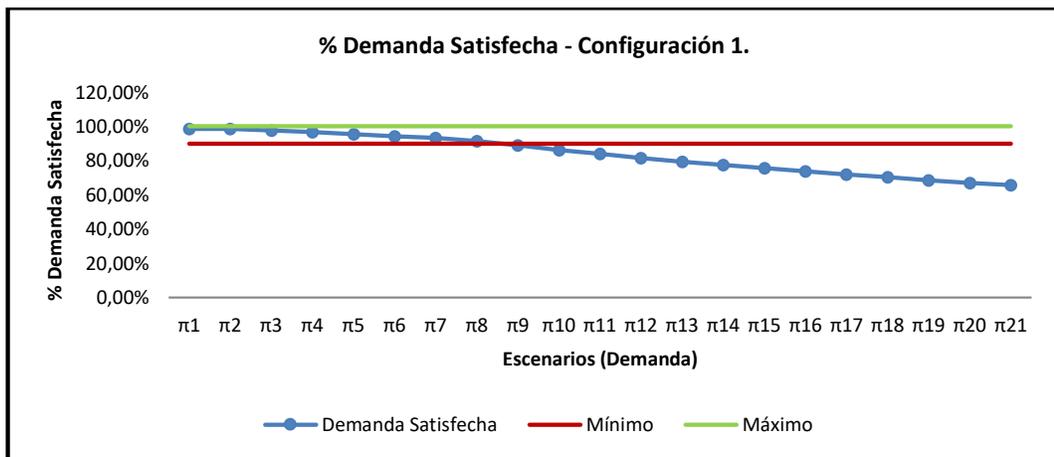
Gráfica 7. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 1.

En el caso de los centros de disposición (Cd) en la Gráfica 8, la capacidad utilizada del único centro abierto (Cd1) se encuentra por debajo del mínimo establecido, y a medida que aumenta la demanda se incrementa su utilización.



**Gráfica 8. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 1.**

Finalmente, en la Gráfica 9, para la configuración 1, la demanda satisfecha se encuentra por encima del mínimo establecido del 90% hasta una demanda aproximada de 37758 unidades, a partir del escenario π10 cuando la demanda supera la capacidad de la planta 5 se genera un cuello de botella que genera demanda insatisfecha.



**Gráfica 9. Demanda satisfecha - Configuración 1.**

#### 4.2.2. Configuración 2

La configuración 2 obtenida propone la utilización de 2 de las 5 plantas disponibles éstas son las plantas 2 y 4, en donde la planta 4 cuenta con mayor capacidad que la planta 2, en cuanto a los centros de distribución se opera solo con el (Cdr4) al igual que la configuración 1, y finalmente en cuanto al centro de disposición seguirá siendo utilizado el (Cd1) como en la configuración anterior. La configuración 2 está representada en la Figura 7.

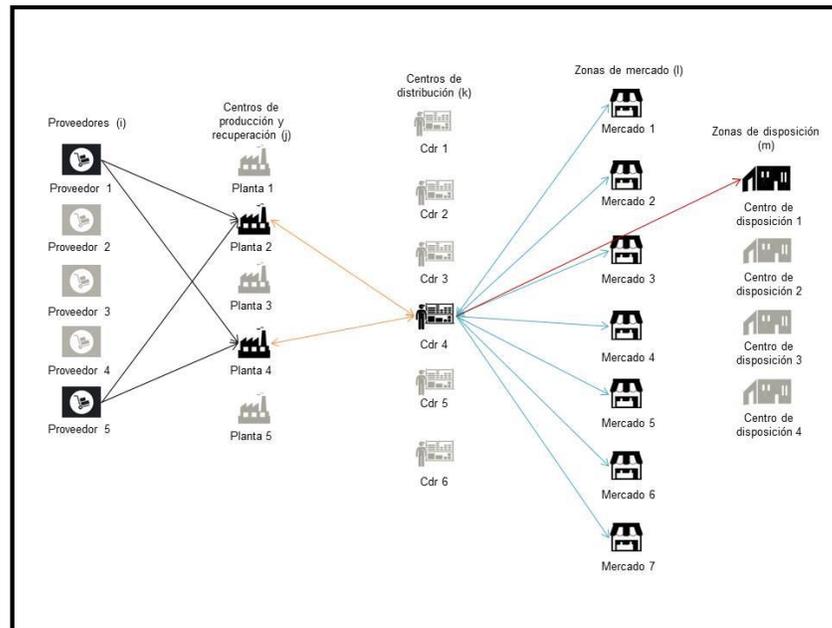
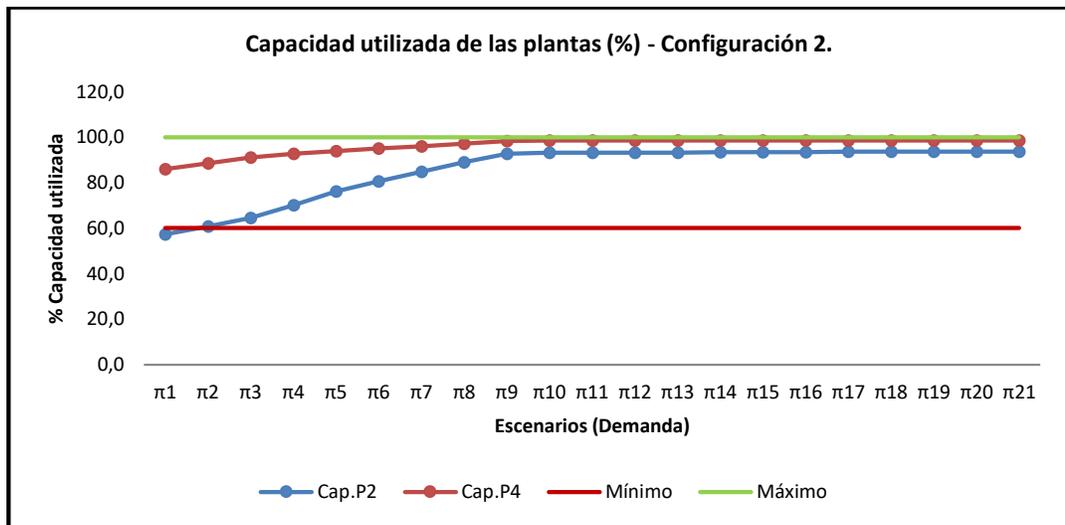


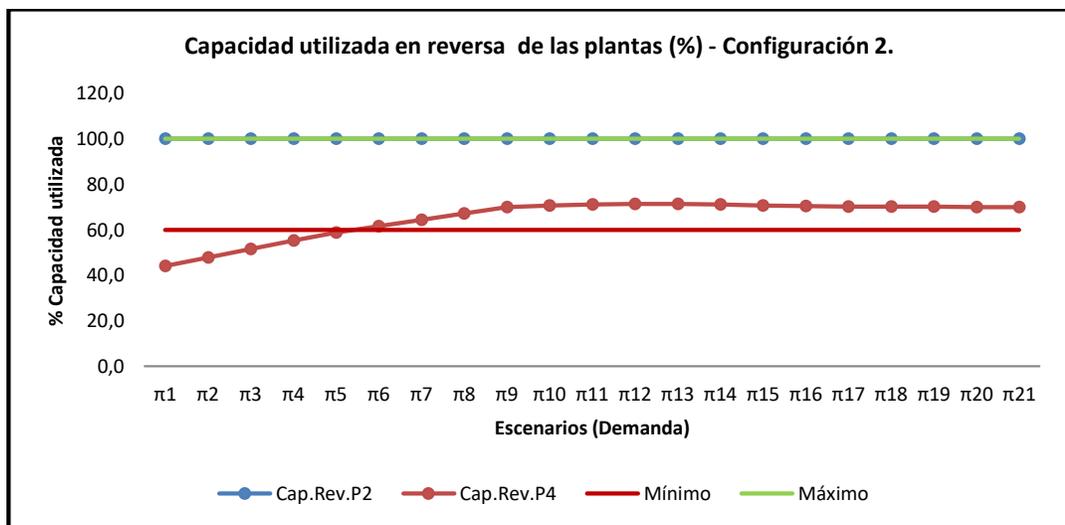
Figura 7. Configuración 2.

Según la Gráfica 10, para la configuración 2, la utilización de las plantas 2 y 4 sobrepasan el mínimo establecido, a partir del escenario  $\pi_9$  de demanda, las plantas tienen un uso constante superior al 90%, en escenarios de demanda baja se subutiliza la planta 2 esto infringiendo solo en un escenario la restricción del 60% mínimo de aprovechamiento de la capacidad.



**Gráfica 10. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 2.**

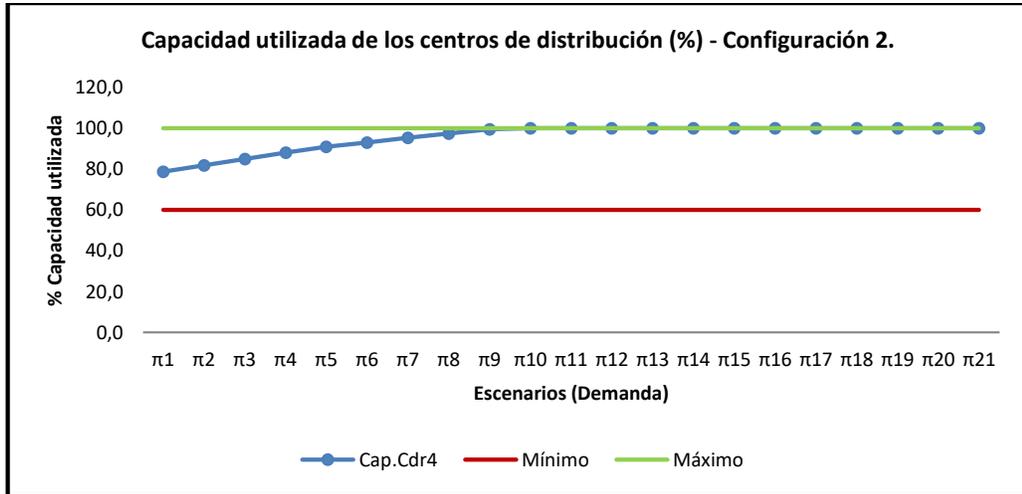
En cuanto a la capacidad de recuperación de las plantas en la Gráfica 11, la planta 5 opera al 100% y en complemento, la planta 4 asume la recuperación de productos que la planta 5 no puede asumir, cuando la demanda es menor a 32262 unidades la planta 4 trabajará con una capacidad menor al 60%.



**Gráfica 11. Capacidad utilizada de las plantas en reversa - Configuración 2.**

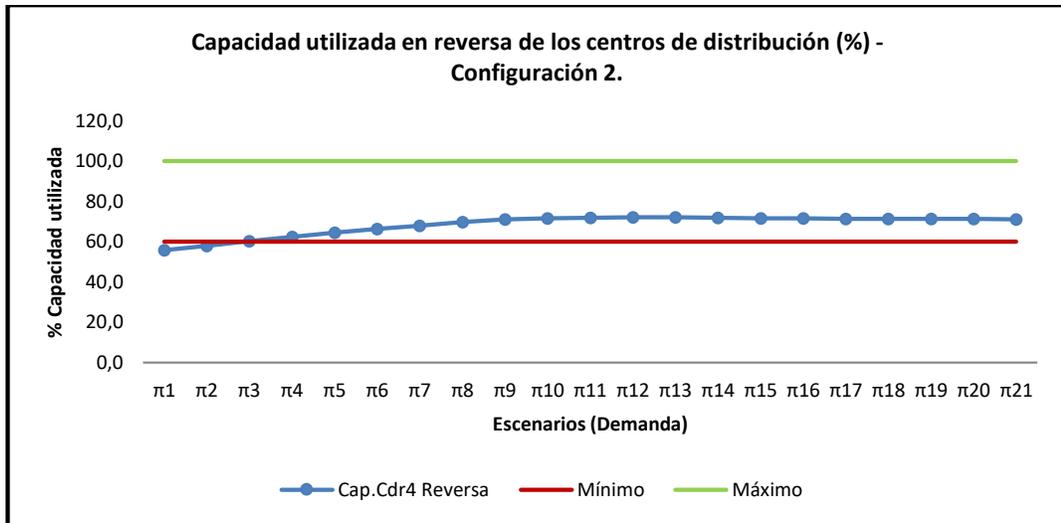
La capacidad utilizada en el (Cdr4) se encuentra sobre el mínimo definido, y alcanza una utilización del 100% con una demanda aproximada de 37758 unidades, lo que

generará demanda insatisfecha para mayores requerimientos, esto se observa en la Gráfica 12:



**Gráfica 12. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 2.**

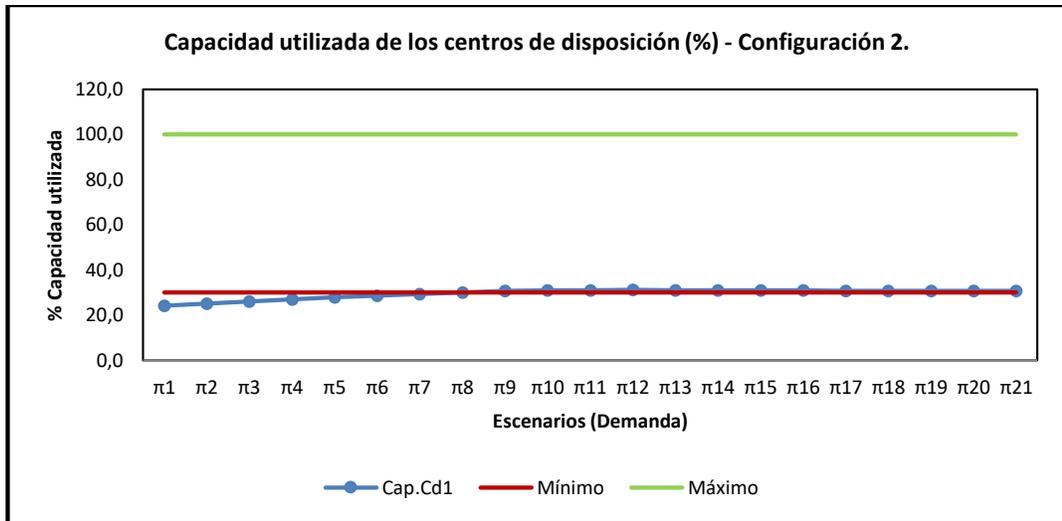
En la Gráfica 13 la capacidad de recolección de productos devueltos del (Cdr4) supera el mínimo establecido cuando la demanda es mayor a 30064 unidades.



**Gráfica 13. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 2**

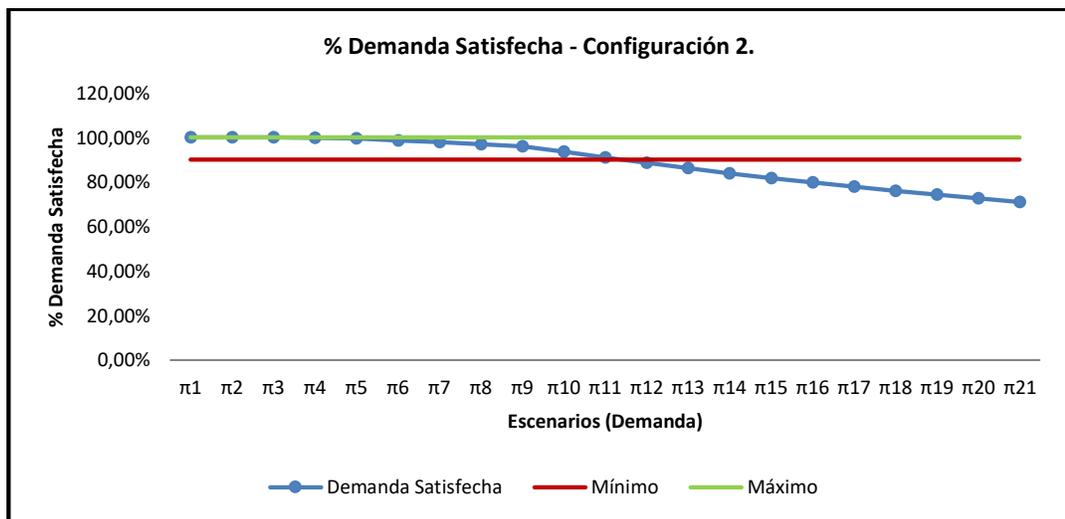
En el caso de los centros de disposición, en la Gráfica 14, la capacidad utilizada en el (Cd1) tiene un comportamiento similar a la configuración 1 en donde apenas se supera el mínimo definido a medida que la demanda aumenta, esto puede estar

demonstrando que la capacidad definida a esta instalación es muy alta para la tasa de productos que realmente se desechan.



**Gráfica 14. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 2.**

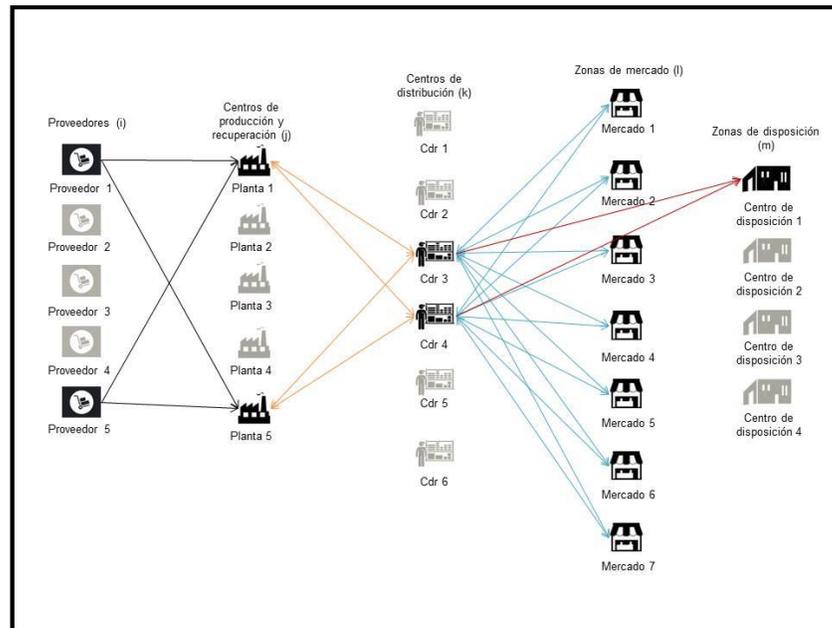
Finalmente, en la Gráfica 15, la demanda satisfecha de la configuración 2 se encuentra por encima del mínimo establecido del 90%, en 11 de los 21 escenarios, cuando la demanda supera las 38855 unidades aproximadamente el (Cdr4) no puede seguir enviado productos ya que alcanza su máxima capacidad.



**Gráfica 15. Demanda satisfecha - Configuración 2.**

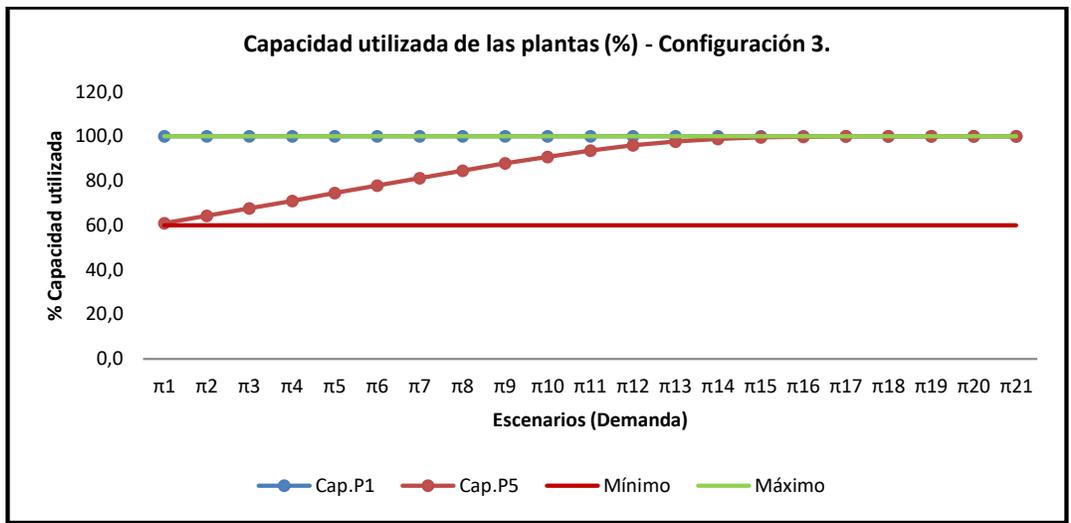
### 4.2.3. Configuración 3

La configuración 3 plantea el uso de 2 plantas de las 5 disponibles, las plantas utilizadas son la número 1 y la número 5, en donde la planta 5 posee 5 veces más capacidad que la número 1. En cuanto a los centros de distribución son utilizados los centros 3 y 4, 2 de los 6 disponibles, y finalmente el centro de disposición utilizado continúa siendo el número 1. Esta configuración se encuentra representada en la Figura 6 a continuación:



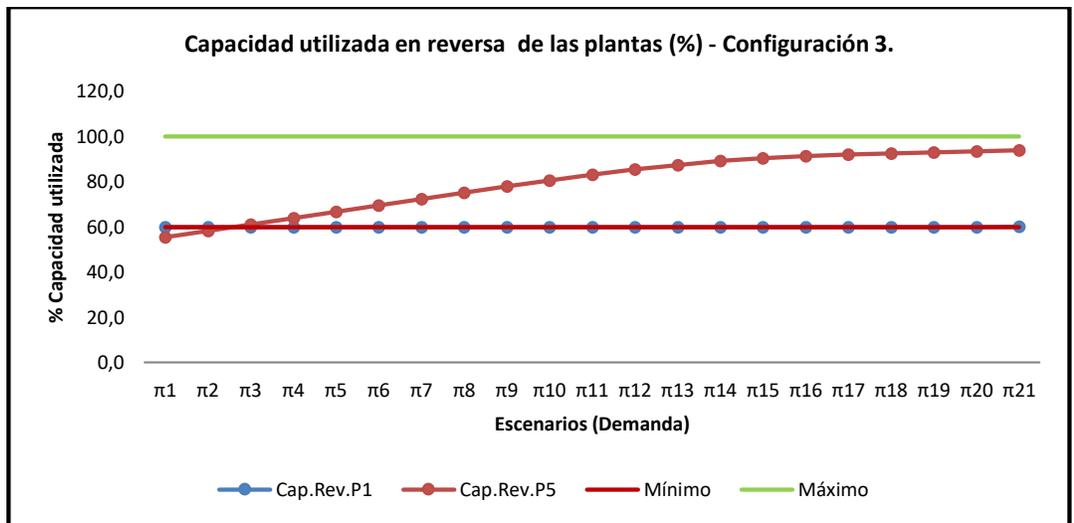
**Figura 8. Configuración 3.**

Según la Gráfica 16, se observa que la utilización de las plantas 1 y 5 en la configuración 3 se encuentra sobre el mínimo establecido, alcanzando el uso del 100% de las 2 plantas en el escenario 17 aproximadamente, lo que puede generar demanda insatisfecha.



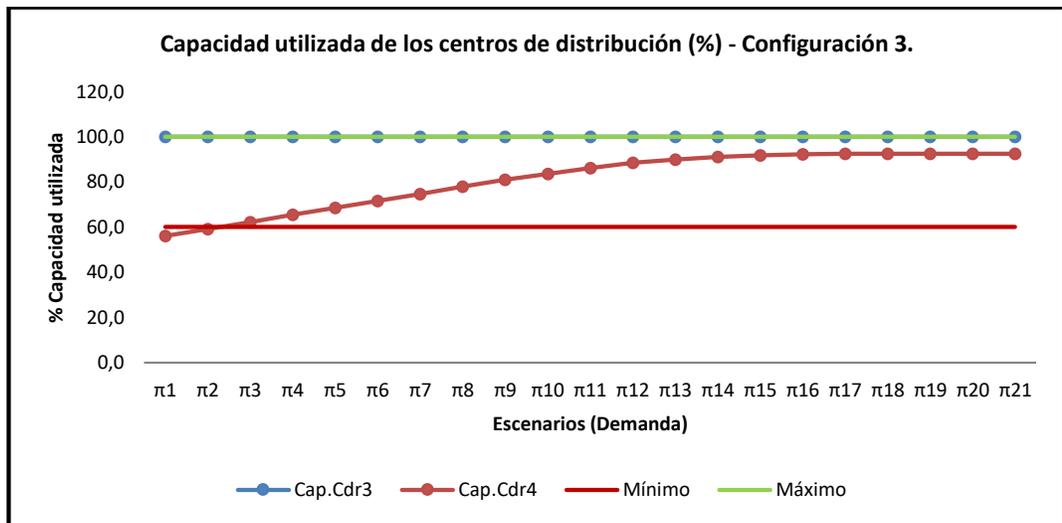
Gráfica 16. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 3.

En cuanto a la capacidad utilizada de las plantas para recuperación, en la Gráfica 17, se evidencia que para la planta 1 la capacidad utilizada se encuentra sobre el mínimo establecido en todos los escenarios con el 60% apenas, y para la planta 5 de los 21 escenarios en 2 el uso de la planta se encuentra por debajo del mínimo.



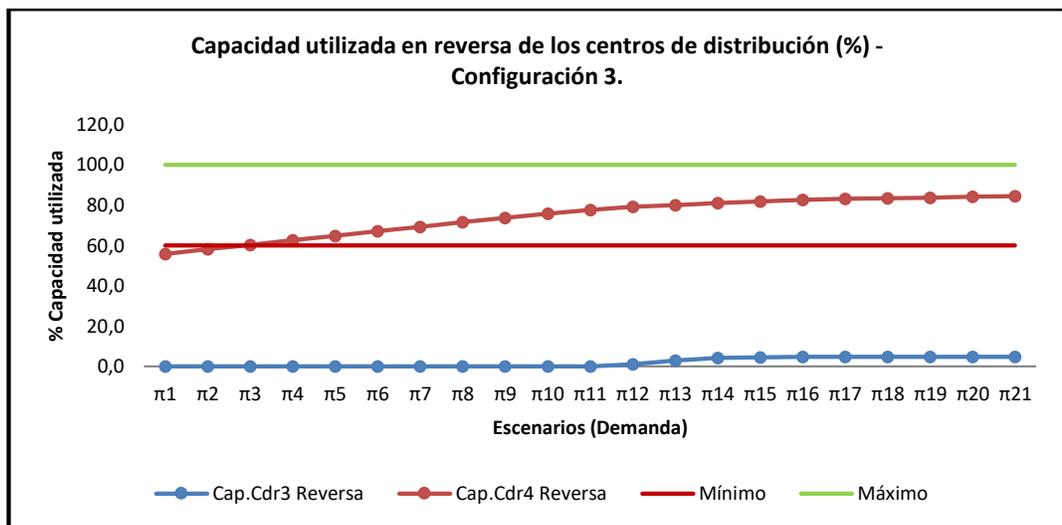
Gráfica 17. Capacidad utilizada de las plantas reversa - Configuración 3.

En la Gráfica 18 se observa que la capacidad utilizada del (Cdr3) es del 100% y a medida que la demanda aumenta el (Cdr4) apoya la operación casi alcanzando el 100% de utilización en ambos (Cdr) en periodos de alta demanda.



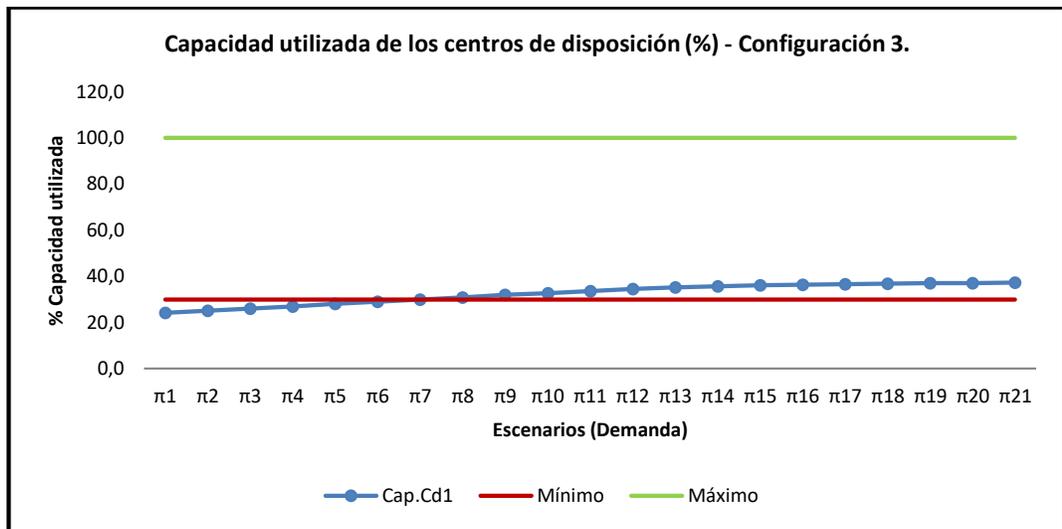
**Gráfica 18. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 3.**

En el caso de los centros de distribución en reversa (Gráfica 19), se observa que la capacidad utilizada en el (Cdr3) en los 21 escenarios se encuentra por debajo del mínimo, y ocurre lo contrario con el (Cdr4) en el que se aprovecha su capacidad por encima del 60%, el (Cdr4) al contar con mayor capacidad asume un mayor porcentaje.



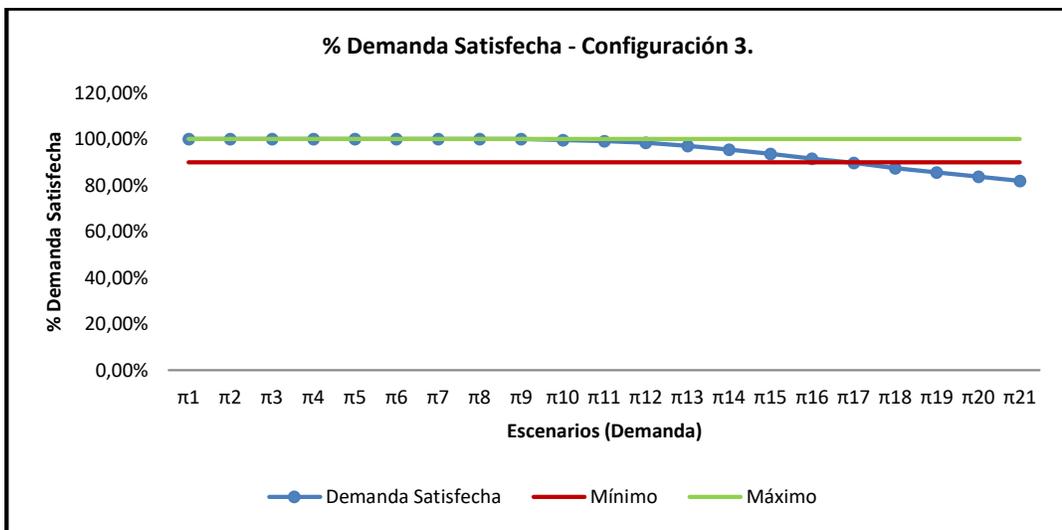
**Gráfica 19. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 3**

En el caso de los centros de disposición según la Gráfica 20, la capacidad utilizada en el (Cd1) apenas sobrepasa el mínimo mostrando baja utilización.



**Gráfica 20. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 3.**

Para la configuración 3 se cumple con la demanda en los 17 primeros escenarios posibles como se observa en la Gráfica 21, siendo hasta el momento la configuración con menos demanda insatisfecha, su limitación está en la capacidad de las plantas.

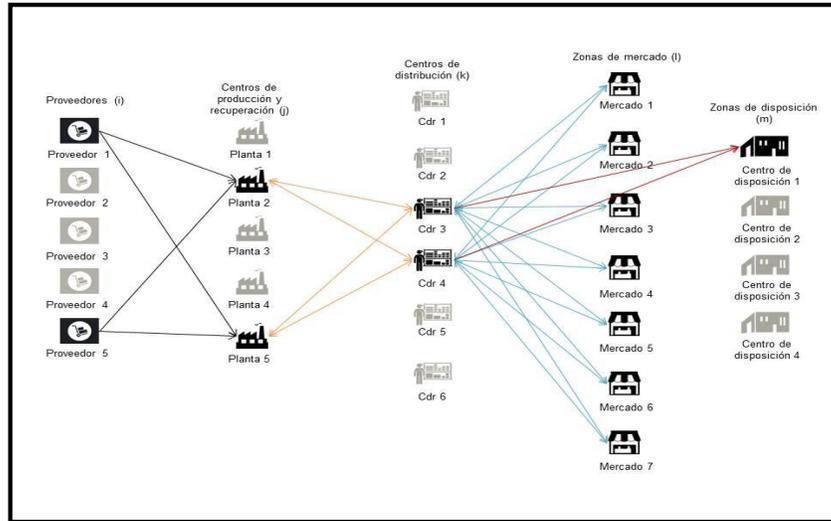


**Gráfica 21. Demanda satisfecha - Configuración 3.**

#### 4.2.4. Configuración 4

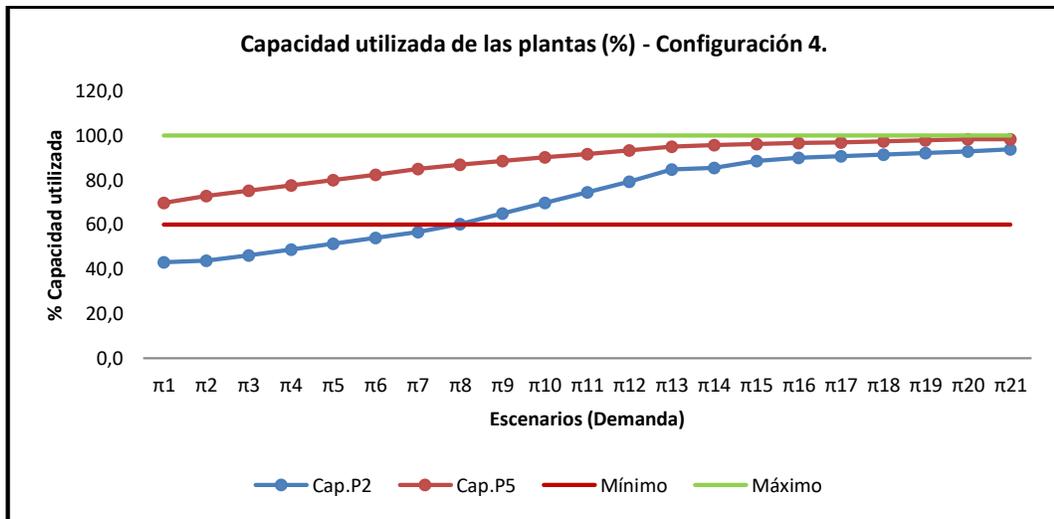
Para esta configuración se presenta la particularidad de que se utilizan los centros de distribución 3 y 4 al igual que en la configuración 3, en cuanto a las plantas

utilizadas en este caso son los números 2 y 5, y finalmente el centro de disposición utilizado es el número 1. Esta configuración se encuentra representada por la Figura 9.



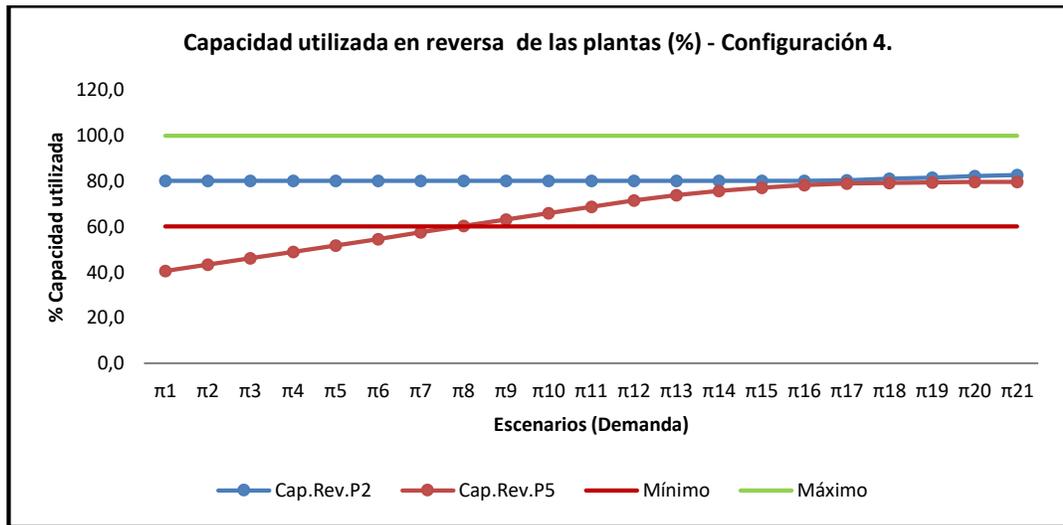
**Figura 9. Configuración 4.**

Según la Gráfica 22 se observa que para la configuración 4 la utilización de la planta 5 es mayor debido a que cuenta con mayor capacidad que la planta 2, la planta 2 se encuentra por debajo del mínimo establecido en 7 de los escenarios cuando la demanda es baja.



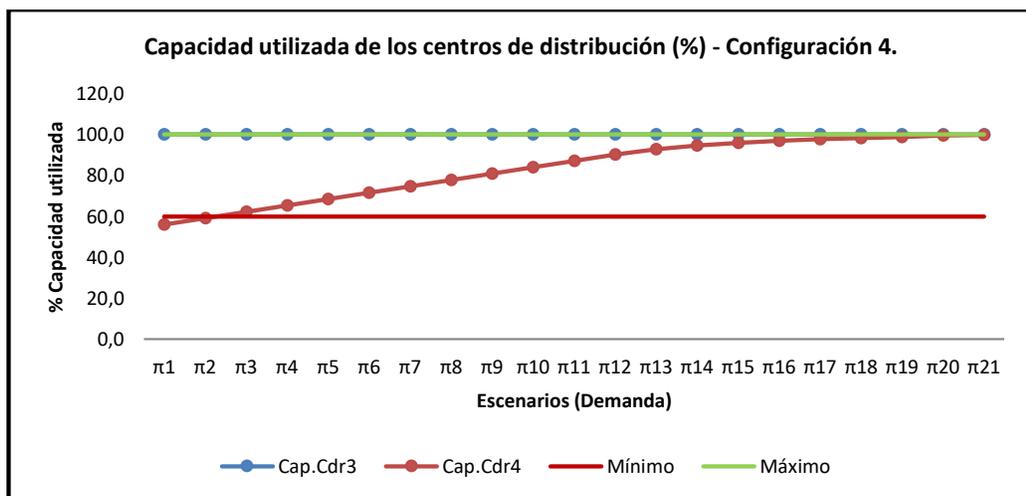
**Gráfica 22. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 4.**

En cuanto a la capacidad utilizada de las plantas para recuperación en la Gráfica 23, se evidencia que la planta 2 opera al 80% de su capacidad, no alcanza el 100% debido a que deja productos a la planta 5 para que su operación se justifique ya que igual se ha asumido ya la instalación.



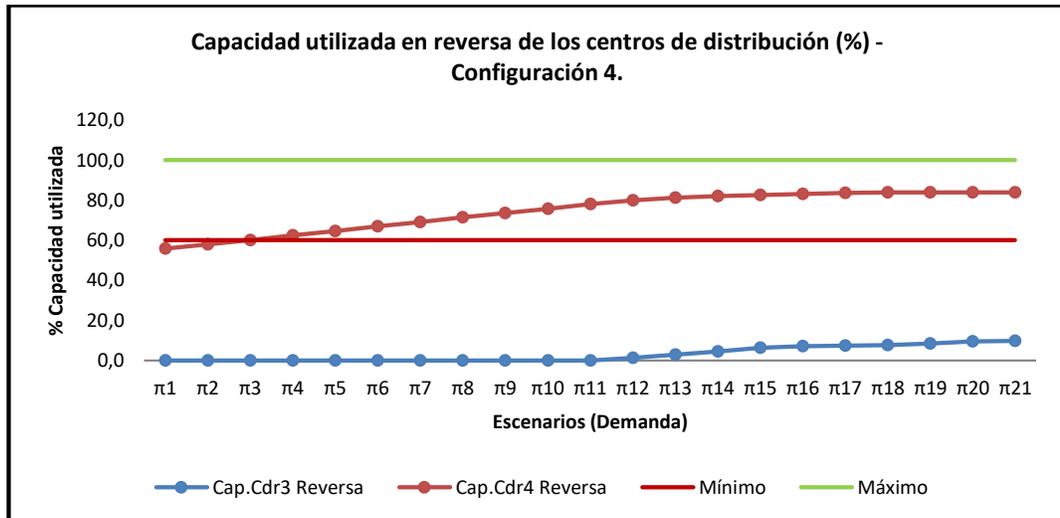
Gráfica 23. Capacidad utilizada de las plantas reversa - Configuración 4.

En el caso de los centros de distribución para la configuración 4 se observa que la capacidad utilizada del (Cdr3) opera al 100% y el (Cdr4) apoya la operación con mayor capacidad, ambos (Cdr) sobre pasan el mínimo de operación a partir del escenario 2, (Gráfica 24).



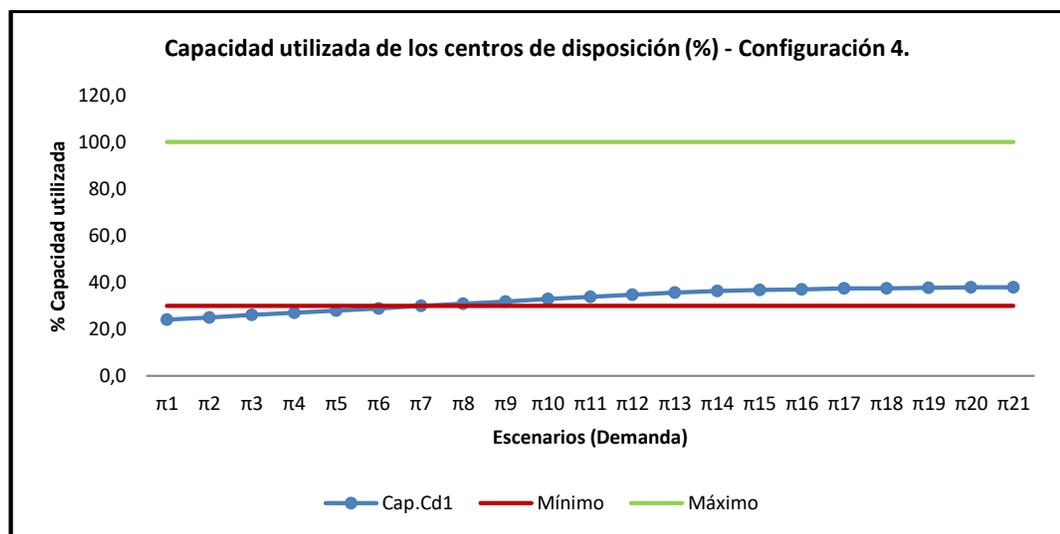
Gráfica 24. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 4.

La capacidad de los centros de distribución en reversa representada en la Gráfica 25, expone que el (Cdr4) tiene mayor capacidad utilizada en comparación al (Cdr3), esto debido a que el costo de distribución es menor en el (Cdr4).



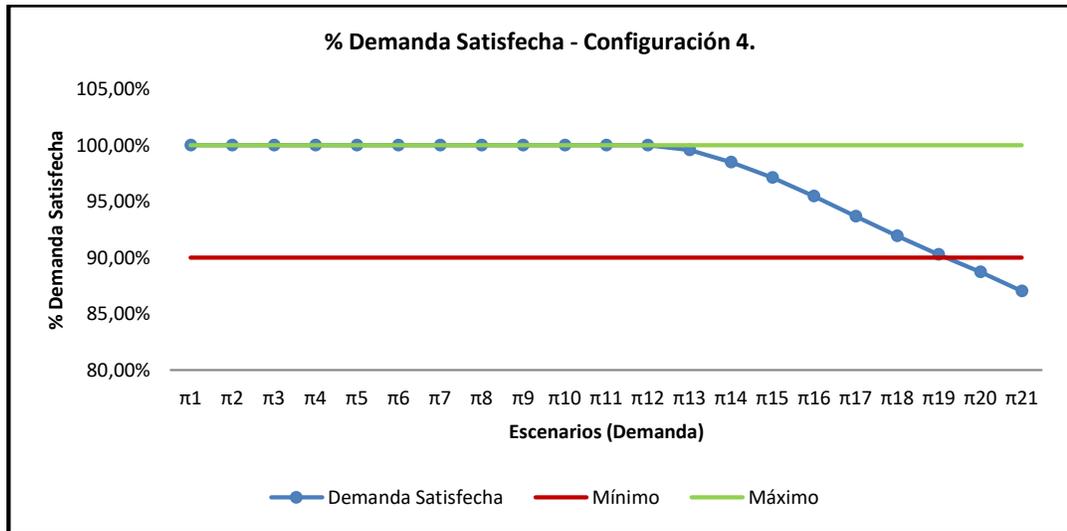
**Gráfica 25. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 4.**

Para la configuración 4, el Centro de disposición 1 opera sobre el mínimo definido en 14 de los 21 escenarios presentando un comportamiento similar a las configuraciones analizadas hasta el momento como se observa en la Gráfica 26.



**Gráfica 26. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 4.**

Para la configuración 4 se cumple con la demanda satisfecha mínima del 90% en los 19 primeros escenarios posibles de demanda, como se observa en la Gráfica 27, superando los 17 escenarios obtenidos en la configuración 3.



**Gráfica 27. Demanda satisfecha - Configuración 4.**

#### 4.2.5. Configuración 5

La configuración 5 representada en la Figura 10, es la segunda de las configuraciones que opera con una sola planta al igual que la configuración 1, sin embargo, la planta 3 que es utilizada en la configuración 5 es la planta con mayor capacidad y a su vez con un mayor costo de inversión inicial. Los centros de distribución utilizados en esta configuración son el (Cdr2) y el (Cdr4); y finalmente el centro de disposición utilizado continúa siendo el (Cd1).

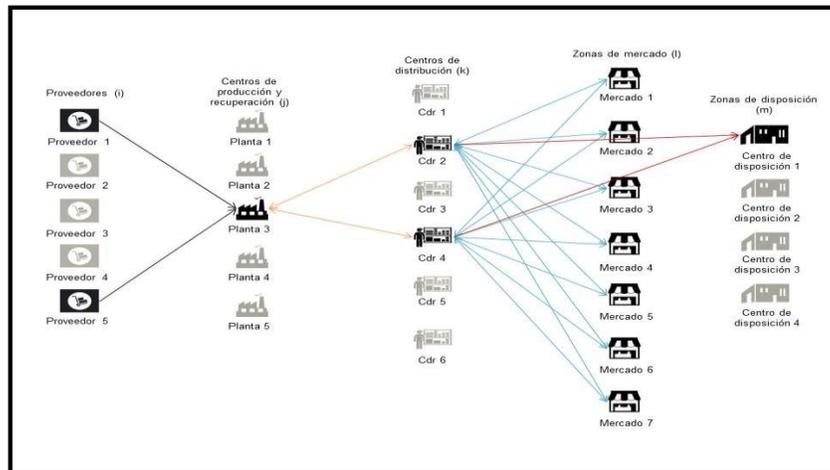
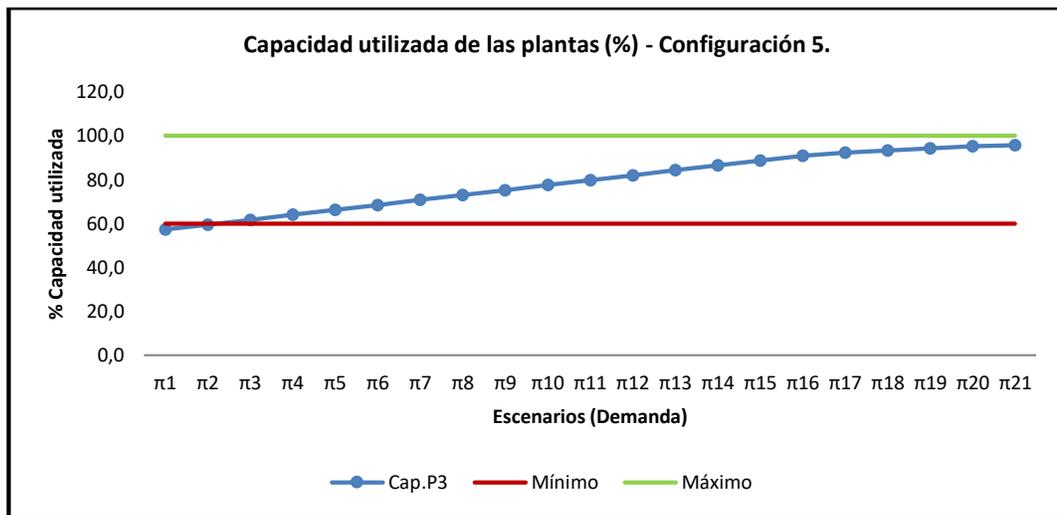


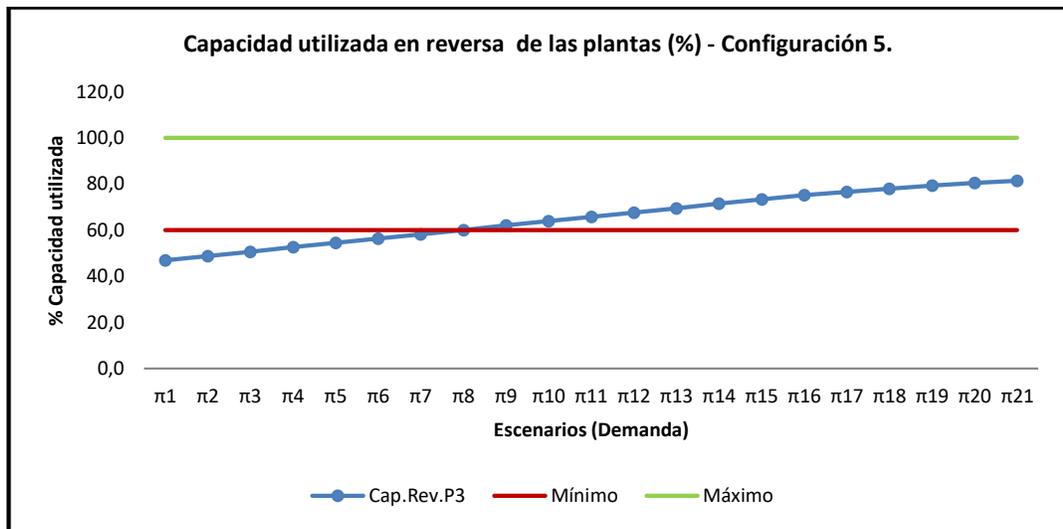
Figura 10. Configuración 5.

Según la Gráfica 28, se observa que para la configuración 5 la utilización de la planta 3 sobrepasa el mínimo del 60% establecido en 20 de los escenarios.



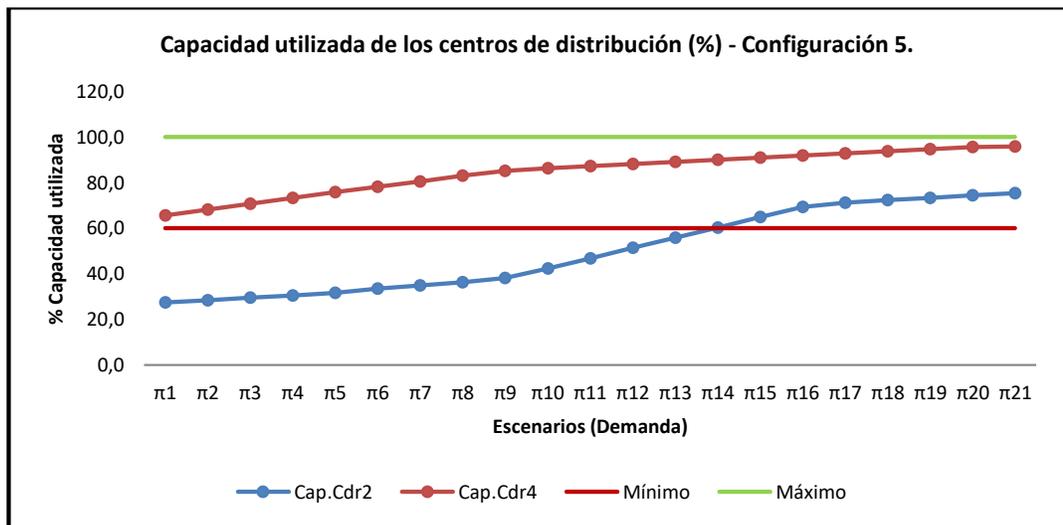
Gráfica 28. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 5.

En cuanto a la capacidad utilizada para recuperación de la planta 3, en la Gráfica 29 se evidencia que se encuentra sobre el mínimo establecido a partir del escenario 8, esto se debe a que al ser la planta más grande tiene mayor capacidad y en periodos de demanda baja la capacidad no supera el 60%.



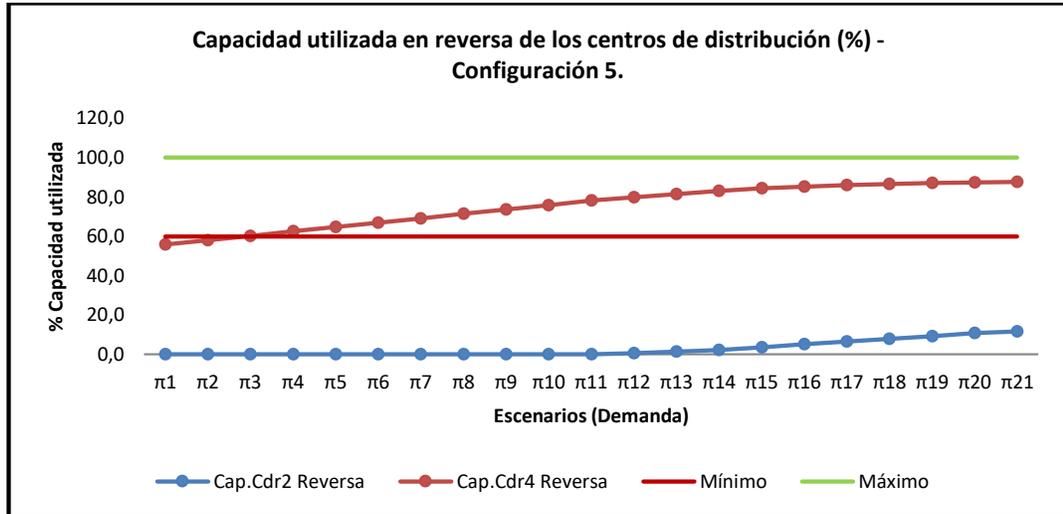
**Gráfica 29. Capacidad utilizada de las plantas reversa - Configuración 5.**

En el caso de los centros de distribución para la configuración 5, en la Gráfica 30 se observa que la capacidad utilizada del (Cdr2) en 13 de los escenarios se encuentra por debajo del mínimo, y por el contrario en el (Cdr4) la capacidad está por encima del mínimo establecido para los 21 escenarios.



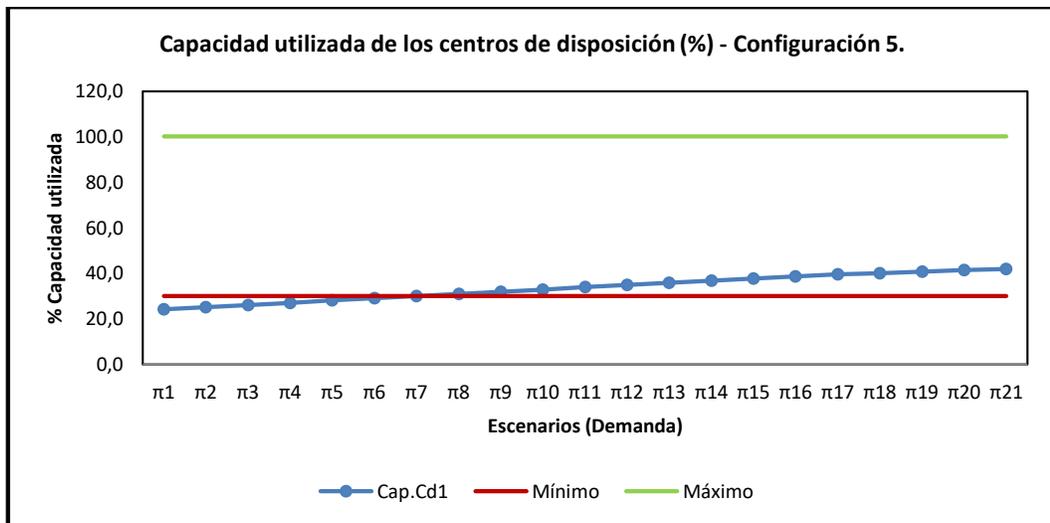
**Gráfica 30. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 5.**

En el caso de los centros de distribución en reversa, se evidencia que la capacidad utilizada en el (Cdr2) se encuentra por debajo del mínimo, esto debido a que el costo de distribución es menor en el (Cdr4), (Gráfica 31).



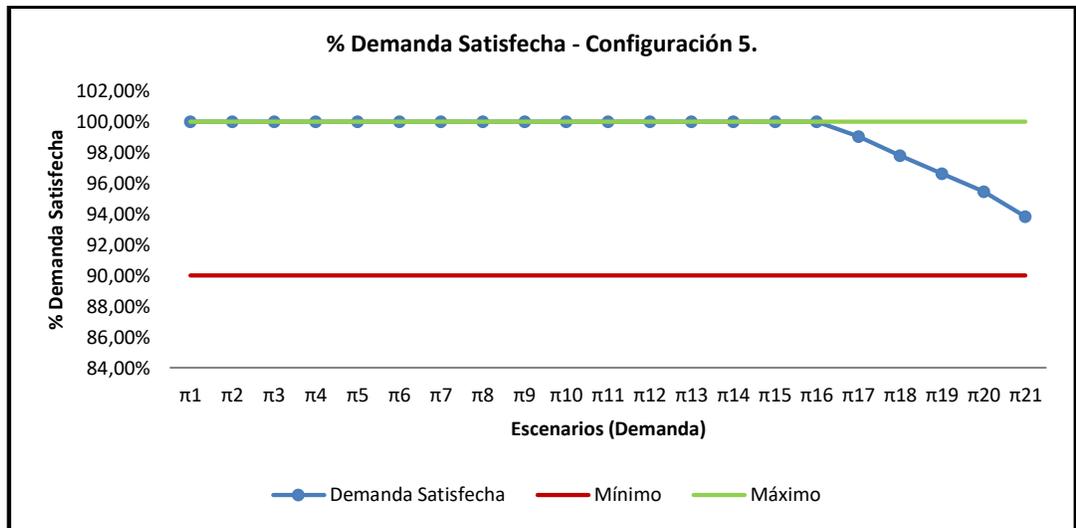
Gráfica 31. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 5

Para la configuración 5, el Centro de disposición 1 opera sobre el mínimo definido en 14 de los 21 escenarios presentando un comportamiento similar a las configuraciones analizadas hasta el momento como se observa en la Gráfica 32.



Gráfica 32. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 5.

Para la configuración 5 se cumple con la demanda mínima del 90% en los 21 escenarios posibles como se puede observar en la Gráfica 33; no se presentan cuellos de botella, ni por plantas ni centros de distribución como en las configuraciones anteriormente analizadas, sin embargo, una vez analizados los requerimientos de robustez se podrá revisar si existe algún efecto en los flujos de efectivo al considerar la planta con mayor capacidad y costo de instalación.



**Gráfica 33. Demanda satisfecha - Configuración 5.**

#### 4.2.6. Configuración 6

La configuración 6 es la única de las configuraciones que trabaja con 3 de las 6 plantas disponibles, estas plantas son las número 1, 2 y 5, en cuanto a los centros de distribución esta configuración opera con dos que son el (Cdr4) el (Cdr5) y finalmente el centro de disposición utilizado continúa siendo el (Cd1), Esta configuración se encuentra representada por la Figura 11.

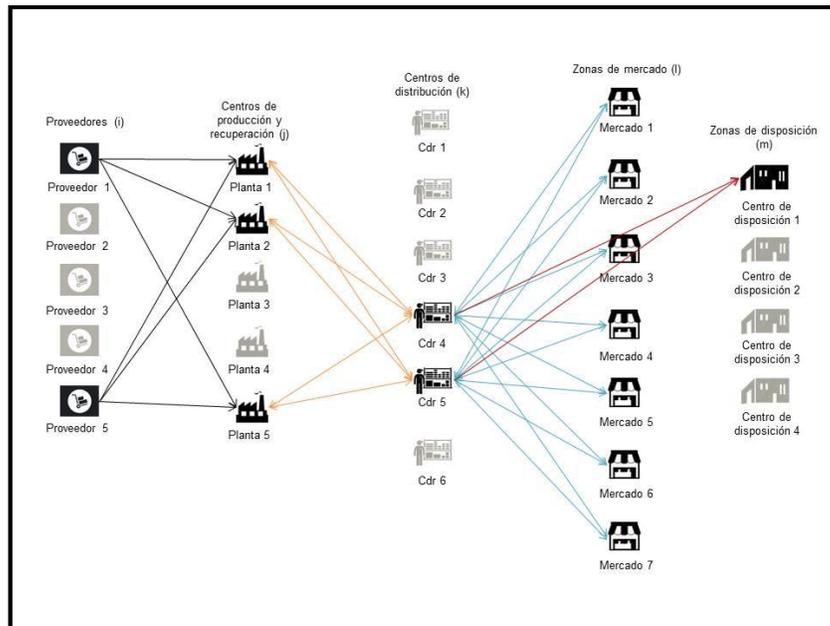
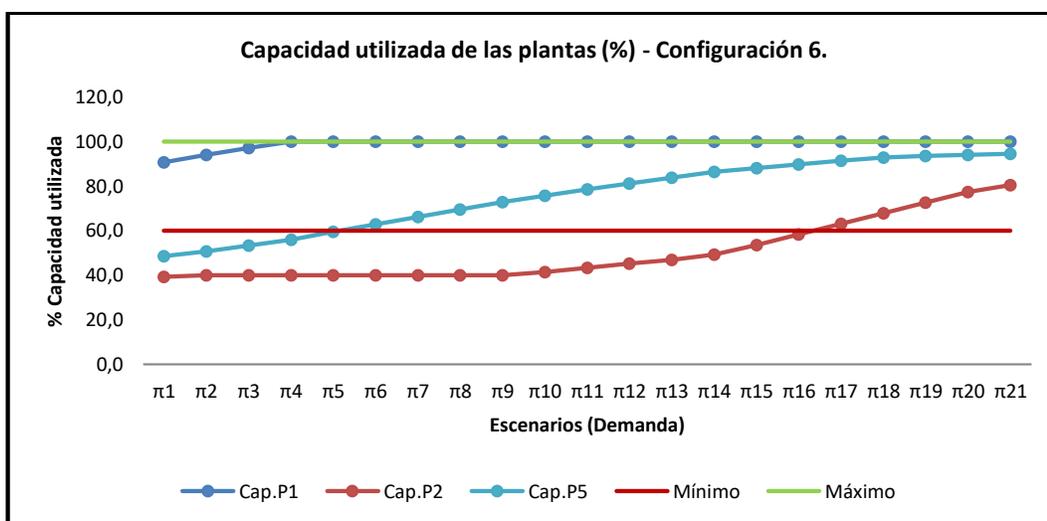


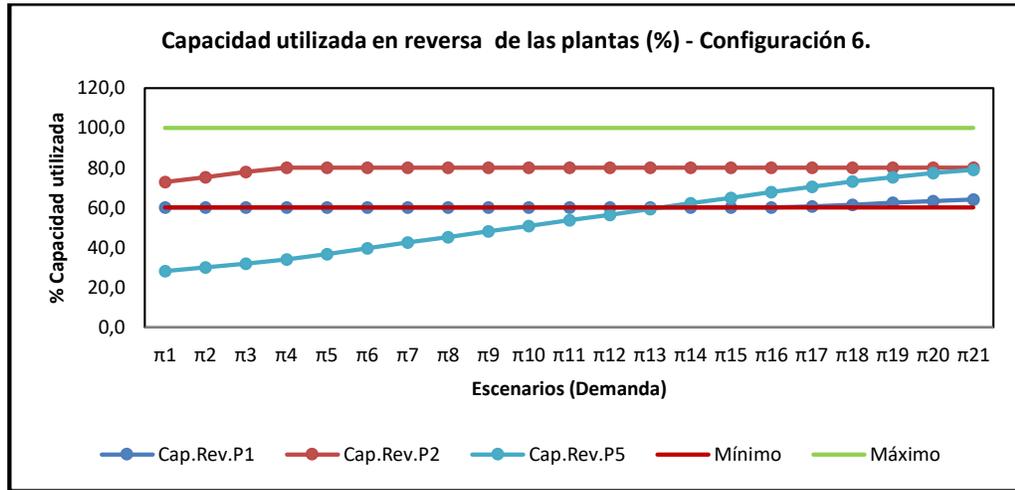
Figura 11. Configuración 6.

Según la Gráfica 34 obtenida se observa que para la configuración 6 la utilización de la planta 1 alcanza un 100%, esto debido a que es la planta más pequeña propuesta, las plantas 2 y 5 apoyan la fabricación, sin embargo, la planta 2 trabaja con una capacidad menor al 60% en 16 de los escenarios de demanda más baja.



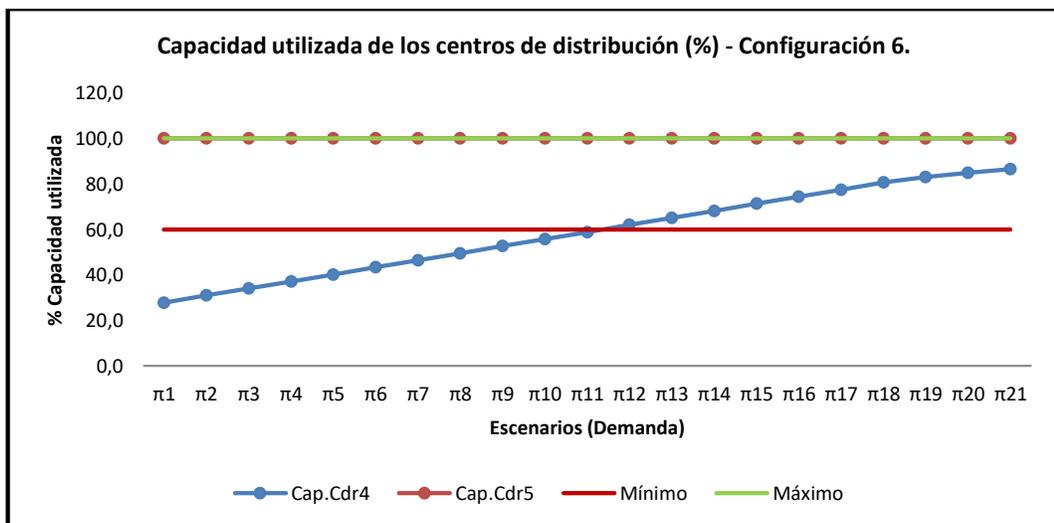
Gráfica 34. Capacidad utilizada de las plantas - Configuración 6.

En cuanto a la capacidad utilizada de las plantas para recuperación en la Gráfica 35 se evidencia que las plantas 1 y 2 operan sobre el mínimo establecido en todos los escenarios, pero para la planta 5 solo se opera sobre el mínimo cuando la demanda es mayor a 41053 unidades aproximadamente (escenario  $\pi$ 13).



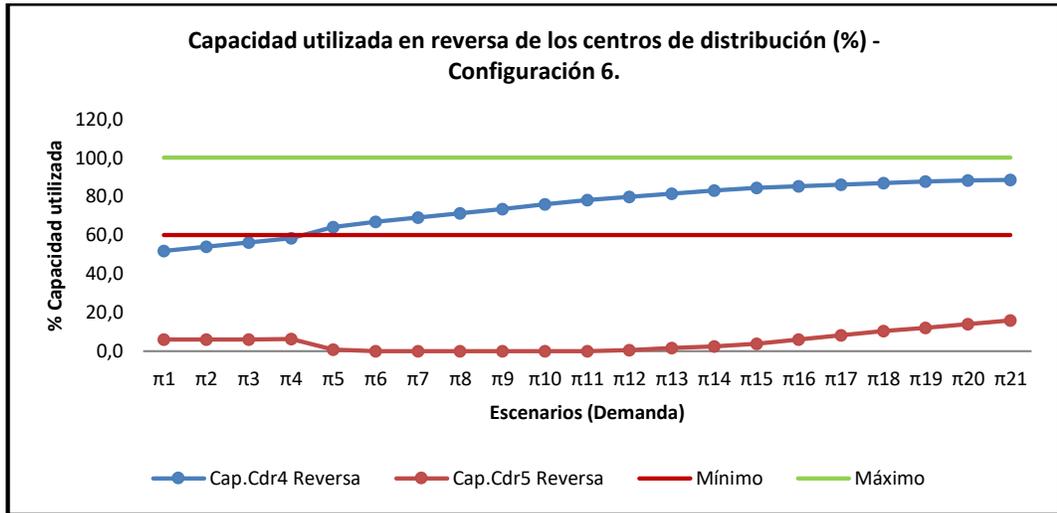
**Gráfica 35. Capacidad utilizada de las plantas reversa - Configuración 6.**

En el caso de los centros de distribución para la configuración 6, en la Gráfica 36 se observa que la capacidad utilizada del (Cdr5) se encuentra al 100%, debido a que el costo de distribución es menor que el del (Cdr4) en el que la capacidad está por debajo del mínimo en los primeros 11 escenarios donde la demanda es menor.



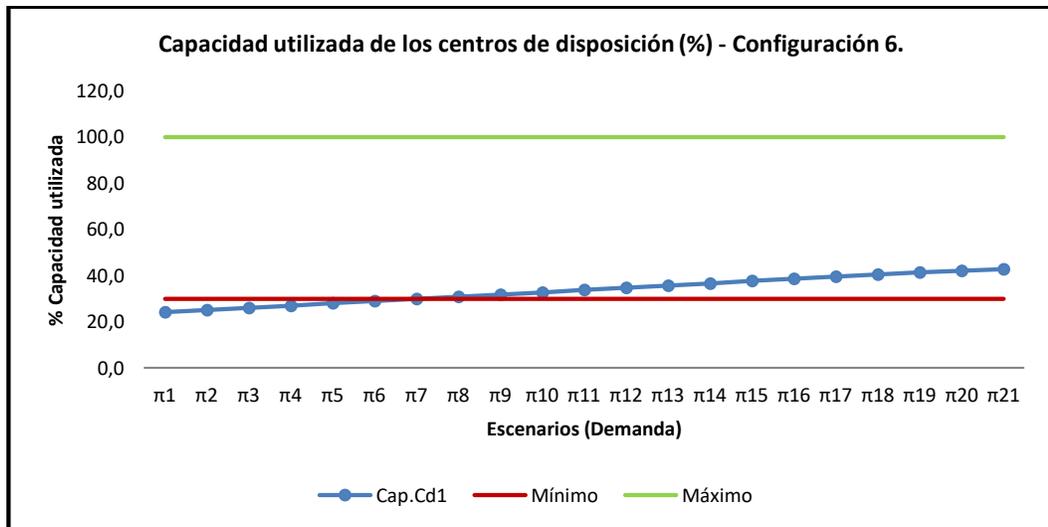
**Gráfica 36. Capacidad utilizada de los centros de distribución - Configuración 6.**

En el caso de los centros de distribución en reversa, se evidencia en la Gráfica 37 que la capacidad utilizada en el (Cdr4) en 17 de los escenarios supera el mínimo definido, al contrario, en el (Cdr5) no se alcanza a superar ni siquiera el 16% de utilización, esto debido a que el costo de distribución es menor en el (Cdr4).



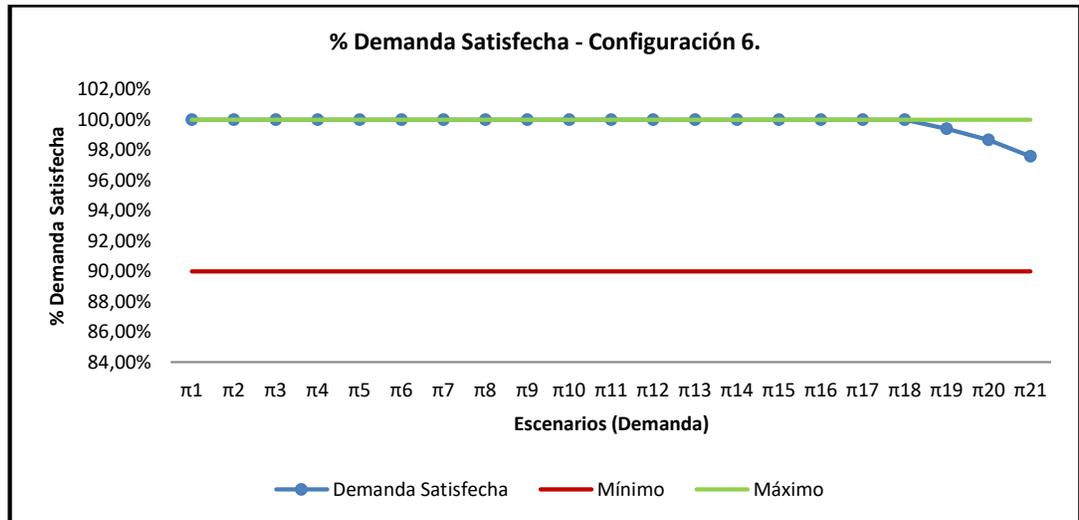
**Gráfica 37. Capacidad utilizada de los centros de distribución en reversa - Configuración 6.**

Para la configuración 6, el centro de disposición 1 opera sobre el mínimo definido en 14 de los escenarios presentando un comportamiento similar a todas las configuraciones analizadas (Gráfica 38).



**Gráfica 38. Capacidad utilizada de los centros de disposición - Configuración 6.**

Para la configuración 6 como se puede observar en la Gráfica 39, se cumple con la demanda mínima del 90% en los 21 escenarios posibles, debido a que cuenta con 3 plantas en operación.



**Gráfica 39. Demanda satisfecha - Configuración 6.**

En resumen, cada configuración tiene ventajas y desventajas dependiendo de la demanda de los respectivos mercados, y estas se verán reflejadas en el uso de la capacidad de las instalaciones, el nivel de satisfacción de la demanda y los flujos de efectivo que serán analizados en el análisis del requerimiento de robustez.

Por ejemplo, la configuración 1 aprovecha la capacidad de la planta y el centro de distribución sobre el mínimo del 60%, sin embargo, la capacidad de la planta 5 solo permite abastecer los primeros 8 escenarios de demanda, cuando la demanda aumenta por encima de este valor no se puede cumplir con el 90% de demanda satisfecha y se empiezan a asumir costos de penalización. Es una configuración adecuada para escenarios de demanda baja. (En total 8 escenarios de demanda satisfecha por encima del 90%).

En la configuración 2 tiene un comportamiento algo similar a la configuración 1, y aunque se satisface la demanda en 90% en más escenarios, el centro de distribución 4 alcanza su máxima capacidad con una demanda de alrededor 38855

unidades, al ser mayor la configuración deja de ser ideal. (En total 11 escenarios de demanda satisfecha por encima del 90%).

La configuración 3 a diferencia de las 2 configuraciones anteriores opera con 2 plantas y 2 centros de distribución, en donde la decisión de utilizar una instalación más que otra dependerá del costo que tiene la operación en (cdr), y en el caso de cubrir la capacidad de una instalación la otra apoyará la operación para reducir la demanda insatisfecha. Sin embargo, en esta configuración aún se presenta un cuello de botella por la capacidad de las plantas que con una demanda mayor a 45449 unidades ya no podrá cumplir con la demanda mínima satisfecha del 90%. (En total 16 escenarios de demanda satisfecha por encima del 90%).

La configuración 4 al igual que la configuración anterior opera con 2 plantas y 2 centros de distribución, las únicas variaciones que se presentan es la capacidad utilizada de los centros de distribución y en que tiene más escenarios en los que se satisface a demanda por encima del 90% definido. (En total 19 escenarios de demanda satisfecha por encima del 90%).

En cuanto a la configuración 5 se plantea el uso de solo una planta siendo está la de mayor capacidad y por tanto mayor valor inicial, al igual que uno de los centros de distribución con la misma condición. Al tener la mayor capacidad su % de utilización se reduce por que la demanda sigue siendo la misma sin importar la configuración, sin embargo, en todos los escenarios se cumple con la demanda mínima del 90%, se tendría que analizar el impacto financiero de esta decisión, siendo esto parte del análisis del requerimiento de robustez. (En total 21 escenarios de demanda satisfecha por encima del 90%).

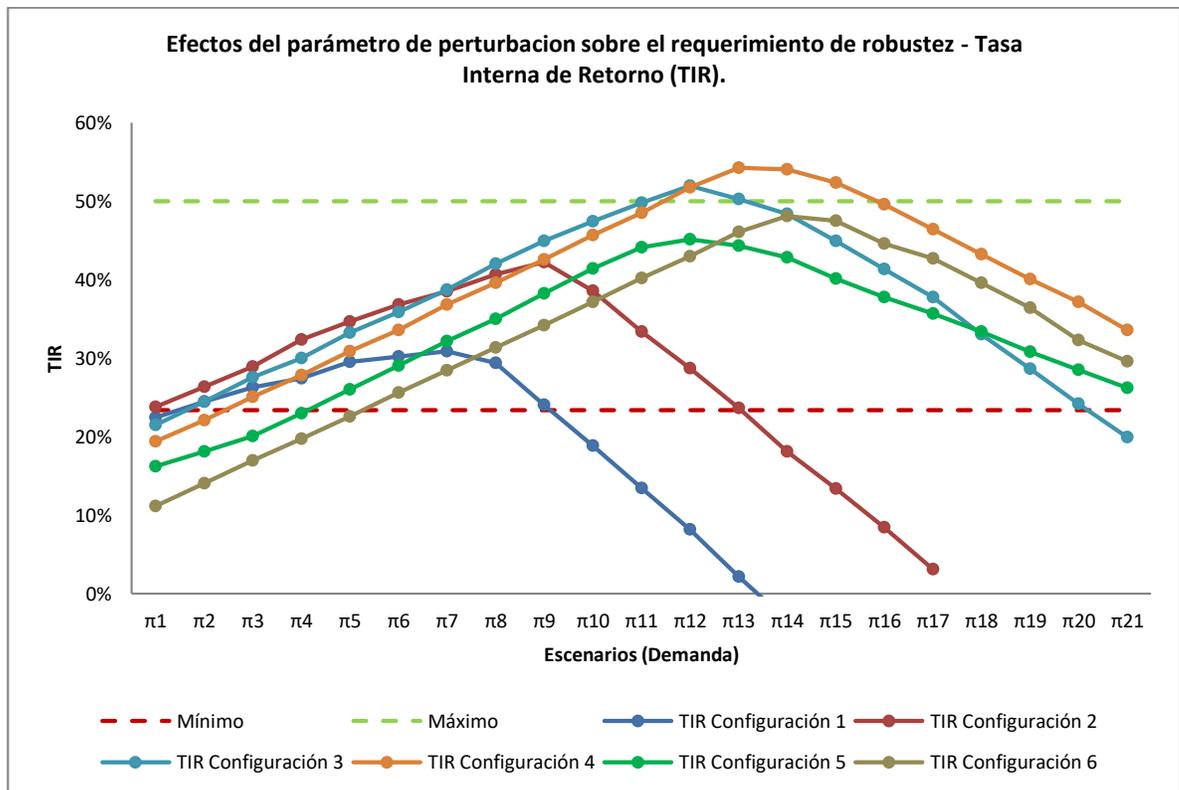
Finalmente, la configuración 6 propone la utilización de 3 plantas y 2 centros de distribución, lo cual permite que la demanda insatisfecha se reduzca, sin embargo, a partir de las gráficas se evidencia que en algunas de las instalaciones tiene una capacidad utilizada por debajo del mínimo definido que puede generar pérdidas ya que se asume su costo de instalación, pero su utilización es muy baja. (En total 21 escenarios de demanda satisfecha por encima del 90%).

### 4.3. DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS DEL PARÁMETRO DE PERTURBACIÓN SOBRE EL REQUERIMIENTO DE ROBUSTEZ

Al igual que en el índice anterior y continuando con los pasos propuestos por la metodología FePIA, se desea determinar qué efecto tiene la variación de los parámetros de perturbación sobre los requerimientos de robustez, en este caso es la Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN) con el fin de determinar cuál es la configuración más robusta para la cadena de suministro diseñada y propuesta.

Con el fin de analizar la TIR para cada configuración en los 21 escenarios propuestos se realizó la Gráfica 40.

**Gráfica 40. Efectos del parámetro de perturbación sobre el requerimiento de robustez.**



Fuente: Autor.

El requerimiento de robustez que para este trabajo es la TIR, fue calculado a partir de los flujos de efectivo y el VPN para cada periodo en cada configuración, es

evaluado con respecto al mínimo calculado en la Ecuación (53) que corresponde a un 19.34%, mínimo valor de TIR que se puede aceptar en un escenario para considerar que la configuración es robusta. Según la Gráfica 40 las configuraciones 1 y 2 en los escenarios de demanda baja cuenta con la TIR más alta esto se debe a que pueden suplir la demanda con su capacidad aun trabajando solo con una Planta en el caso de la configuración 1 o solo con un Centro de distribución en el caso de configuración 2, en cambio las otras configuraciones cuentan con más instalaciones sobre las que se asume inversiones altas y que por lo tanto afectan los flujos de efectivo reduciendo la TIR para esas configuraciones. Sin embargo, las configuraciones 1 y 2 una vez alcanzan su capacidad máxima empiezan a tener problemas para cumplir la demanda asumiendo costos de penalización lo que genera el descenso de la TIR.

En cuanto a las configuraciones 3 y 4 se observa una TIR baja en escenarios de poca demanda debido a que al trabajar con 2 plantas y 2 centros de distribución se invierte mayor capital en instalaciones lo cual genera bajo flujo de efectivo cuando las ventas son bajas; sin embargo al aumentar la demanda, la TIR se incrementa hasta el punto en el que la capacidad de las plantas y los centros de distribución lo permite, cuando se alcanza la capacidad máxima de alguno de los eslabones que conforman la cadena de suministro se empieza a generar demanda insatisfecha lo que genera costos de penalización que afectan los flujos de efectivo y por lo tanto la TIR.

Las configuraciones 5 y 6, son aquellas que operan con 3 plantas o con una planta con capacidad mucho mayor a las demás, esta decisión en un principio genera alta inversión inicial que para periodos de demanda baja no se pueden solventar generando una TIR más baja en comparación a otras opciones, no obstante, en escenarios de alta demanda se logra aprovechar mejor su capacidad y los ingresos ya generan una rentabilidad mayor que las demás configuraciones.

Se podría decir que si se tuviese certeza entre qué valor se encontrará la demanda se podría decidir configuración sería ideal, obsérvese la Tabla 10:

**Tabla 10. Configuración ideal según la demanda conocida.**

Configuración ideal según la demanda conocida.		
Configuración	Escenarios Ideales ( $\pi$ )	Demanda satisfecha (Unidades) hasta:
Configuración 1	$\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6$	33361
Configuración 2	$\pi_7, \pi_8, \pi_9$	36658
Configuración 3	$\pi_{10}, \pi_{11}, \pi_{12}, \pi_{13}$	41053
Configuración 4	$\pi_{14}, \pi_{15}$	43251
Configuración 5	$\pi_{16}, \pi_{17}$	45449
Configuración 6	$\pi_{18}, \pi_{19}, \pi_{20}, \pi_{21}$	49844

Sin embargo, para este proyecto la idea es evaluar cuál de las configuraciones es la más robusta en todos los posibles escenarios, con el fin de determinar cuál de esas configuraciones es la más robusta, se realizará un conteo del número de escenarios por configuración que sobrepasa el 19,34% para la TIR, mínimo definido para el requerimiento de robustez, este conteo se realiza en la Tabla 11 a continuación:

**Tabla 11. Número de escenarios por configuración que sobrepasa la TIR mínima.**

Número de escenarios por configuración que sobrepasa la TIR mínima	
Configuración	Nº de Escenarios
Configuración 1	7
Configuración 2	12
Configuración 3	19
Configuración 4	19
Configuración 5	17
Configuración 6	16

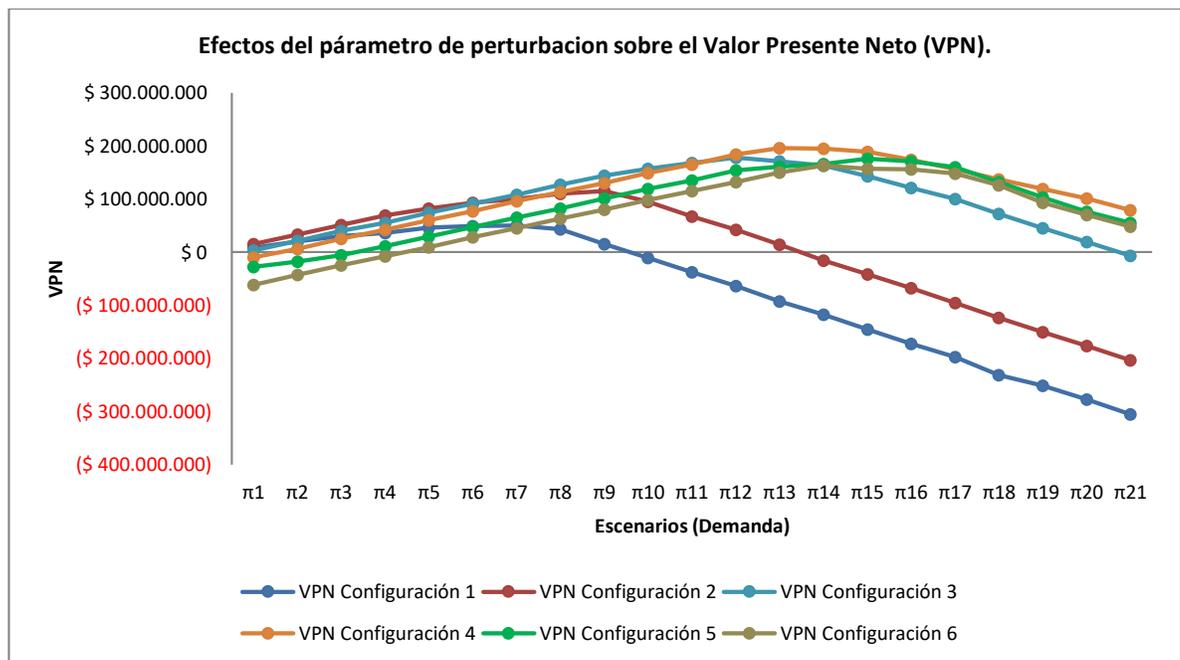
**Fuente: Autor.**

Se puede observar en la Tabla 11, que las configuraciones 3 y 4 son aquellas en la que se tiene el mayor número de escenarios en lo que se sobrepasa el mínimo valor definido para el requerimiento de robustez (TIR), se podrá decir que son las configuraciones más robustas para la cadena de suministro propuesta; La configuración 3 tiene 1 escenario en demanda mínima y 1 escenario en demanda máxima en los que la TIR se encuentra por debajo del mínimo, y la configuración 4 tiene los 2 escenarios, con TIR por debajo del mínimo, cuando la demanda es baja,

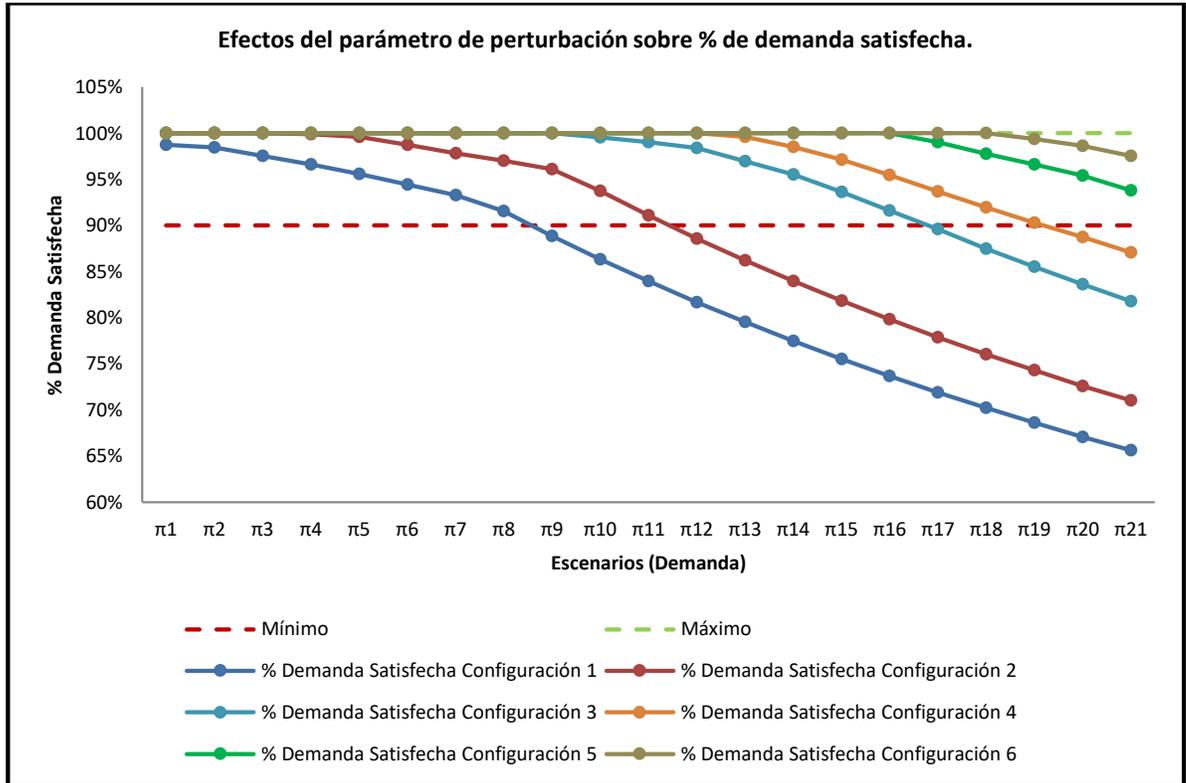
esto puede servir como criterio para decir de una sobre la otra, en el caso de que la demanda tenga una tendencia ser baja es mejor la configuración 3 y en el caso de que la demanda tenga una tendencia ser alta si sería más adecuado seleccionar la configuración 4, por otra parte la configuración 3 tiene 5 escenarios con la TIR más alta que la configuración 4.

El Grafico 41 muestra el efecto del parámetro de perturbación sobre el VPN (Valor Presente Neto), el cual guarda una relación con la TIR, ya que de manera teórica el cálculo de la TIR depende del VPN en un método conocido como interpolación lineal, así, la configuración 4 muestra solo que con la demanda mínima obtiene valores negativos de VPN, además posee los valores máximos de VPN en los escenarios finales, debido a la menor inversión que las configuraciones 5 y 6 con mayor número de plantas y centros de distribución; la configuración 3 obtiene su único valor negativo de VPN en la demanda máxima pero posee menor VPN en los escenarios con mayor demanda.

**Gráfica 41. Efectos del parámetro de perturbación sobre el VPN.**



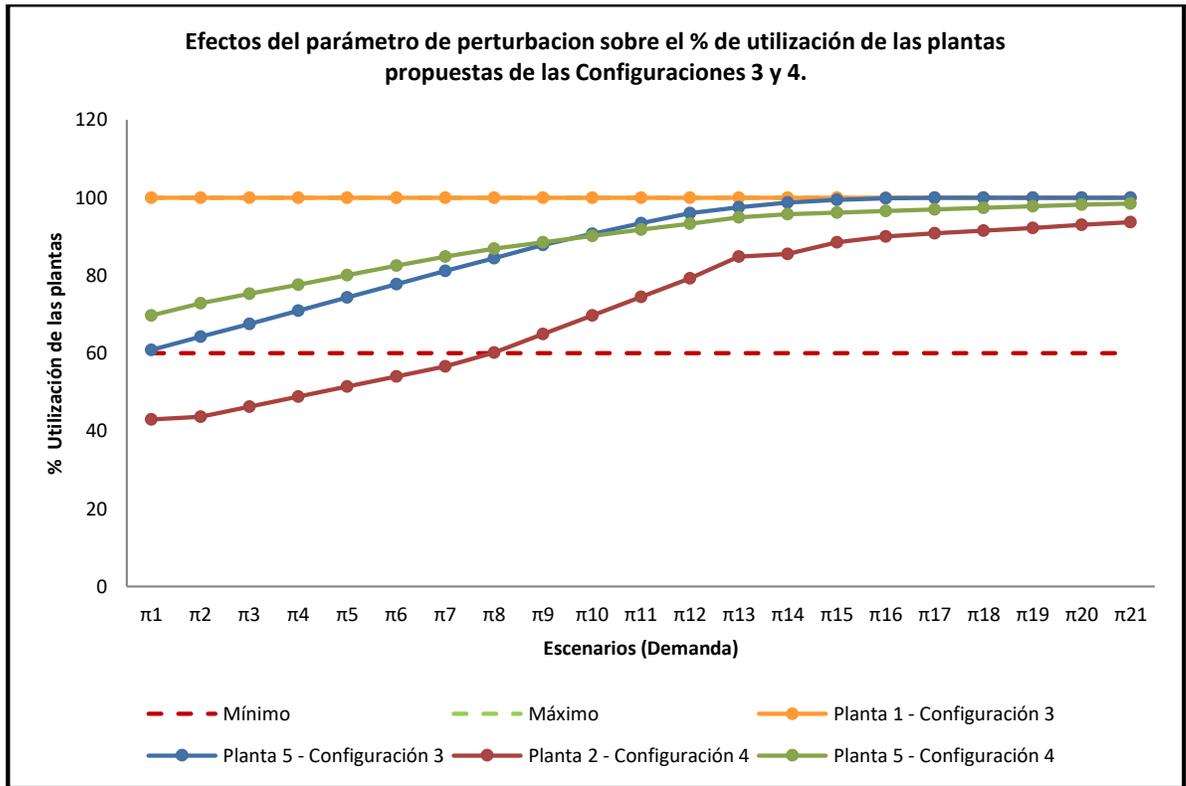
Para seleccionar una de las dos configuraciones se decidió analizar el efecto del parámetro de perturbación sobre las características de operación en la Gráfica 42 se procede a analizar la demanda satisfecha



**Gráfica 42. Efectos del parámetro de perturbación sobre % de demanda satisfecha.**

Según la Gráfica 42, la configuración 3 tiene 5 escenarios en los que no cumple la demanda mínima exigida correspondiente al 90%, la configuración 4 solo tiene 2 escenarios con esta misma situación, por esta razón la configuración 4 puede ser considerada como más robusta, ya que se van a asumir menos costos de penalización lo que genera que la TIR y el VPN en esos últimos escenarios sea mayor. A pesar que las configuraciones 5 y 6 siempre cumplen con las características de desempeño de demanda satisfecha por encima del 90%, no pueden ser consideradas robustas, su desempeño está por debajo de lo requerido frente a las demás configuraciones.

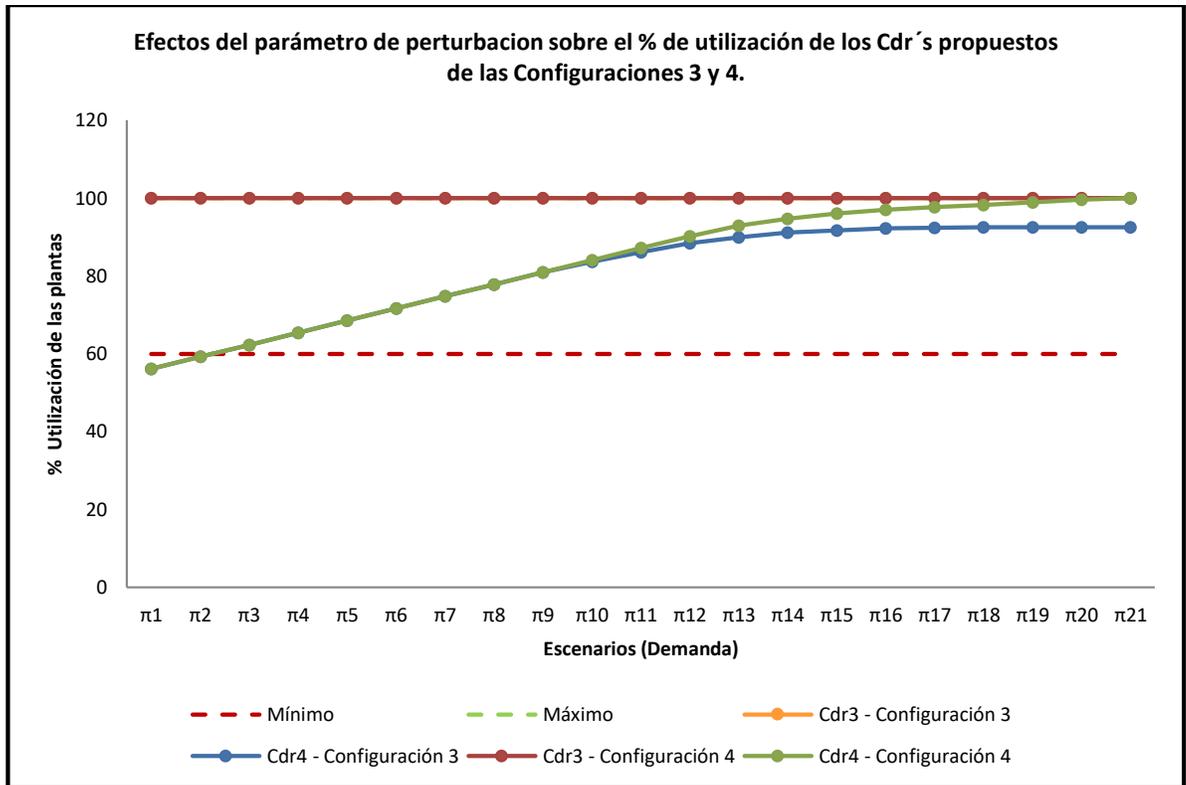
Para el análisis del efecto del parámetro de perturbación sobre la capacidad utilizada de las plantas, se procedió a analizar solo las configuraciones sobre las que se desea decidir, esto se realiza en la gráfica 43 en la cual se observa que la configuración 3 tiene un porcentaje más alto en la utilización de su plantas en comparación con la configuración 4, y aunque no comparan las mismas plantas, es decir, las plantas usadas en las dos configuraciones son diferentes, es una guía para apoyar la decisión de cual configuración puede ser más robusta.



**Gráfica 43. Efectos del parámetro de perturbación sobre % de utilización de las plantas propuestas de las Configuraciones 3 y 4.**

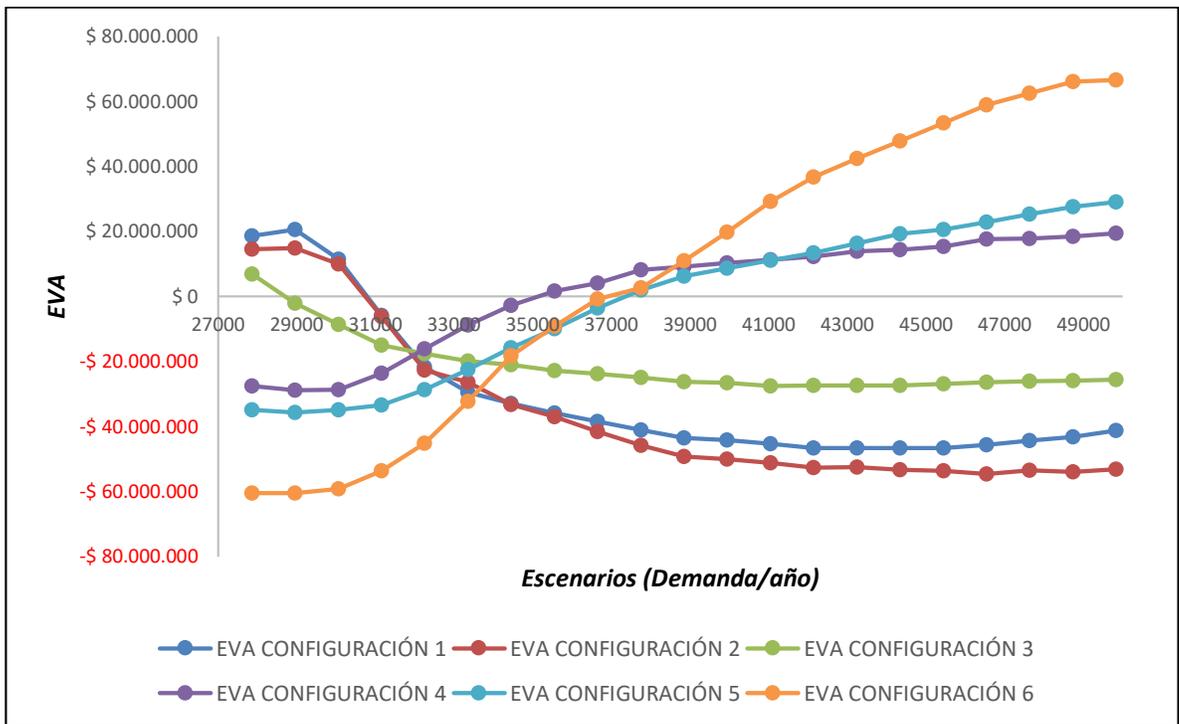
Luego se realizó el análisis del efecto del parámetro de perturbación sobre la capacidad utilizada de los centros de distribución, esto se realiza en la Gráfica 44 en la cual se observa que las configuraciones 3 y 4 utilizan los mismos centros de distribución, sin embargo, la configuración 4 tiene un porcentaje de utilización del

centro de distribución 4 mayor que la configuración 3, y la utilización del centro de distribución 3 es igual en ambas configuraciones.



**Gráfica 44. Efectos del parámetro de perturbación sobre % de utilización de los Cdr's propuestos de las Configuraciones 3 y 4.**

A raíz de los análisis realizados se llega a la conclusión de que la configuración más robusta para la cadena de suministro propuesta es la configuración 4, la cual opera con las plantas 2 y 5, los centros de distribución 3 y 4 y el centro de disposición 1. Esto debido a que de los 21 escenarios posibles de demanda (Parámetro de perturbación) en 17 escenarios la configuración 4 sobrepasa el valor mínimo del requerimiento de robustez que es la TIR, también de los 21 escenarios solo en 2 se presenta demanda satisfecha por debajo del 90% teniendo menos faltantes en comparación a la configuración 4, por último el porcentaje de utilización del centro de distribución 4 es mayor que el porcentaje de utilización del mismo centro de distribución, pero en la configuración 3.



**Gráfica 45. Efectos del parámetro de perturbación sobre el Valor Económico Agregado (EVA)**

En la Gráfica 45 se muestran los resultados de los efectos del parámetro de perturbación sobre el Valor Económico Agregado para cada una de las seis configuraciones analizadas. Se puede observar como las dos primeras configuraciones solo poseen valores positivos en los tres primeros escenarios, posteriormente, con el incremento de la demanda, sus valores económicos son negativos debido al incumplimiento de demanda. Para la configuración 3, una de las seleccionadas como mejores alternativas al analizar los efectos del parámetro de perturbación en la TIR y VPN, demuestra tener efectos negativos en 20 escenarios, a pesar de generar buenos resultados con la TIR y VPN, las ganancias netas producidas son inferiores al valor de los aportes generando Valores Económicos Agregados negativos. La configuración 4, seleccionada como la más robusta, según los criterios seleccionados, posee el 42.8% de sus escenarios con niveles de Valor Económico Agregado negativos similares a los establecidos por la configuración 5. En la configuración 6, los Valores Económicos Agregados con

demandas bajas demuestran generar pérdidas a los accionistas por debajo de las demás configuraciones analizadas, pero cuando las demandas son superiores los niveles de agregación de valor para los accionistas son muy superiores al resto de configuraciones. En promedio, las configuraciones 4 y 6 son las únicas que generan Valor Económico Agregado a los accionistas, lo cual indica que se deben tomar medidas para mantener los niveles de demanda por encima de 36000 unidades anuales con el fin de generar valor ante los aportes realizados por los accionistas.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### 5.1. CONCLUSIONES

---

Este trabajo fue motivado por el impacto de la incertidumbre económica en el estado financiero de las cadenas de suministro. Una situación financiera saludable y viable proporciona los fondos necesarios en una cadena, estas inversiones deben demostrar que posean un rendimiento financiero satisfactorio. Sin embargo, estas condiciones deseables no siempre se suceden en la práctica y los gerentes de negocios deben encontrar un equilibrio entre ellas. El modelo de diseño MINLP propuesto considera algunos factores que pueden originar riesgo financiero y que son evaluados a partir de dos índices populares, el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno, desde la perspectiva del incremento del Valor Económico Agregado EVA, manejando la incertidumbre económica, inherente a las operaciones financieras, mediante el enfoque de robustez del sistema.

El desarrollo de este proyecto demostró la posibilidad de evaluar la robustez de una cadena de suministro aplicando la metodología FePIA propuesta por (Ali, Maciejewski, Siegel, & Kim, 2004) teniendo como requerimiento de robustez indicadores financieros, los cuales hacen más fácil su interpretación y medición de un sistema, debido a que los resultados obtenidos se traducen en términos financieros por los que más se preocupa cualquier tipo de empresa que genere lucro, ya que su desempeño tiene relación directa con los ingresos recibidos.

Por otra parte se logró entender que la definición del requerimiento de robustez debe estar muy ligada al objetivo perseguido por la empresa, ya que si la empresa desea tener un porcentaje de demanda total satisfecha pero su requerimiento es de tipo financiero, se estaría persiguiendo un objetivo diferente ya que cumplir con la demanda total requiere mayor inversión y por lo tanto más costos que afectan los indicadores financieros, a su vez se afecta la robustez del sistema analizado desde este objetivo.

Además se logró evidenciar que existen indicadores financieros que pueden ser considerados como requerimiento de robustez para una cadena de suministro, lo mismo puede ocurrir con otro tipo de variables que se establezcan como requerimiento de robustez, por esta razón se considera relevante definir criterios y métodos de evaluación los cuales permitan analizar todas las posibles opciones y seleccionar un requerimiento adecuado que tenga en cuenta a las demás variables que afectan el sistema, se podría decir que la variable independiente puede ser una muy buena opción.

Como la aceptación final de un proyecto de inversión, como lo es la configuración de una cadena de suministros, es decidida principalmente por los gestores financieros, una propuesta de presupuesto de capital, empleando índices financieros pueden dejar claro a estos gestores el efecto de este proyecto sobre el desempeño financiero de las inversiones realizadas.

Con base en la información de apoyo y los estudios de diferentes autores se evidencia la importancia de que el diseño de una cadena de suministro y su formulación no solo involucra costos asociados, sino que, entre más información real, la cual se pueda cuantificar para poder evaluar los riesgos existentes, se podrá desde el diseño generar configuraciones más robustas que satisfagan los requerimientos financieros de los inversionistas y que permitan a la cadena de suministros funcionar en situaciones de incertidumbre como fluctuaciones en la demanda, entre otras, generando ventajas competitivas.

Por otra parte a través del modelo matemático planteado y de su análisis bajo diferentes escenarios se logró evidenciar la relación que tienen las decisiones en cuanto a la selección de plantas, centros de distribución, capacidades y costos, es decir, decisiones de tipo estratégico sobre el requerimiento de robustez, ya que un cambio en una de las variables descritas anteriormente puede afectar a las demás y generar costos o condiciones de operación por debajo de lo establecido por parte de los inversionistas.

Con respecto al análisis de escenarios se logró constatar que es posible evaluar el nivel de robustez de una cadena de suministro mediante la formulación en software, siendo esto una ventaja ya que se pueden comprobar múltiples opciones sin incurrir en los costos que se asumirían si no se pudiese probar las diferentes configuraciones resultantes, como se mencionaba anteriormente es posible dotar o blindar desde su diseño a las cadenas de suministro para que funcionen en situaciones fluctuantes como variaciones en la demanda, o ante riesgos que pueden afectar el funcionamiento del sistema.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

---

Para la maximización del beneficio a la hora de determinar el nivel de robustez de una cadena de suministro, es posible la selección de múltiples requerimientos de robustez de diferente tipo, por ejemplo financieros, de capacidad, entre otras variables considerables. Lo mismo ocurre con los parámetros de perturbación debido a que existen múltiples riesgos y situaciones que pueden afectar el requerimiento de robustez y el funcionamiento óptimo del sistema, entonces se considera relevante desde el diseño y análisis de escenarios de una cadena de suministro u otro sistema realizar combinaciones de requerimientos de robustez y parámetros de perturbación tratando de igualar el funcionamiento a la realidad para obtener mejores análisis. Sin embargo, cabe resaltar que existe una alta probabilidad de que entre más robusto sea el sistema mayores costos se deben asumir.

En el caso de que la formulación se realice con el fin de optimizar una cadena de suministro ya existente, se deben establecer estrategias y metodologías que ayuden a cuantificar los riesgos existentes y futuros, y a tener en cuenta riesgos asociados por ejemplo al sector de la empresa, regulaciones y restricciones por regiones, entre otros existentes para que el diseño de la cadena sea más robusto. No obstante, considerar múltiples variables aumenta la probabilidad de dotar al modelo de una

complejidad tal que no brinde soluciones óptimas debido a la naturaleza no lineal del modelo planteado en la presente investigación.

La decisión de considerar una configuración robusta no solo debe limitarse exclusivamente a seleccionar la configuración con el mejor comportamiento del requerimiento de robustez, sino que además se debe analizar el efecto del parámetro de perturbación sobre las características de operación, ya que por ejemplo en este caso se puede haber elegido una configuración con la mejor TIR, pero con uso muy bajo de plantas y centros de distribución en general recursos disponibles, entonces se estaría fallando en el análisis ya que si la cadena de suministro se encuentra en diseño aún se pueden modificar y analizar sus cambios a través de análisis de escenarios que permitan corregir esta baja utilización.

Por último, se plantean investigaciones futuras que podría enriquecer el enfoque planteado con metodologías de exposición al riesgo, como el valor en riesgo (VaR), el riesgo a la baja y las pruebas de estrés, por nombrar sólo algunas. Otros aspectos que merecen ser estudiados más a fondo podrían centrarse en modelar aspectos avanzados de la gestión financiera, tales como "venta y arrendamiento" de activos fijos y contratos a término de materias primas.

## 6. ANEXOS

### 6.1 ANEXO 1. VALORES DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO PLANTEADO

En la Tabla A.1 se muestran los parámetros del modelo de Programación No Lineal Entera Mixta desarrollado para la presente investigación.

**Tabla A.1. Parámetros del modelo de Programación No Lineal Entera Mixta**

Valores para parámetros del modelo matemático.		
Parámetro		Valores definidos:
dmin (l,t)	Demanda Mínima	Valores entre 500 y 599 Unidades
dmax (l,t)	Demanda Máxima	Valores entre 1600 y 1700 Unidades
ret (l,t)	Tasa de retorno de productos usados	Valores entre 5% y 12%
cp (j)	Capacidad de producción planta	Valores entre 1500 y 9000 Unidades
cpr (j)	Capacidad de recuperación planta	Valores entre 150 y 902 Unidades
dc (k)	Capacidad de distribución centro de distribución	Valores entre 1600 y 3600 Unidades
dcr (k)	Capacidad de acopio centro de distribución	Valores entre 290 y 580 Unidades
ce (m)	Capacidad de eliminación del centro de disposición	Valores entre 180 y 390 Unidades
inip (j)	Inversión Inicial para instalación de planta	Valores desde \$25161290 dependiendo de la capacidad
inicdr (k)	Inversión Inicial para instalación de centro de distribución	Valores desde \$13516324 dependiendo de la capacidad
inidc (m)	Inversión Inicial para instalación de centro de disposición	Valores desde \$20731527 dependiendo de la capacidad
f (j,t)	Costo fijo de operación de planta por periodo	Valores desde \$6541290 dependiendo de la capacidad y aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
g (k,t)	Costo fijo de operación de centro de distribución por periodo	Valores desde \$2791765 dependiendo de la capacidad y aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
h (m,t)	Costo fijo de operación de centro de disposición por periodo	Valores desde \$3670935 dependiendo de la capacidad y aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
a (j,k,t)	Costo de transporte por unidad desde la planta al centro de distribución por periodo	Valores desde \$1029 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
b (k,l,t)	Costo de transporte por unidad desde el centro de distribución a los mercados por periodo	Valores desde \$1040 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
c (i,j,t)	Costo de transporte por unidad desde el proveedor a las plantas por periodo	Valores desde \$1201 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
e (k,j,t)	Costo de transporte por unidad recuperada desde el centro de distribución a las plantas por periodo	Valores desde \$1206 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
o (k,m,t)	Costo de transporte por unidad desechada desde el centro de distribución a los centros de disposición por periodo	Valores desde \$1009 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
cr (l,k,t)	Costo de transporte por unidad devuelta desde los mercados hacia los centros de distribución por periodo	Valores desde \$1002 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años

alfa (j,t)	Costo de producción por unidad por planta y por periodo.	Valores desde \$9028 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
beta (k,t)	Costo de distribución por unidad por centro de distribución y por periodo.	Valores desde \$3600 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
rho (i,t)	Costo de compra de material al proveedor por periodo	Valores desde \$2042 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
eta (k,t)	Costo de recolectar producto usado en centro de distribución por periodo	Valores desde \$2015 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
gamma (m,t)	Costo de eliminar producto en centro de disposición por periodo	Valores desde \$1906 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
phi (l,t)	Costo de penalización para cada mercado por periodo	Valores desde \$51136 el cual considera el valor unitario dejado de ganar y un incremento que se encuentra entre el 5% y 10% sustentado en el costo de afectar la confianza del cliente que puede afectar las ventas.
pv (l,t)	Precio de venta por mercado y por periodo	Valores desde \$53113 que aumentará considerando el IPC del mes de Abril de 2017.
lambda (k,t)	Costo de distribución de productos recuperados en centros de distribución por periodo	Valores desde \$1101 que aumentará teniendo en cuenta el IPC de abril para los últimos 5 años
ad	Promedio de perdidas	Escalar (10%)
ir	Tasa de Interés - Calculo VPN	Escalar (21%) - Requerimiento mínimo de robustez.
vs	Valor de Salvamento	Escalar (30%)
ti	Tasa de Impuestos	Escalar (35%)
pd	Coficiente de Variación de la Demanda	Escalar (Entre 0 y 100)

## 6.2 ANEXO 2. RESULTADOS MODELO

La Tabla A. 2 muestra los resultados sobre la experimentación realizada en el modelo sobre la configuración 1.

**Tabla A.2 Resultados experimentación Configuración 1**

Demanda	F.O. EVA	Variación %	Inversion Inicial		Flujo de efectivo					Requerimientos de robustez del sistema	
			Total	FE 1	FE 2	FE 3	FE 4	FE 5	VPN Calculado	TIR	
27866	\$ 18,741,058	0	(\$ 220,000,000)	\$ 29,561,550	\$ 87,452,420	\$ 63,026,720	\$ 95,956,310	\$ 166,042,300	\$ 8,519,974	22.4%	
28965	\$ 20,563,178	5	(\$ 220,000,000)	\$ 38,701,370	\$ 88,880,260	\$ 69,151,240	\$ 93,235,370	\$ 169,566,800	\$ 20,595,419	24.5%	
30064	\$ 11,477,051	10	(\$ 220,000,000)	\$ 47,841,200	\$ 94,308,110	\$ 75,275,760	\$ 89,514,430	\$ 162,358,400	\$ 30,798,428	26.3%	
31163	(\$ 5,759,076)	15	(\$ 220,000,000)	\$ 56,981,030	\$ 95,735,960	\$ 81,400,290	\$ 84,793,490	\$ 150,792,100	\$ 36,122,722	27.4%	
32262	(\$ 21,654,378)	20	(\$ 220,000,000)	\$ 68,120,860	\$ 96,673,200	\$ 89,524,810	\$ 82,072,550	\$ 143,225,900	\$ 46,368,984	29.5%	
33361	(\$ 29,423,409)	25	(\$ 220,000,000)	\$ 76,260,680	\$ 90,606,030	\$ 98,649,340	\$ 80,351,610	\$ 132,659,600	\$ 49,226,111	30.2%	
34460	(\$ 32,811,290)	30	(\$ 220,000,000)	\$ 86,400,510	\$ 86,538,860	\$ 102,773,860	\$ 75,630,680	\$ 122,076,400	\$ 50,873,758	30.9%	
35559	(\$ 35,828,135)	35	(\$ 220,000,000)	\$ 83,730,610	\$ 82,471,700	\$ 104,477,430	\$ 72,909,740	\$ 115,203,400	\$ 42,931,747	29.4%	
36658	(\$ 38,473,943)	40	(\$ 220,000,000)	\$ 73,229,550	\$ 74,404,530	\$ 95,058,170	\$ 66,188,800	\$ 102,330,330	\$ 15,327,779	24.0%	
37758	(\$ 40,977,164)	45	(\$ 220,000,000)	\$ 56,728,480	\$ 70,337,360	\$ 84,272,910	\$ 65,417,100	\$ 93,457,280	(\$ 10,956,348)	18.8%	
38855	(\$ 43,427,987)	50	(\$ 220,000,000)	\$ 43,135,440	\$ 67,270,200	\$ 71,394,300	\$ 58,616,680	\$ 85,584,220	(\$ 37,762,668)	13.5%	
39954	(\$ 44,183,923)	55	(\$ 220,000,000)	\$ 29,424,630	\$ 62,203,030	\$ 59,515,680	\$ 57,816,260	\$ 74,711,170	(\$ 63,825,465)	8.2%	
41053	(\$ 45,345,923)	60	(\$ 220,000,000)	\$ 17,713,820	\$ 54,091,460	\$ 48,637,070	\$ 53,015,830	\$ 62,838,110	(\$ 92,001,839)	2.1%	
42152	(\$ 46,600,558)	65	(\$ 220,000,000)	\$ 3,003,006	\$ 51,935,160	\$ 38,758,450	\$ 48,215,410	\$ 52,965,060	(\$ 117,254,461)	-3.4%	
43251	(\$ 46,556,813)	70	(\$ 220,000,000)	(\$ 11,879,000)	\$ 45,778,860	\$ 26,879,830	\$ 43,414,990	\$ 45,080,270	(\$ 145,743,006)	-9.7%	
44350	(\$ 46,605,704)	75	(\$ 220,000,000)	(\$ 23,998,900)	\$ 38,622,560	\$ 15,986,710	\$ 41,614,560	\$ 33,194,980	(\$ 172,218,391)	-16.4%	
45449	(\$ 46,647,150)	80	(\$ 220,000,000)	(\$ 39,118,700)	\$ 33,466,260	\$ 8,084,332	\$ 37,814,140	\$ 26,309,680	(\$ 197,124,108)	-22.4%	
46548	(\$ 45,590,376)	85	(\$ 220,000,000)	(\$ 43,304,600)	\$ 20,287,040	\$ 22,440	\$ 16,535,110	\$ 8,019,052	(\$ 231,114,495)	-40.3%	
47647	(\$ 44,335,569)	90	(\$ 220,000,000)	(\$ 67,358,400)	\$ 23,153,660	(\$ 13,720,400)	\$ 31,213,290	\$ 5,539,091	(\$ 250,901,856)	-41.0%	
48746	(\$ 43,090,902)	95	(\$ 220,000,000)	(\$ 80,478,300)	\$ 19,997,350	(\$ 24,622,800)	\$ 24,412,870	(\$ 5,346,200)	(\$ 277,423,869)	-	
49844	(\$ 41,286,422)	100	(\$ 220,000,000)	(\$ 95,605,300)	\$ 14,841,053	(\$ 37,525,200)	\$ 23,612,440	(\$ 15,231,500)	(\$ 304,915,028)	-	

La Tabla A.3 muestra los resultados sobre la experimentación realizada en el modelo sobre la configuración 2.

**Tabla A.3 Resultados experimentación Configuración 2**

Demanda	F.O. EVA	Variación %	Inversion Inicial		Flujo de efectivo					Requerimientos de robustez del sistema	
			Total	FE 1	FE 2	FE 3	FE 4	FE 5	VPN Calculado	TIR	
27866	\$ 14,542,185	0	(\$ 220,000,000)	\$ 29,314,750	\$ 86,359,400	\$ 59,957,580	\$ 119,446,700	\$ 166,662,700	\$ 17,034,642	23.8%	
28965	\$ 14,956,206	5	(\$ 220,000,000)	\$ 39,519,820	\$ 87,795,920	\$ 65,059,600	\$ 122,006,900	\$ 172,163,800	\$ 32,644,968	26.3%	
30064	\$ 10,067,318	10	(\$ 220,000,000)	\$ 46,724,900	\$ 91,232,450	\$ 73,161,620	\$ 123,567,100	\$ 178,664,800	\$ 48,754,417	29.0%	
31163	(\$ 6,085,143)	15	(\$ 220,000,000)	\$ 57,922,110	\$ 95,668,970	\$ 81,263,640	\$ 124,267,300	\$ 187,165,900	\$ 69,216,082	32.4%	
32262	(\$ 21,654,378)	20	(\$ 220,000,000)	\$ 67,114,780	\$ 99,105,500	\$ 86,365,660	\$ 121,425,200	\$ 191,666,900	\$ 82,449,953	34.7%	
33361	(\$ 26,420,944)	25	(\$ 220,000,000)	\$ 76,307,440	\$ 102,542,020	\$ 95,467,690	\$ 118,583,000	\$ 184,401,800	\$ 93,405,323	36.8%	
34460	(\$ 33,129,024)	30	(\$ 220,000,000)	\$ 85,500,110	\$ 104,978,550	\$ 101,569,710	\$ 114,740,900	\$ 173,576,700	\$ 100,145,272	38.5%	
35559	(\$ 37,029,184)	35	(\$ 220,000,000)	\$ 93,692,780	\$ 110,415,100	\$ 109,671,730	\$ 110,898,800	\$ 164,751,600	\$ 110,007,863	40.7%	
36658	(\$ 41,471,296)	40	(\$ 220,000,000)	\$ 103,885,440	\$ 109,736,600	\$ 114,773,700	\$ 107,056,630	\$ 154,926,500	\$ 115,267,652	42.2%	
37758	(\$ 45,707,696)	45	(\$ 220,000,000)	\$ 93,859,890	\$ 104,462,410	\$ 112,082,800	\$ 101,214,500	\$ 145,101,400	\$ 95,347,390	38.6%	
38855	(\$ 49,191,073)	50	(\$ 220,000,000)	\$ 77,820,410	\$ 99,188,220	\$ 102,307,990	\$ 97,372,370	\$ 135,267,100	\$ 67,387,722	33.4%	
39954	(\$ 49,995,962)	55	(\$ 220,000,000)	\$ 65,780,930	\$ 92,914,030	\$ 91,533,160	\$ 95,530,240	\$ 124,432,700	\$ 42,033,775	28.7%	
41053	(\$ 51,109,999)	60	(\$ 220,000,000)	\$ 51,624,110	\$ 88,639,850	\$ 80,758,330	\$ 89,688,110	\$ 113,598,300	\$ 14,429,963	23.7%	
42152	(\$ 52,622,407)	65	(\$ 220,000,000)	\$ 35,430,060	\$ 82,365,660	\$ 68,966,370	\$ 85,845,980	\$ 103,763,880	(\$ 15,479,136)	18.1%	
43251	(\$ 52,542,519)	70	(\$ 220,000,000)	\$ 22,236,010	\$ 76,091,470	\$ 58,104,190	\$ 83,003,840	\$ 95,929,490	(\$ 41,146,459)	13.4%	
44350	(\$ 53,298,079)	75	(\$ 220,000,000)	\$ 9,041,956	\$ 70,817,280	\$ 48,242,010	\$ 78,161,710	\$ 86,095,100	(\$ 67,270,394)	8.5%	
45449	(\$ 53,585,710)	80	(\$ 220,000,000)	(\$ 6,154,000)	\$ 65,543,090	\$ 36,379,830	\$ 74,319,580	\$ 76,260,710	(\$ 95,711,235)	3.1%	
46548	(\$ 54,572,976)	85	(\$ 220,000,000)	(\$ 20,354,900)	\$ 61,245,800	\$ 24,517,650	\$ 70,469,690	\$ 65,388,310	(\$ 123,066,297)	-2.3%	
47647	(\$ 53,423,294)	90	(\$ 220,000,000)	(\$ 35,555,900)	\$ 55,945,040	\$ 13,655,473	\$ 67,619,110	\$ 56,492,990	(\$ 150,140,361)	-7.5%	
48746	(\$ 54,005,394)	95	(\$ 220,000,000)	(\$ 47,756,900)	\$ 50,644,280	\$ 3,780,910	\$ 62,768,530	\$ 44,597,670	(\$ 176,267,248)	-13.3%	
49844	(\$ 53,127,271)	100	(\$ 220,000,000)	(\$ 61,957,900)	\$ 44,343,510	(\$ 7,138,300)	\$ 59,917,950	\$ 35,702,360	(\$ 203,230,075)	-19.1%	

La Tabla A.4 muestra los resultados sobre la experimentación realizada en el modelo sobre la configuración 3.

**Tabla A.4 Resultados experimentación Configuración 3**

Demanda	F.O. EVA	Variación	Inversión Inicial	Flujo de efectivo					Requerimientos de robustez del sistema	
		%	Total	FE1	FE2	FE3	FE4	FE5	VPN Calculado	TIR
27866	\$ 6,918,260	0	(\$ 220,000,000)	\$ 22,811,610	\$ 79,349,360	\$ 55,370,050	\$ 115,357,000	\$ 168,443,300	\$ 3,061,276	21.5%
28965	(\$ 2,052,851)	5	(\$ 220,000,000)	\$ 33,951,870	\$ 83,777,220	\$ 60,495,140	\$ 117,924,600	\$ 173,968,200	\$ 21,513,263	24.5%
30064	(\$ 8,508,952)	10	(\$ 220,000,000)	\$ 43,092,140	\$ 88,205,080	\$ 68,620,240	\$ 119,492,300	\$ 182,493,000	\$ 40,695,923	27.6%
31163	(\$ 14,874,186)	15	(\$ 220,000,000)	\$ 51,232,400	\$ 89,632,940	\$ 76,745,330	\$ 121,059,900	\$ 187,017,800	\$ 55,460,863	30.0%
32262	(\$ 17,585,267)	20	(\$ 220,000,000)	\$ 61,372,670	\$ 95,060,800	\$ 82,870,230	\$ 123,627,500	\$ 193,542,600	\$ 74,719,297	33.2%
33361	(\$ 19,782,084)	25	(\$ 220,000,000)	\$ 68,512,750	\$ 98,488,660	\$ 88,994,910	\$ 126,195,100	\$ 202,067,400	\$ 90,903,170	35.9%
34460	(\$ 20,964,637)	30	(\$ 220,000,000)	\$ 77,652,720	\$ 100,916,520	\$ 97,119,590	\$ 129,762,700	\$ 206,592,300	\$ 108,110,151	38.7%
35559	(\$ 22,832,926)	35	(\$ 220,000,000)	\$ 88,792,690	\$ 104,344,380	\$ 103,244,270	\$ 132,330,300	\$ 215,117,100	\$ 127,599,719	42.0%
36658	(\$ 23,786,951)	40	(\$ 220,000,000)	\$ 97,932,660	\$ 106,772,240	\$ 110,368,950	\$ 135,897,900	\$ 220,641,900	\$ 144,627,731	44.9%
37758	(\$ 24,927,652)	45	(\$ 220,000,000)	\$ 106,072,630	\$ 110,200,100	\$ 119,493,600	\$ 137,465,500	\$ 215,354,600	\$ 157,539,695	47.4%
38855	(\$ 26,251,466)	50	(\$ 220,000,000)	\$ 115,212,600	\$ 113,628,000	\$ 125,618,300	\$ 140,033,100	\$ 204,788,700	\$ 168,016,117	49.8%
39954	(\$ 26,562,894)	55	(\$ 220,000,000)	\$ 122,076,600	\$ 118,055,800	\$ 132,741,700	\$ 141,600,700	\$ 196,222,800	\$ 178,162,836	52.0%
41053	(\$ 27,460,059)	60	(\$ 220,000,000)	\$ 107,575,680	\$ 122,483,700	\$ 139,864,400	\$ 146,168,300	\$ 186,656,900	\$ 171,666,249	50.3%
42152	(\$ 27,342,959)	65	(\$ 220,000,000)	\$ 94,074,750	\$ 125,911,500	\$ 143,463,900	\$ 148,735,900	\$ 178,091,000	\$ 162,776,792	48.4%
43251	(\$ 27,411,596)	70	(\$ 220,000,000)	\$ 80,573,830	\$ 128,339,400	\$ 132,044,400	\$ 149,527,600	\$ 166,525,200	\$ 142,741,503	44.9%
44350	(\$ 27,265,969)	75	(\$ 220,000,000)	\$ 66,969,870	\$ 130,767,300	\$ 121,406,000	\$ 144,806,700	\$ 156,735,400	\$ 121,181,963	41.3%
45449	(\$ 26,906,078)	80	(\$ 220,000,000)	\$ 54,258,360	\$ 131,776,400	\$ 109,527,490	\$ 142,085,900	\$ 147,880,700	\$ 99,970,619	37.8%
46548	(\$ 26,331,923)	85	(\$ 220,000,000)	\$ 39,546,850	\$ 125,709,200	\$ 98,649,030	\$ 138,365,000	\$ 139,008,100	\$ 72,371,162	33.1%
47647	(\$ 26,043,505)	90	(\$ 220,000,000)	\$ 25,835,340	\$ 121,642,100	\$ 87,770,580	\$ 134,644,100	\$ 127,135,200	\$ 45,807,505	28.7%
48746	(\$ 25,940,822)	95	(\$ 220,000,000)	\$ 11,123,832	\$ 116,574,900	\$ 77,892,120	\$ 130,923,300	\$ 117,262,200	\$ 19,069,886	24.2%
49844	(\$ 25,525,080)	100	(\$ 220,000,000)	(\$ 1,775,400)	\$ 111,507,780	\$ 68,013,660	\$ 125,202,400	\$ 109,389,130	(\$ 6,331,932)	19.9%

La Tabla A.5 muestra los resultados sobre la experimentación realizada en el modelo sobre la configuración 4.

**Tabla A.5 Resultados experimentación Configuración 4**

Demanda	F.O. EVA	Variación	Inversión Inicial	Flujo de efectivo					Requerimientos de robustez del sistema	
		%	Total	FE1	FE2	FE3	FE4	FE5	VPN Calculado	TIR
27866	(\$ 27,578,112)	0	(\$ 220,000,000)	\$ 19,213,506	\$ 74,593,510	\$ 49,679,670	\$ 108,443,360	\$ 168,033,300	(\$ 9,756,081)	19.4%
28965	(\$ 28,787,689)	5	(\$ 220,000,000)	\$ 27,353,770	\$ 78,021,370	\$ 55,804,760	\$ 112,005,200	\$ 174,558,100	\$ 6,947,356	22.1%
30064	(\$ 28,589,432)	10	(\$ 220,000,000)	\$ 36,494,030	\$ 81,449,230	\$ 63,929,860	\$ 114,567,000	\$ 181,061,800	\$ 25,131,528	25.1%
31163	(\$ 23,563,174)	15	(\$ 220,000,000)	\$ 45,634,300	\$ 85,877,090	\$ 70,054,950	\$ 116,128,900	\$ 186,564,900	\$ 42,017,533	27.8%
32262	(\$ 16,006,754)	20	(\$ 220,000,000)	\$ 54,774,560	\$ 89,304,940	\$ 78,179,850	\$ 119,690,700	\$ 193,068,100	\$ 60,667,899	30.9%
33361	(\$ 8,778,315)	25	(\$ 220,000,000)	\$ 63,914,640	\$ 91,732,800	\$ 84,304,530	\$ 122,252,600	\$ 199,571,200	\$ 77,039,540	33.6%
34460	(\$ 2,714,405)	30	(\$ 220,000,000)	\$ 74,054,610	\$ 96,160,660	\$ 91,429,210	\$ 124,814,400	\$ 207,074,400	\$ 96,553,571	36.8%
35559	\$ 1,634,022	35	(\$ 220,000,000)	\$ 82,194,580	\$ 98,588,520	\$ 99,546,400	\$ 127,376,200	\$ 213,577,500	\$ 113,223,348	39.6%
36658	\$ 4,236,687	40	(\$ 220,000,000)	\$ 91,334,550	\$ 103,016,380	\$ 105,653,370	\$ 129,938,100	\$ 219,080,700	\$ 130,565,422	42.5%
37758	\$ 8,268,370	45	(\$ 220,000,000)	\$ 101,474,520	\$ 105,444,240	\$ 113,760,330	\$ 132,499,900	\$ 225,583,500	\$ 148,882,201	45.7%
38855	\$ 9,281,407	50	(\$ 220,000,000)	\$ 109,614,490	\$ 108,872,100	\$ 120,867,300	\$ 135,061,800	\$ 232,085,100	\$ 165,664,216	48.5%
39954	\$ 10,293,511	55	(\$ 220,000,000)	\$ 119,754,500	\$ 113,299,960	\$ 126,972,400	\$ 137,623,600	\$ 238,586,800	\$ 184,216,633	51.8%
41053	\$ 11,288,627	60	(\$ 220,000,000)	\$ 127,894,400	\$ 115,727,800	\$ 135,076,700	\$ 140,185,500	\$ 233,917,300	\$ 196,571,587	54.2%
42152	\$ 12,339,822	65	(\$ 220,000,000)	\$ 123,228,500	\$ 119,155,700	\$ 141,181,000	\$ 142,747,300	\$ 223,092,600	\$ 195,524,200	54.0%
43251	\$ 13,972,173	70	(\$ 220,000,000)	\$ 109,188,790	\$ 123,583,500	\$ 149,285,200	\$ 145,309,100	\$ 213,267,800	\$ 188,927,203	52.4%
44350	\$ 14,397,403	75	(\$ 220,000,000)	\$ 95,149,050	\$ 127,011,400	\$ 144,260,700	\$ 146,870,800	\$ 203,443,000	\$ 173,769,874	49.6%
45449	\$ 15,446,098	80	(\$ 220,000,000)	\$ 80,109,130	\$ 130,439,300	\$ 134,485,500	\$ 150,431,300	\$ 193,618,300	\$ 156,036,796	46.4%
46548	\$ 17,664,744	85	(\$ 220,000,000)	\$ 65,933,740	\$ 132,867,100	\$ 123,710,200	\$ 152,991,700	\$ 184,793,500	\$ 137,689,545	43.2%
47647	\$ 17,939,495	90	(\$ 220,000,000)	\$ 51,738,030	\$ 137,294,400	\$ 111,934,910	\$ 154,552,100	\$ 173,961,000	\$ 118,886,155	40.1%
48746	\$ 18,524,175	95	(\$ 220,000,000)	\$ 37,542,330	\$ 140,720,900	\$ 101,159,630	\$ 158,112,500	\$ 164,126,600	\$ 101,281,518	37.1%
49844	\$ 19,531,713	100	(\$ 220,000,000)	\$ 24,346,620	\$ 137,065,400	\$ 90,354,160	\$ 160,673,000	\$ 155,292,200	\$ 79,568,260	33.6%

La Tabla A.6 muestra los resultados sobre la experimentación realizada en el modelo sobre la configuración 5.

**Tabla A.6 Resultados experimentación Configuración 5**

Demanda	F.O. EVA	Variación	Inversion Inicial	Flujo de efectivo					Requerimientos de robustez del sistema	
		%	Total	FE 1	FE 2	FE 3	FE 4	FE 5	VPN Calculado	TIR
27866	(\$ 34,875,208)	0	(\$ 220,000,000)	\$ 28,466,473	\$ 68,859,064	\$ 42,972,326	\$ 84,750,230	\$ 149,941,400	(\$ 27,840,056)	16.2%
28965	(\$ 35,695,231)	5	(\$ 220,000,000)	\$ 30,210,896	\$ 71,675,938	\$ 49,562,922	\$ 87,318,390	\$ 156,475,400	(\$ 17,036,996)	18.1%
30064	(\$ 34,783,105)	10	(\$ 220,000,000)	\$ 32,265,564	\$ 74,905,945	\$ 56,150,995	\$ 89,886,540	\$ 163,009,400	(\$ 5,696,789)	20.0%
31163	(\$ 33,319,860)	15	(\$ 220,000,000)	\$ 40,032,561	\$ 78,314,659	\$ 65,214,589	\$ 92,454,700	\$ 169,543,400	\$ 11,883,782	23.0%
32262	(\$ 28,656,650)	20	(\$ 220,000,000)	\$ 49,992,395	\$ 82,071,068	\$ 71,100,458	\$ 95,022,860	\$ 176,077,500	\$ 29,720,392	26.0%
33361	(\$ 22,369,647)	25	(\$ 220,000,000)	\$ 58,944,330	\$ 85,716,383	\$ 78,820,551	\$ 97,591,010	\$ 182,607,600	\$ 47,681,973	29.1%
34460	(\$ 15,761,782)	30	(\$ 220,000,000)	\$ 68,909,121	\$ 88,800,835	\$ 85,845,080	\$ 100,159,200	\$ 189,137,600	\$ 65,704,900	32.1%
35559	(\$ 9,942,875)	35	(\$ 220,000,000)	\$ 77,427,624	\$ 92,124,562	\$ 92,357,413	\$ 102,727,300	\$ 195,667,600	\$ 82,406,813	35.0%
36658	(\$ 3,586,761)	40	(\$ 220,000,000)	\$ 86,276,777	\$ 97,162,618	\$ 100,289,452	\$ 105,295,500	\$ 202,197,600	\$ 101,354,334	38.3%
37758	\$ 2,024,959	45	(\$ 220,000,000)	\$ 96,618,194	\$ 99,128,732	\$ 107,917,376	\$ 107,863,600	\$ 208,727,600	\$ 119,265,241	41.4%
38855	\$ 6,319,280	50	(\$ 220,000,000)	\$ 103,923,771	\$ 103,423,155	\$ 113,436,686	\$ 110,431,800	\$ 215,253,900	\$ 135,065,819	44.1%
39954	\$ 8,693,813	55	(\$ 220,000,000)	\$ 115,348,067	\$ 106,042,424	\$ 120,701,290	\$ 113,000,000	\$ 221,779,900	\$ 154,111,201	45.1%
41053	\$ 11,159,902	60	(\$ 220,000,000)	\$ 116,961,728	\$ 106,283,840	\$ 123,485,034	\$ 115,568,100	\$ 228,305,900	\$ 160,895,140	44.3%
42152	\$ 13,534,216	65	(\$ 220,000,000)	\$ 120,284,594	\$ 105,021,568	\$ 125,064,993	\$ 131,829,371	\$ 216,359,873	\$ 166,651,299	42.8%
43251	\$ 16,408,262	70	(\$ 220,000,000)	\$ 126,534,397	\$ 102,234,233	\$ 128,968,913	\$ 120,704,400	\$ 241,357,900	\$ 176,564,240	40.1%
44350	\$ 19,333,589	75	(\$ 220,000,000)	\$ 116,616,214	\$ 94,554,973	\$ 135,971,940	\$ 123,272,600	\$ 247,883,900	\$ 170,789,522	37.8%
45449	\$ 20,638,536	80	(\$ 220,000,000)	\$ 89,741,036	\$ 90,558,679	\$ 160,590,136	\$ 125,840,700	\$ 246,517,900	\$ 160,416,824	35.7%
46548	\$ 22,994,435	85	(\$ 220,000,000)	\$ 78,838,463	\$ 89,359,533	\$ 132,347,558	\$ 128,408,900	\$ 236,952,100	\$ 132,155,256	33.4%
47647	\$ 25,322,506	90	(\$ 220,000,000)	\$ 68,287,799	\$ 80,543,148	\$ 130,709,193	\$ 130,977,100	\$ 198,386,300	\$ 102,818,474	30.8%
48746	\$ 27,716,984	95	(\$ 220,000,000)	\$ 78,304,863	\$ 79,458,681	\$ 110,477,288	\$ 108,545,200	\$ 165,820,400	\$ 75,915,739	28.5%
49844	\$ 29,083,779	100	(\$ 220,000,000)	\$ 78,414,280	\$ 80,489,865	\$ 96,256,179	\$ 100,113,400	\$ 140,254,600	\$ 54,892,814	26.2%

La Tabla A.7 muestra los resultados sobre la experimentación realizada en el modelo sobre la configuración 6.

**Tabla A.7 Resultados experimentación Configuración 7**

Demanda	F.O. EVA	Variación	Inversion Inicial	Flujo de efectivo					Requerimientos de robustez del sistema	
		%	Total	FE 1	FE 2	FE 3	FE 4	FE 5	VPN	TIR
27866	(\$ 50,407,643)	0	(\$ 220,000,000)	\$ 793,522	\$ 56,688,962	\$ 29,644,084	\$ 88,742,799	\$ 159,281,729	(\$ 61,082,388)	11.2%
28965	(\$ 50,534,218)	5	(\$ 220,000,000)	\$ 10,012,261	\$ 60,159,749	\$ 37,727,360	\$ 91,424,446	\$ 165,535,093	(\$ 42,868,252)	14.1%
30064	(\$ 49,090,767)	10	(\$ 220,000,000)	\$ 19,178,748	\$ 63,645,179	\$ 44,735,692	\$ 94,546,375	\$ 172,146,293	(\$ 24,950,720)	17.0%
31163	(\$ 43,601,131)	15	(\$ 220,000,000)	\$ 28,213,174	\$ 66,995,862	\$ 51,499,257	\$ 96,524,183	\$ 179,349,058	(\$ 7,678,195)	19.8%
32262	(\$ 38,124,722)	20	(\$ 220,000,000)	\$ 37,127,574	\$ 70,175,292	\$ 58,681,373	\$ 99,839,353	\$ 185,247,907	\$ 9,735,602	22.6%
33361	(\$ 29,156,569)	25	(\$ 220,000,000)	\$ 46,575,040	\$ 74,248,109	\$ 64,934,733	\$ 102,926,923	\$ 192,638,100	\$ 28,144,686	25.6%
34460	(\$ 18,248,116)	30	(\$ 220,000,000)	\$ 55,136,325	\$ 77,446,696	\$ 73,201,990	\$ 105,363,171	\$ 199,400,115	\$ 45,815,034	28.5%
35559	(\$ 9,038,685)	35	(\$ 220,000,000)	\$ 64,388,752	\$ 80,331,280	\$ 80,653,883	\$ 108,243,794	\$ 204,647,867	\$ 63,005,345	31.3%
36658	(\$ 801,590)	40	(\$ 220,000,000)	\$ 74,043,639	\$ 83,088,769	\$ 87,727,914	\$ 109,353,036	\$ 211,184,062	\$ 79,898,554	34.2%
37758	\$ 12,643,188	45	(\$ 220,000,000)	\$ 82,182,289	\$ 87,560,206	\$ 93,737,262	\$ 113,158,183	\$ 218,912,498	\$ 97,825,659	37.1%
38855	\$ 21,021,221	50	(\$ 220,000,000)	\$ 92,757,118	\$ 90,060,701	\$ 101,224,016	\$ 114,977,394	\$ 224,434,221	\$ 115,476,675	40.2%
39954	\$ 29,749,147	55	(\$ 220,000,000)	\$ 100,167,120	\$ 94,825,161	\$ 107,714,521	\$ 116,852,931	\$ 231,963,678	\$ 132,296,438	43.0%
41053	\$ 38,280,307	60	(\$ 220,000,000)	\$ 109,343,483	\$ 96,854,018	\$ 116,391,875	\$ 121,101,514	\$ 238,617,246	\$ 150,711,319	46.1%
42152	\$ 46,857,730	65	(\$ 220,000,000)	\$ 113,537,939	\$ 100,436,036	\$ 123,178,096	\$ 122,032,414	\$ 243,354,422	\$ 162,715,681	48.1%
43251	\$ 55,429,815	70	(\$ 220,000,000)	\$ 113,549,700	\$ 103,437,910	\$ 118,692,200	\$ 114,380,900	\$ 239,807,600	\$ 157,306,609	47.5%
44350	\$ 63,946,263	75	(\$ 220,000,000)	\$ 108,689,200	\$ 96,866,640	\$ 125,798,400	\$ 116,943,500	\$ 246,314,000	\$ 156,516,636	44.6%
45449	\$ 72,469,273	80	(\$ 220,000,000)	\$ 102,828,700	\$ 97,294,700	\$ 112,904,500	\$ 119,506,100	\$ 252,820,300	\$ 148,391,280	42.7%
46548	\$ 81,014,684	85	(\$ 220,000,000)	\$ 92,968,300	\$ 93,722,800	\$ 120,010,400	\$ 122,068,700	\$ 208,326,700	\$ 125,854,892	39.6%
47647	\$ 89,520,815	90	(\$ 220,000,000)	\$ 85,491,800	\$ 80,150,600	\$ 111,116,100	\$ 126,631,300	\$ 170,833,000	\$ 93,058,413	36.4%
48746	\$ 98,093,402	95	(\$ 220,000,000)	\$ 66,990,800	\$ 78,578,000	\$ 124,221,800	\$ 135,193,800	\$ 124,339,400	\$ 70,161,223	32.3%
49844	#####	100	(\$ 220,000,000)	\$ 58,489,700	\$ 80,005,400	\$ 120,327,500	\$ 119,756,400	\$ 106,885,600	\$ 47,981,367	29.6%

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Acosta, M. C., & Verbeke, G. (2008). La cooperación entre empresas cooperativas como una estrategia de desarrollo de redes asociativas. *Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina*, 25.
- Aghazadeh, S. M. (2003). How to choose an effective third party logistics provider. *Manag.Res. News*, 26(7), 50-58.
- Aguezoul, A. (2014). Third-party logistics selection problem. *Omega*, 49, 69-78.
- Akkermans, H. (2001). Renga: a systems approach to facilitating inter-organizational network development. *System Dynamics Review (Wiley)*, 17(3), 179-193.
- Ali, S., Maciejewski, A., Siegel, H., & Kim, J.-K. (2004). *Measuring the robustness of a resource allocation*. Recuperado el 30 de Julio de 2016, de IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 15(7), 630–641.: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1302103/>
- Alireza, S., & Alagheband, S. (2011). 5-Logistics Parties. En *Logistics Operations and Management* (págs. 71-91). London: Elsevier.
- Alkhatib, S., Darlington, R., & Nguyen, T. (2015). Logistics Service Providers (LSPs) evaluation and selection. *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 8(1), 102-134.
- Alkhatib, S., Darlington, R., & Nguyen, T. (2015). Logistics Service Providers (LSPs) evaluation and selection: Literature review and framework development. *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 8(1), 102-134.
- Álvarez, Y. (2007). Análisis dinámico de la cadena de franquicia. *Revista Dinámica de Sistemas*, 3(1).
- Andersson, D., & Norrman, A. (2002). Procurement of logistics services—a minutes work or a multi-year project? *Journal Of Purchasing & Supply Management*, 8(1), 3-14.

- Angerhofer, B., & Angelides, M. (2006). A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. *Decision Support Systems*, 42(1), 283-301.
- Angerhofer, B., & Angelides, M.-C. (2006). A model and a performance measurement system for collaborative supply chains. *Decision Support Systems*, 42, 283–301.
- Azaron, A., Brown, K. N., Tarim, S. A., & Modarres, M. (2008). A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk. *International Journal of Production Economics*, 116(1), 129–138. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.08.002>
- Bandaly, D., Shanker, L., Kahyaoglu, Y., & Satir, A. (2013). Supply chain risk management – II: A review of operational, financial and integrated approaches. *Risk Management*, 15(1), 1–31. <http://doi.org/10.1057/rm.2012.8>
- Badell, M., Romero, J., Huertas, R., & Puigjaner, L. (2004). Planning, scheduling and budgeting value-added chains. *Computers and Chemical Engineering*, 28(1-2), 45-61.
- Bakaikoa, B., & Begiristain, A. (2004). Redes e Innovación cooperativa. *Revista de Economía Pública*, 33.
- Bask, A. (2001). Relationships among TPL providers and members of supply chains – a strategic perspective. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 16(6), 470-486.
- Bask, A. (2001). Relationships among TPL providers and members of supply chains – a strategic perspective. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 16(6), 470-486.
- Bertel, S., Fenies, P., & Roux, O. (2008). Optimal cash flow and operational planning in a company supply chain. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(4), 440-454.

- Bhatnagar, R., Sohal, A., & Millen, R. (1999). Third party logistics services: a Singapore perspective. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 29(9), 567-587.
- Blagojević, M., Šelmić, M., Macura, D., & Šarac, D. (2013). Determining the number of postal units in the network – Fuzzy approach, Serbia case study. *Expert Systems with Applications*, 40, 4090–4095.
- Bogataj, D., Aver, B., & Bogataj, M. (2015). Supply chain risk at simultaneous robust perturbations. *International Journal of Production Economics*. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.09.009>
- Bottani, E., & Rizzi, A. (2006). A fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services. *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(4), 294-308.
- Bourlakis, C., & Bourlakis, M. (2005). Information technology safeguards, logistics asset specificity and fourth-party logistics network creation in the food retail chain. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 20(2), 88-98.
- Bradach, J. (1998). *Franchise Organizations*. United States of America: Harvard Business School Press.
- Brusset, X., & Teller, C. (2016). Supply Chain Capabilities, Risks, and Resilience. *International Journal of Production Economics*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.008>
- Büyüközkan, G., Feyzioglu, O., & Nebol, E. (2008). Selection of the strategic alliance partner in logistics value chain. *International Journal of Production Economics*, 113, 148–158.
- Cao, M., & Zhang, Q. (2011). Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance. *Journal of Operations Management*, 29(3), 163-180.

- Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoa, A. P., & Relvas, S. (2015). Integrating Financial Risk Measures into the Design and Planning of Closed-loop Supply Chains. *Computers & Chemical Engineering*. <http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.10.012>
- Cassivi, L. (2006). Collaboration planning in a supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(3), 249 - 258.
- Çetiner, S., Sepil, C., & Süral, H. (2010). Hubbing and routing in postal delivery systems. *Ann Oper Res*, 181, 109–124.
- Cezanne, C., & Saglietto, L. (2015). Redefining the boundaries of the firm: the role of 4PLs. *The International Journal of Logistics Management*, 26(1), 30-41.
- Chan, F., Chan, H., Law, H., & Ip, R. (2006). An AHP approach in benchmarking logistics performance of the postal industry. *Benchmarking: An International Journal*, 13(6), 636-661.
- Changa, W., Ellingerb, A., Kimb, K., & Franke, G. (2016). Supply chain integration and firm financial performance: A meta-analysis of positional advantage mediation and moderating factors. *European Management Journal*, 34(3), 282–295.
- Chen, T., & Chen, J. (2005). Optimizing supply chain collaboration based on joint replenishment and channel coordination. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41, 261–285.
- Cheong, M. (2005). *New Models in Logistics Network Design and Implications for 3PL Companies*. Singapore.
- Chester, K. (2016). Collaboration modes, preconditions, and contingencies in organizational alliance: A comparative assessment. *Journal of Business Research*, 69(11), 4737–4743.

- Cho , J., Ozment , J., & Sink , H. (2008). Logistics capability, logistics outsourcing and firm performance in an e-commerce market. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 336 - 359.
- Choy, K., Chow, H., Tan, K., Chan, C., Mok, E., & Wang, Q. (2008). Leveraging the supply chain flexibility of third party logistics – Hybrid knowledge-based system approach. *Expert Systems with Applications*, 35, 1998–2016.
- Clavijo, S. (2010). Evolución del Costo de Capital en Colombia. *Enfoque - Mercado de Capitales*, 1-3.
- Comelli, M. F. (2007). A combined financial and physical flows evaluation for logistic process and tactical production planning: Application in a company supply chain. *International Journal of production economics*, 77-95.
- Comelli, M., Fenies, P., & Tcherneva, N. (2008). A combined financial and physical flows evaluation for logistic process and tactical production planning: application in a company supply chain. *International Journal of Production Economics*, 112(1), 77-95.
- Comisión de regulación de Comunicaciones. (2010). *Análisis preliminar del mercado postal en Colombia*.
- Congreso de Colombia. (Diciembre de 2009). Ley 1369 de 2009.
- Craig, T. (28 de 05 de 2016). *Outsourcing – 3PL versus 4PL*. Obtenido de Eye for transport: <http://www.eft.com/>
- CRC. (2010). *Análisis preliminar del mercado postal en Colombia*. Bogotá.
- Crespo Márquez, A. B. (2004). Operational and financial effectiveness of e-collaboration tools in supply chain integration. *European Journal Of Research*, 348-363.
- Cui, Y., Huang, M., Yang, S., Lee, L., & Wang, X. (2013). Fourth party logistics routing problem model with fuzzy duration time and cost discount. *Knowledge-Based Systems*, 50, 14-24.

- Danese, P. (2007). Designing CPFR collaborations: insights from seven case studies. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(2), 181 - 204.
- Dapiran, P., Lieb, R., Millen, R., & Soha, A. (1996). Third party logistics services usage by large Australian firms. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 26(10), 36-45.
- de Leeuw, S., & Fransoo, J. (2009). Drivers of close supply chain collaboration: one size fits all? *International Journal of Operations & Production Management*, 29(7), 720-739.
- Dietl, H., & Trinkner, U. (Noviembre de 2008). Developing Universal Services in Low Volume Countries - an Economic Perspective. *swiss economics*, 337 - 406.
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S., & Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283.
- Dyer, J. (2000). *Collaborative Advantage: Winning through Extended Enterprise Supplier Networks*. New York: Oxford University Press.
- Efendigil, T., Önüt, S., & Kongar, E. (2008). A holistic approach for selecting a third-party reverse logistics provider in the presence of vagueness. *Computers & Industrial Engineering*, 54, 269–287.
- Elgazzar, N. S. (2012). Linking supply chain processes' performance to a company's financial strategic objectives. *European Journal of Operational Research*, 276-289.
- Estrada Romeu, M. Á. (2008). *Análisis de estrategias eficientes en la logística de distribución de paquetería*. (Abertis, Ed.)
- Fahimnia, B., Tang, C. S., Davarzani, H., & Sarkis, J. (2015). Quantitative Models for Managing Supply Chain Risks: A Review. *European Journal of Operational Research*, 247(1), 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.034>

- Fawcett, S., Magnan, G., & Matthew, W. (2008). Benefits, barriers, and bridges to effective supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(1), 35-48.
- Fawcett, S., Wallin, C., Allred, C., Fawcett, A., & Magnan, G. (2011). Information Technology as an Enabler of Supply Chain Collaboration: A Dynamic-Capabilities Perspective. *Journal of Supply Chain Management*, 47(1), 38-56.
- Fernández, S. (2007). *Los Proyectos de Inversión: Evaluación Financiera*. Cartago - Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Flick, U. (2004). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Morata.
- Forrester, J. W. (1981). *Dinámica Industrial*. Buenos Aires: Ateneo.
- Gattorna, J. (2002). *Strategic Supply Chain Alignment, Best Practice in Supply Chain Management*. Burlington, United States of America.
- Göl, H., & Catay, B. (2007). Third-party logistics provider selection: insights from a Turkish automotive company. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(6), 379-384.
- Garcia, D. J., & You, F. (2015). Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 81, 153–170. <http://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.03.015>
- Guillén, G., Badell, M., Espuña, A., & Puigjaner, L. (2006). Simultaneous optimization of process operations and financial decisions to enhance the integrated planning/scheduling of chemical supply chains. *Computers and Chemical Engineering*(30), 421-436.
- Gunasekaran, A., & Ngai, E. (2003). The successful management of a small logistics company. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33(9), 825 - 842.

- Gunasekaran, A., Subramanian, N., & Rahman, S. (2015). Green supply chain collaboration and incentives: Current trends and future directions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 74, 1-10.
- Guzmán, D. (2015). *Análisis de la relación entre la estrategia logística colaborativa basada en logística focalizada y el tiempo de respuesta del sub-sistema de manejo de ayudas para el sistema de atención de desastres de Bogotá y el primer anillo de influencia metropolitano*. Chía: Universidad de La Sabana.
- Hahn, G., & Kuhn, H. (2011). Optimising a value-based performance indicator in mid-term sales and operations planning. *Journal of the Operational Research Society*, 62(3), 515-525.
- Halldórsson, Á., & Skjøtt-Larsen, T. (2006). Dynamics of relationship governance in TPL arrangements – a dyadic perspective. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(7), 490-506.
- Hammami, R., Frein, Y., & Hadj-Alouane, A. (2008). Supply chain design in the delocalization context: relevant features and new modeling tendencies. *International Journal of Production Economics*, 113(2), 641-656.
- Hatefi, S., & Jolai, F. (16 de Noviembre de 2013). *Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions*. Recuperado el 19 de Enero de 2017, de ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X13007191>
- Hertz , S., & Alfredsson, M. (2003). Strategic development of third party logistics providers. *Ind. Market. Manag.* , 32(2), 139-149.
- Hingley, M., Lindgreen, A., Grant , D., & Kane, C. (2011). Using fourth-party logistics management to improve horizontal collaboration among grocery retailers. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 316-327.

- Hjaila, K., Láñez-Aguirre, J., & Puigjan, L. (2016). Scenario-based dynamic negotiation for the coordination of multi-enterprise supply chains under uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 91(4), 445–470.
- Ho, W., He, T., Lee, C., & Emrouznejad, A. (2012). Strategic logistics outsourcing: An integrated QFD and fuzzy AHP approach. *Expert Systems with Applications*, 39, 10841–10850.
- Holweg, M., & Helo, P. (2014). Defining value chain architectures: Linking strategic value creation to operational supply chain design. *International Journal of Production Economics*, 147, 230–238. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.06.015>
- Hsu, C., Liou, J., & Chuang, Y. (2013). Integrating DANP and modified grey relation theory for the selection of an outsourcing provider. *Expert Systems with Applications*, 40, 2297–2304.
- Huang, M., Cui, Y., Yang, S., & Wang, X. (2013). Fourth party logistics routing problem with fuzzy duration time. *International Journal of Production Economics*, 145, 107-116.
- Hwang, B., Chen, T., & Lin, J. (2016). 3PL selection criteria in integrated circuit manufacturing industry in Taiwan. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(1), 103-124.
- Hwang, B., Chen, T., & Lin, J. (2016). 3PL selection criteria in integrated circuit manufacturing industry in Taiwan. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21(1), 103-124.
- Ianni. (2010). *Guía Regulatoria para la CRC*.
- Jaag, C. (2014). Postal-sector policy: From monopoly to regulated competition and beyond. *Utilities Policy*, 31, 266e277.
- Jaag, C. (2014). Postal-sector policy: From monopoly to regulated competition and beyond. *Utilities Policy*, 31, 266-277.

- Jean, R.-J., Sinkovis, R., & Kim, D. (2014). The impact of technological organizational and environmental characteristics on electronic collaboration and relationship performance in international customer-supplier relationships. *Information and Management*, 51(7), 854-864.
- Jothimani, D., & Sarmah, S. (2014). Supply chain performance measurement for third party logistics. *Benchmarking: An International Journal*, 21(6), 944-963.
- Kampstra, R., Ashayeri, J., & Gattorna, J. (2006). Realities of supply chain collaboration. *The International Journal of Logistics Management*, 17(3), 312-330.
- Kasperek, M. (2013). Operating model of a 4PL provider. *Journal of Economics and Management*, 12, 23-44.
- Kembro, J., & Selviaridis, K. (2015). Exploring information sharing in the extended supply chain: an interdependence perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(4), 455-470.
- Klibi, W., & Martel, A. (2013). The design of robust value-creating supply chain networks. *OR Spectrum*, 35, 867–903.
- Klibi, W., Martel, A., & Guitouni, A. (2010). The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review. *European Journal of Operational Research*, 203(2), 283–293. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.06.011>
- Knemeyer, A., & Murphy, P. (2005). Is the glass half full or half empty?: An examination of user and provider perspectives. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(10), 708-727.
- Koçoğlu, I., İmamoğlu, S., İnce, H., & Keskin, H. (2011). The effect of supply chain integration on information sharing: Enhancing the supply chain performance. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 24, 1630-1649.
- Korpelaa, J., & Tuominen, M. (1996). A decision aid in warehouse site selection. *International Journal of Production Economics*, 45, 169-180.

- Krakovics, F., Leal, J., Mendes Jr., P., & Santos, R. (2008). Defining and calibrating performance indicators of a 4PL in the chemical industry in Brazil. *International Journal of Production Economics*, 115, 502–514.
- Kumar, P., & Singh, R. (2012). A fuzzy AHP and TOPSIS methodology to evaluate 3PL in a supply chain. *Journal of Modelling in Management*, 7(3), 287 - 303.
- Laínez, J., Guillén, G., Badell, M., España, A., & Puigjaner, L. (2007). Enhancing corporate value in the optimal design of chemical supply chains. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(23), 7739-7757.
- Lee, H. (2002). Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties. *California Management Review*, 44(3), 104-119.
- Li, J., Liu, Y., Zhang, Y., & Hu, Z. (2015). Robust Optimization of Fourth Party Logistics Network Design under Disruptions. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1-7.
- Li, J., Liu, Y., Zhang, Y., & Xu, S. (2014). Algorithms for Routing Optimization in Multipoint to Multipoint 4PL System. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1-7.
- Liao, S., & Kuo, F. (2014). The study of relationships between the collaboration for supply chain, supply chain capabilities and firm performance: A case of the Taiwan's TFT-LCD industry. *International Journal of Production Economics*, 156, 295–304.
- Lieb, R., & Bentz, B. (2005). The North American third party logistics industry in 2004: the provider CEO perspective. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(8), 595-611.
- Liu, H., & Wang, W. (2009). An integrated fuzzy approach for provider evaluation and selection in third-party logistics. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 4387–4398.

- Liu, Q., Zhang, C., Zhu, K., Rao, & Y. (2014). Novel multi-objective resource allocation and activity scheduling for fourth party logistics. *Computers & Operations Research*, 44, 42-51.
- Logan, M. (2000). Using Agency Theory to Design Successful Outsourcing Relationships. *The International Journal of Logistics Management*, 11(2), 21-32.
- Long, Q. (2016). A novel research methodology for supply network collaboration management. *Information Sciences*, 331, 67-85.
- Longinidis, P., & Georgiadis, M. (2011). Integration of financial statement analysis in the optimal design of supply chain networks under demand uncertainty. *Int. J. Production Economics*, 262-276.
- Longinidis, P., & Georgiadis, M. (2013). Managing the trade-offs between financial performance and credit solvency in the optimal design of supply chain networks under economic uncertainty. *Computers and Chemical Engineering*, 48, 264-279.
- Mačiulienė, M., & Skaržauskienė, A. (2016). Evaluation of co-creation perspective in networked collaboration platforms. *Journal of Business Research*, 69(11), Pages 4826–4830.
- Magni, C. (2015). Investment, financing and the role of ROA and WACC in value creation. *European Journal of Operational Research*, 244(3), 855–866.
- Magni, C. (2016). Capital depreciation and the underdetermination of rate of return: A unifying perspective. *Journal of Mathematical Economics*, 67, 54-79.
- Matchette, J., & Seikel, A. (2004). How to win friends and influence supply chain partners. *Logistics Today*, 45(12), 40-42.
- Matopoulos, A., Vlachopoulou, M., Manthou, V., & Manos, B. (2007). A conceptual framework for supply chain collaboration: empirical evidence from the agri-

- food industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(3), 177-186.
- McGinnis, M., Kochunny, C., & Acker, K. (1995). Third Party Logistics Choice. *The International Journal of Logistics Management*, 6(2), 93-102.
- Meade, L., & Sarkis, J. (2002). A conceptual model for selecting and evaluating third-party reverse logistics providers. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(5), 283-295.
- Mehmann, J., & Teuteberg, F. (2016). Process reengineering by using the 4PL approach – a case study on transportation processing in the agricultural bulk logistics sector. *Business Process Management Journal*, 22(4).
- Mehmann, J., & Teuteberg, F. (2016). The fourth-party logistics service provider approach to support sustainable development goals in transportation e a case study of the German agricultural bulk logistics sector. *Journal of Cleaner Production*, 126, 382-393.
- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. (2009). Facility location and supply chain management – A review. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 401–412. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.007>
- Menon, M., McGinnis, M., & Ackerman, K. (1998). Selection criteria for providers of third-party logistics services: an exploratory study. *Journal of Business Logistics*, 19(1), 121-137.
- Mohammadi Bidhandi, H., & Mohd Yusuff, R. (2011). Integrated supply chain planning under uncertainty using an improved stochastic approach. *Applied Mathematical Modelling*, 35(6), 2618–2630. <http://doi.org/10.1016/j.apm.2010.11.042>

- Min , S., Roath, A., Daughert, P., Genchev , S., Chen , H., Arndt , A., & Richey, R. (2005). Supply chain collaboration: what's happening? *The International Journal of Logistics Management*, 16(2), 237 - 256.
- Moberg, C., & Speh, T. (2004). Third-Party Warehousing Selection: A Comparison of National and Regional Firms. *American Journal of Business*, 19(2), 71-76.
- Montoya-Torres, J., & Ortiz-Vargas, D. (2014). Collaboration and information sharing in dyadic supply chains: A literature review over the period 2000–2012. *Estudios Gerenciales*, 30, 343–354.
- Mukhopadhyay, S., & Setaputra, R. (2006). The role of 4PL as the reverse logistics integrator. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(9), 716 - 729.
- Mukhopadhyay, S., & Setaputra, R. (2006). The role of 4PL as the reverse logistics integrator: Optimal pricing and return policies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(9), 716-729.
- Muñoz Pinzon, D. (2015). Caso de estudio: Análisis de robustez de una cadena de suministro lactea y ubicada en Cundinamarca. 1-23.
- Mula, J., Peidro, D., Díaz-Madroñero, M., & Vicens, E. (2010). Mathematical programming models for supply chain production and transport planning. *European Journal of Operational Research*, 204(3), 377–390. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.09.008>
- Nagurney, A., & Ke, K. (2006). Financial networks with intermediation: Risk management with variable weights. *European Journal of Operational Research*, 172(1), 40–63. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.09.035>
- Nemoto, T., & Tezuka, K. (2002). *Advantage of third party logistics in supply chain management*. Tokio: Hitotsubashi University Repository.

- Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., & Ziegler, H. (2012). A multi-stage stochastic supply network design problem with financial decisions and risk management. *Omega*, 40, 511-524.
- Nyaga, G., Whipple, J., & Lyn, D. (2010). Examining supply chain relationships: Do buyer and supplier perspectives on collaborative relationships differ. *Journal of Operations Management*, 28(2), 101-114.
- Olorunniwo, F., & Li, X. (2010). Information sharing and collaboration practices in reverse logistics. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(6), 454-462.
- Parra, A. J., & Dyner, I. (2007). Cooperación mediante castigo en recursos comunes: un mecanismo explicativo dinámico. *Revista Dinámica de Sistemas*, 3(2).
- Parra, J. (2012). *Gestión de la cooperación en dilemas sociales: un aporte desde la ingeniería de sistemas*. Primer congreso Internacional y Nacional Innovación en Gestión.
- Polo, A. (2013). *Estudio de la relación entre integración y productividad en una cadena de suministro*. Chía: Universidad de La Sabana.
- Postal, A. (2005). *Ad Postal*. Recuperado el 12 de Marzo de 2013, de <http://www.adpostal.gov.co/secs/corporativa/historia4.htm>
- Rahman, S. (2011). An exploratory study of outsourcing 3PL services: an Australian perspective. *Benchmarking: An International Journal*, 18(3), 342 - 358.
- Ramanathan, U. (2012). Supply chain collaboration for improved forecast accuracy of promotional sales. *International Journal of Operations and Production Management*, 32(6), 676–695.
- Ramanathan, U. (2014). Performance of supply chain collaboration – A simulation study. *Expert Systems with Applications*, 41, 210–220.

- Ramanathan, U., & Gunasekaran, A. (2012). Supply chain collaboration: Impact of success in long-term partnerships. *International Journal of Production Economics*, 147, 252–259.
- Ramanathan, U., Gunasekaran, A., & Subramanian, N. (2011). Supply chain collaboration performance metrics: a conceptual framework. *Benchmarking: An International Journal*, 18(6), 856 - 872.
- Ramezani, M., Kimiagari, A. M., & Karimi, B. (2014). Closed-loop supply chain network design: A financial approach. *Applied Mathematical Modelling*, 38(15-16), 4099–4119. <http://doi.org/10.1016/j.apm.2014.02.004>
- Ramesh, A., Banwet, D., & Shankar, R. (2010). Modeling the barriers of supply chain collaboration. *Journal of Modelling in Management*, 5(2), 176-193.
- Ranjan, M., & Tonui, R. (2004). *Third party logistics: an analysis of the feasibility and contexts of strategic relationships*. M.S. Thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Revista Dinero, P. S. (17 de Enero de 2017). *Subieron las expectativas de inflación para el cierre de 2017*. Recuperado el 17 de Enero de 2017, de <http://www.dinero.com/economia/articulo/subio-la-inflacion-que-esperan-los-analistas-para-el-2017/240952>
- Richey, R., Adams, F., & Dalela, V. (2012). Technology and flexibility: enablers of collaboration and time-based logistics quality. *Journal of Business Logistics*, 33(1), 34-49.
- Roche, H., & Vejo, C. (2005). Análisis multicriterio en la toma de decisiones.
- Romero, J., Badell, M., Bagajewicz, M., & Puigjaner, L. (2003). Integrating budgeting models into scheduling and planning models for the chemical batch industry. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42(24), 6125-6134.
- Saaty, T. L. (1983). Introduction to a modeling of social decision processes. *Mathematics and Computers in Simulation*, 25(2), 105-107.

- Saaty, T. L. (1987). A note on the AHP and expected value theory. *Socio-Economic Planning Sciences*, 20(6), 397-398.
- Sahay, B. S. (2003). Supply chain collaboration: the key to value creation. *Work Study*, 52(2), 76-83.
- Sahay, B., & Mohan, R. (2006). 3PL practices: an Indian perspective. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(9), 666 - 689.
- Samaddar, S., Nargundkar, S., & Daley, M. (2006). Inter-organizational information sharing: The role of supply network configuration and partner goal congruence. *European Journal of Operational Research*, 174(2), 744-765.
- Sánchez, A. (2003). Integración empresarial cooperativa: posibilidades, ventajas e inconvenientes.
- Santa María, M., & Rozo, S. (Junio de 2009). Análisis cualitativo y cuantitativo de la informalidad empresarial en Colombia. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*(63), 269-296.
- Schoenherr, T., & Swink, M. (2012). Revisiting the arcs of integration: Cross-validations and extensions. *Journal of Operations Management*, 30(1-2), 99-115.
- Scholten , K., & Schilder , S. (2015). The role of collaboration in supply chain resilience. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(4), 471-484.
- Selviaridis, K., & Spring, M. (2007). Third party logistics: a literature review and research agenda. *Int. Journal Log. Manag.*, 18(1), 125-150.
- Selviaridis, K., & Spring, M. (2007). Third party logistics: a literature review and research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 18(1), 125-150.

- Seth, N., Deshmukh, S., & Vrat, P. (2006). A conceptual model for quality of service in the supply chain. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(7), 547-575.
- Seyed-Alagheband, S.-A. (2011). Logistics Parties. En S. Rezapour, R. Zanjirani-Farahani, & L. Kardar, *Logistics Operations and Management: Concepts and Models* (págs. 71-91). Elsevier Inc.
- Sheen, G., & Tai, C. (2006). A Study on Decision Factors and Third Party Selection Criterion of Logistics Outsourcing - An Exploratory Study of Direct selling Industry. *The Journal of American Academy of Business*, 9(2), 331-337.
- Shi, Y., Zhang, A., Arthanari, T., & Liu, Y. (2016). Third-party purchase: an empirical study of Chinese third-party logistics users. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(3), 286-307.
- Simatupang , T., & Sridharan, R. (2008). Design for supply chain collaboration. *Business Process Management Journal*, 14(3), 401-418.
- Simatupang, T., & Sridharan, R. (2005). The collaboration index: a measure for supply chain collaboration. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(1), 44-62.
- Simatupang, T., Wright, A., & Sridharan, R. (2002). The knowledge of coordination for supply chain integration. *Business Process Management Journal*, 8(3), 289 - 308.
- Skjoett-Larsen, T. (2000). Third party logistics – from an interorganizational point of view. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(2), 112-127.
- So, S., Kim, J., Cheong, K., & Cho, G. (2006). Evaluating the service quality of third-party logistics service providers using the analytic hierarchy process. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 3(3), 261-270.

- Sodhi, M., & Tang, C. (2009). Modeling supply-chain planning under demand uncertainty using stochastic programming: a survey motivated by asset-liability management. *International Journal of Production Economics*, 121(2), 728-738.
- Soosay, C., & Hyland, P. (2015). A decade of supply chain collaboration and directions for future research. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(6), 613-630.
- Soosay, C., & Hyland, P. (2015). A decade of supply chain collaboration and directions for future research. *Supply Chain Management: An International Journal*, 20(6), 613-630.
- Spekman, R. E., Kamauff, J. W., & Myhr, N. (1998). An empirical investigation into supply chain management: a perspective on partnerships. *Supply Chain Management: An International Journal*, 3(2), 53 - 67.
- Spencer, M., Rogers, D., & Daug, P. (1994). JIT Systems and External Logistics Suppliers. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(6), 60 - 74.
- Spencer, M., Rogers, D., & Daughert, P. (1994). JIT systems and external logistics suppliers. *International Journal of Operations and Production Management*, 14(6), 60-74.
- Stefansson, G. (2006). Collaborative logistics management and the role of third-party service providers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 36(2), 76-92.
- Subramanian, N., Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., & Nie, P. (2016). 4th party logistics service providers and industrial cluster competitiveness: collaborative operational. *Industrial Management & Data Systems*, 116(7).
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2010). *Estudio Económico del sector Postal en Colombia*. Bogotá.

- Superintendencia de Industria Y Comercio. (08 de 20 de 2016). *Servicios Postales*.  
Obtenido de <http://www.sic.gov.co/drupal/servicios-postales>
- Tate, K. (1996). The elements of a successful logistics partnership. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 26(3), 7-13.
- Thakkar, J., Deshmukh, S., Gupta, A., & Shankar, R. (2005). Selection of Third-Party Logistics (3PL): A Hybrid Approach Using Interpretive Structural Modeling (ISM) and Analytic Network Process (ANP). *Supply Chain Forum: An International Journal*, 32-46.
- Tordecilla Madera, R. (Febrero de 2012). *Aplicación y evaluación de una metodología basada en el procedimiento FePIA para caracterizar la relación robustez - costo en el problema de planeación de la capacidad y localización de almacenes en cadenas de suministro*. Recuperado el Enero de 2017, de <http://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/3917/Rafael%20David%20Tordecilla%20Madera.pdf?sequence=1>
- Tordecilla-Madera, R., Polo, A., Muñoz, D., & González-Rodríguez, L. (2017). A robust design for a Colombian dairy cooperative's milk storage and refrigeration logistics system using binary programming. *International Journal of Production Economics*, 183, Part C, 710–720.
- Tsou, C. (2013). On the strategy of supply chain collaboration based on dynamic inventory target level management: A theory of constraint perspective. *Applied Mathematical Modelling*, 37(7), 5204–5214.
- Universal Posta Union. (2009). *Guía para la reforma y el desarrollo postal*.
- UPU. (2005). *Follow up and trends*.
- Vahid Nooraie, S., & Parast, M. M. (2015). Mitigating Supply Chain Disruptions through the Assessment of Trade-Offs Among Risks, Costs, and Investments in Capabilities. *International Journal of Production Economics*.  
<http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.10.018>

- Vaidyanathan, .. (2005). A framework for evaluating third-party logistics, *Commun. ACM*, 48(1), 89-94.
- Vereecke, A., & Muylle, S. (2006). Performance improvement through supply chain collaboration in Europe. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(11), 1176-1198.
- Vereecke, A., & Muylle, S. (2006). Performance improvement through supply chain collaboration in Europe. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(11), 1176 - 1198.
- Vlajic, J., Van Der Vorst, J., & Haijema, R. (2015). Framework for designing robust supply chains. In K. S. Pawar, H. Rogers, A. Potter, & M. Naim (Eds.), *Developments in Logistics and Supply Chains: past, present and future*.
- Wang, X., Persson, G., & Huemer, L. (2016). Logistics Service Providers and Value Creation Through Collaboration: A Case Study. *Long Range Planning*, 49, 117-128.
- Wang, X., Persson, G., & Huemer, L. (2016). Logistics Service Providers and Value Creation Through Collaboration: A Case Study. *Long Range Planning*, 49, 117-128.
- Whipple, J., Lynch, D., & Nyaga, G. (2010). A buyer's perspective on collaborative versus transactional relationships. *Industrial Marketing Management*, 39(3), 507-518.
- Williamson, O. (2008). Outsourcing: transaction cost economics and supply chain management. *Journal of Supply Chain Management*, 33(1), 25-48.
- Win, A. (2008). The value a 4PL provider can contribute to an organisation. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(9), 674-684.
- Yao, J. (2010). Decision optimization analysis on supply chain resource integration in fourth party logistics. *Journal of Manufacturing Systems*, 29, 121–129.

- Yang, G.-Q., Liu, Y.-K., & Yang, K. (2015). Multi-objective biogeography-based optimization for supply chain network design under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 85, 145–156. <http://doi.org/10.1016/j.cie.2015.03.008>
- Yılmaz Balaman, Ş., & Selim, H. (2015). A decision model for cost effective design of biomass based green energy supply chains. *Bioresource Technology*, 191, 97–109. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.078>