

**METODOLOGÍA MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR
3PL DE LOGÍSTICA INVERSA**

**ERIKA COLLAZOS HERNÁNDEZ CÓDIGO 1323417
KAREN TRUJILLO VARGAS CÓDIGO 1325793**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DEL VALLE
MARZO 2018**

**METODOLOGÍA MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR
3PL DE LOGÍSTICA INVERSA**

**ERIKA COLLAZOS HERNÁNDEZ CÓDIGO 1323417
KAREN TRUJILLO VARGAS CÓDIGO 1325793**

DIRECTOR: JUAN CARLOS OSORIO GÓMEZ

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DEL VALLE
MARZO 2018**

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

A Dios por darme fortaleza en mi camino para afrontar las adversidades de la vida.

A mi madre Maricel Vargas por darme su amor, apoyo incondicional y motivarme día a día con su espíritu emprendedor.

A las personas que a lo largo de mi vida me han apoyado y han contribuido a mi formación profesional.

A mi director Juan Carlos Osorio por su constante y paciente acompañamiento guiándonos generosamente a lo largo del presente trabajo.

Karen Trujillo Vargas.

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este logro a Dios por guiarme en cada paso de mi vida y permitirme culminar esta etapa.

A mis padres Hoover Collazos y Luz Stella Hernández, porque son mi razón de ser y el motor que me impulsa a superarme día a día. Gracias por su apoyo y amor incondicional, sin ustedes no hubiera sido esto posible.

A mi hermanito David Collazos, por su apoyo y motivación indescriptible, recordándome siempre que soy su modelo a seguir.

A mi director de tesis Juan carlos Osorio, por su presencia incondicional, paciencia y dedicación guiándonos con amor y sabiduría durante el desarrollo del presente trabajo de grado.

A todas las personas que contribuyeron con el desarrollo del presente trabajo de grado. Agradecimientos totales por su apoyo.

Erika Collazos Hernández.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los autores del presente trabajo: Erika Collazos Hernández y Karen Trujillo Vargas, estudiantes de ingeniería industrial de la universidad del Valle declaramos:

Que el presente trabajo “Metodología multicriterio para la selección de un proveedor 3PL de logística inversa” para optar por el título de ingeniero industrial de la universidad del Valle, es original y todas las fuentes para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Firmas:

Erika Collazos H.

Erika Collazos Hernández
Código: 1323417



Karen Trujillo Vargas
Código: 1325793

RESUMEN

Los proveedores de tercera parte logística (3PL) se han convertido en actores importantes en las cadenas de suministro modernas, debido al interés de las organizaciones por concentrarse en sus actividades fundamentales. La logística inversa es una actividad que viene tomando fuerza en las organizaciones actuales, debido entre otras cosas al interés ambiental y la búsqueda de aprovechar de la mejor manera los residuos generados en los procesos. Por otra parte, la selección de proveedores es sin duda alguna, una actividad estratégica para las organizaciones y revierte gran importancia pues está asociada directamente a los resultados de las compañías. De acuerdo con la literatura reciente, la selección de proveedores es claramente una actividad multicriterio. Se presenta entonces, una propuesta multicriterio para seleccionar proveedores de tercera parte logística, específicamente para las actividades de logística inversa. La metodología planteada en el presente trabajo es el AHP difuso, y es aplicada en una empresa colombiana.

Palabras claves: Proveedores de tercera parte de logística inversa (3PLRP), logística inversa, toma de decisiones multicriterio, AHP difuso.

CONTENIDO

PÁG.

1. INTRODUCCIÓN	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
4. LOGÍSTICA INVERSA	17
4.1 ¿QUÉ ES LOGÍSTICA INVERSA?	17
4.2 SELECCIÓN DE PROVEEDORES 3PRLP	17
4.3 ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES SERVICIOS DE LOGÍSTICA INVERSA TERCERIZADOS?	19
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LOGÍSTICA DE INVERSA PARA EL SERVICIO DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS	22
4.4.1 ALTERNATIVAS DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS.....	25
4.4.2 VALIDACIÓN DEL SERVICIO DE LOGÍSTICA INVERSA TERCERIZADO	26
5. CRITERIOS DE PROVEEDORES 3PRLP DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS	27
6. HERRAMIENTAS MULTICRITERIO USADAS PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR 3PL DE LOGÍSTICA INVERSA	31
6.1 SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA MULTICRITERIO.	31
6.2 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO DIFUSO (AHP DIFUSO)	32
6.2.1. PASOS DEL AHP DIFUSO	33
6.2.2 CONJUNTOS DIFUSOS.....	34
6.2.3 NÚMEROS DIFUSOS TRIANGULARES.....	35
7. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR 3PL DE LOGÍSTICA INVERSA	36
8. CASO ESTUDIO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR 3PLRP DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS	44
8.1 CONTEXTO GENERAL	44
8.2 PASOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA	44
9. CONCLUSIONES	56
10. BIBLIOGRAFÍA	57

LISTA DE TABLAS

PÁG.

TABLA 1. ACTIVIDADES DE LOGÍSTICA INVERSA QUE REALIZAN LOS PROVEEDORES 3PL SEGÚN LOS AUTORES CONSULTADOS.	19
TABLA 2. CRITERIOS SELECCIONADOS SEGÚN AUTORES REVISADOS.	28
TABLA 3. HERRAMIENTAS MCDM UTILIZADAS EN EL SERVICIO DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS SEGÚN LOS AUTORES CONSULTADOS.	30
TABLA 4. ESCALA DE SAATY.	33
TABLA 5. OPERACIONES CON NÚMEROS TRIANGULARES DIFUSOS.	34
TABLA 6. ESCALA DE COMPARACIÓN DIFUSA.	37
TABLA 7. MATRIZ DIFUSA DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS NIVEL 1.	398
TABLA 8. MATRIZ DIFUSA DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS NIVEL 2.	409
TABLA 9. ÍNDICES DE CONSISTENCIA ALEATORIOS PARA DIVERSOS TAMAÑOS DE MUESTRA.	42
TABLA 10. DESCRIPCIÓN CARGO DE EXPERTOS.	44
TABLA 11. RESULTADOS CALIFICACIÓN CRITERIOS A PARTIR DEL JUICIO DE EXPERTOS ENCUESTADOS.	44
TABLA 12. MATRIZ DIFUSA DE COMPARACIÓN NIVEL 1 CONSOLIDADA.	46
TABLA 13. MATRIZ DIFUSA DE COMPARACIÓN NIVEL 2 CONSOLIDADA PARA CRITERIO 2.	47
TABLA 14. VALORES DE COMPARACIÓN DIFUSOS.	47
TABLA 15. PESOS DIFUSOS RELATIVOS w_i	48
TABLA 16. VECTOR DE PRIORIDADES O DE PESOS NORMALIZADOS NI	49
TABLA 17. VECTOR PONDERADO CRITERIO TIEMPOS DE ENTREGA.	49
TABLA 18. VECTOR PONDERADO CRITERIO COSTO DEL PRODUCTO RETORNADO.	50
TABLA 19. MATRIZ (A) CON NÚMEROS REALES.	50
TABLA 20. VECTOR P.	51
TABLA 21. VECTOR D.	51
TABLA 22. ÍNDICES DE CONSISTENCIA DE MATRICES DIFUSAS DE COMPARACIÓN.	52
TABLA 23. MATRIZ DE PESOS NORMALIZADOS.	53
TABLA 24. SUMA PONDERADA.	54

LISTA DE FIGURAS

PÁG.

FIGURA 1. FRECUENCIA SERVICIOS DE LOGÍSTICA INVERSA TERCERIZADOS SEGÚN LOS AUTORES CONSULTADOS.....	19
FIGURA 2. CADENA DE SUMINISTRO DE LOGÍSTICA INVERSA.	23
FIGURA 3. FRECUENCIA DE SERVICIOS DE LOGÍSTICA INVERSA TERCERIZADOS.....	25
FIGURA 4.FRECUENCIA DE LAS HERRAMIENTAS MCDM UTILIZADAS EN EL SERVICIOS DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS.....	31
FIGURA 5. ESTRUCTURACIÓN DEL PROBLEMA.....	32
FIGURA 6. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR 3PRLP.....	35
FIGURA 7. ESTRUCTURA JERÁRQUICA DEL CASO DE ESTUDIO.....	45

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. ENCUESTA DE SERVICIOS DE LOGÍSTICA INVERSA TERCERIZADOS.

ANEXO 2. ENCUESTA DE CRITERIOS PROVEEDORES 3PLRP DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS.

ANEXO 3. ENCUESTA PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR 3PL DE LOGÍSTICA INVERSA.

ANEXO 4. MODELO AHP DIFUSO.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo de los negocios de hoy en día, se hace muy difícil para una empresa ser competitiva sin trabajar en estrecha colaboración con socios externos (Aguazzoul, 2014). Por esta razón, surgen los proveedores de tercera parte logística, *Third Party Logistics* 3PL donde uno o más procesos logísticos de una firma son tercerizados a un proveedor externo para que realicen sus actividades de forma más eficiente.

El 3PL juega un papel muy importante en la gestión de la cadena de suministro y ha sido ampliamente promovido por el fenómeno de tercerización, del cual cada vez más dependen las compañías. El crecimiento de la logística de tercerización se atribuye a los beneficios que aporta en términos de reducción de costos, mejora del rendimiento, la creación de empresas virtuales a través de alianzas estratégicas y el enfoque en el negocio principal (Aguazzoul, 2014).

Por otro lado, debido a la preocupación de las empresas por mejorar su rendimiento en el flujo de retorno de sus recursos, optimizar sus productos y reducir costos disminuyendo el impacto ambiental nace la "logística inversa". Para las industrias, la gestión de los flujos inversos juega un papel en el logro de "cadenas de suministro ecológicas" ofreciendo a los clientes la devolución de los productos garantizados y / o defectuosos al fabricante (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011). Su objetivo es la recuperación y reciclaje de envases, embalajes, desechos y residuos peligrosos; así como de los procesos de retorno de excesos de inventario, productos obsoletos e inventarios estacionales (Balli, 2011).

El término de logística inversa no se utiliza solo para hacer referencia al papel de la logística en el retorno del producto, sino que también se refiere a la reducción en origen, el reciclado, la reutilización de materiales, la sustitución de materiales, la eliminación de residuos y desperdicios, la reparación y la re manufacturación de los mismos. Su introducción ha sido el resultado de la creciente conciencia medio ambiental en los países industrializados, que lleva a plantearse los problemas de la recogida de residuos y de productos o componentes usados y su reciclaje (Balli, 2011).

Muchas empresas no poseen suficientes recursos o competencias para gestionar actividades de logística inversa, por lo que tienen que recurrir a los proveedores de tercera parte de logística inversa (3PRLP) para que realicen estas labores de una forma efectiva y económica (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011).

La selección de proveedores de tercera parte de logística inversa 3PRLP depende de múltiples criterios cualitativos y cuantitativos que son definidos en las organizaciones de acuerdo con sus objetivos estratégicos. Por ello, el presente trabajo tiene como propósito a través de una metodología multicriterio seleccionar el proveedor 3PL adecuado para realizar actividades de logística inversa que se ajusten a las necesidades requeridas por las empresas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La tercera parte logística 3PL está creciendo alrededor del mundo y está llamando la atención en el gobierno, en los niveles industriales, profesionales y académicos. La tendencia mundial de la globalización ha llevado a muchas empresas a externalizar para centrarse en sus competencias básicas (Gupta, Sachdeva, & Bhardwaj, 2011). Muestra de esto, es que aproximadamente el 60% de las empresas estadounidenses tienen al menos un contrato 3PL y en el mercado los proveedores logísticos continúan en crecimiento (Aguezzoul, 2014).

La externalización es una de las maneras eficaces de mejorar la gestión de la cadena de suministro de servicios. La estrategia de outsourcing ha demostrado ser una manera eficaz de reducir el costo y reducir el tiempo de lanzamiento al mercado. Pero conlleva riesgos de calidad significativos que deben ser reconocidos y gestionados adecuadamente (Zhu, 2015).

(Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011) afirma que una de las razones más importantes para llevar a cabo la externalización es la capacidad de apoyar a sus clientes con la experiencia que de otro modo sería difícil de adquirir o costoso tener en las propias empresas. Adicionalmente, los proveedores de externalización realizan actividades de logística inversa muy a menudo de una manera mejorada y sus clientes lo encuentran frecuentemente como una forma de reducir sus problemas administrativos (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011).

En Colombia, de acuerdo con los resultados de la encuesta nacional logística (ENL) 2015, (Gaviria, Mejía, Gómez, & Dimitri, 2015) la logística inversa es el tercer servicio tercerizado con una participación del 46,7%.

En la última década, la logística inversa ha tenido un impacto económico significativo en la industria, así como en la sociedad. La logística inversa es un proceso mediante el cual un fabricante acepta productos de consumidores para posible remanufactura, reciclado, reutilización o eliminación. La recuperación de productos usados está recibiendo mayor atención debido a preocupaciones ambientales cada vez mayores (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011).

Según (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011) una serie de fuerzas parecen estar influyendo en el aumento de la necesidad de actividades de logística inversa. Éstas incluyen:

- El concepto de las fuerzas verdes como la legislación y sensibilización de los consumidores y la preocupación por el medio ambiente.
- El aumento del número de productos devueltos por los clientes como resultado del aumento de la demanda del servicio al cliente e insatisfacción.
- La reducción del ciclo de vida del producto ocasiona que los productos se vuelven obsoletos más rápidamente y por ende el potencial de retornos aumente.
- Las empresas se esfuerzan por reutilizar los artículos potencialmente buenos a través de la reutilización, reciclaje o uso secundario con el fin de reducir costos.

Para las industrias, la gestión del flujo de retorno suele requerir una infraestructura muy especializada y única. Por lo tanto, las industrias están recurriendo a los proveedores de tercera parte de logística de inversa 3PRLP (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011).

De acuerdo con (Kannan, Pokharel, & Kumar, 2009) hay muchas razones por las cuales las empresas subcontratan actividades de logística inversa entre las que se mencionan, la reducción de costos a través de economías de escala, reducción de la base de activos, mejora en tiempos de entrega, mejora en rendimiento, servicios y demás.

Según lo dicho anteriormente, es claro que los proveedores de tercera parte de logística inversa (3PRLP) desempeñan un papel importante en todo el sistema de logística de inversa. Por lo tanto, las empresas después de elegir las funciones logísticas que van a externalizar, deben comparar los diferentes proveedores y seleccionar cuál de ellos es el mejor. La comparación y selección de 3PRLP es un proceso complejo que depende de múltiples criterios que deben ser estudiados con detenimiento para garantizar la competitividad y éxito en las organizaciones (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Seleccionar un proveedor 3PL de logística inversa mediante la aplicación de una herramienta multicriterio.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el tipo de servicio de logística inversa que se va a subcontratar y caracterizar la cadena de suministro asociada.
- Elegir la herramienta multicriterio que será usada para la selección de un proveedor 3PL de logística inversa.
- Definir los criterios asociados a la selección de un proveedor 3PL de logística de inversa.
- Aplicar la metodología multicriterio a través de un caso estudio.

4. LOGÍSTICA INVERSA

4.1 ¿QUÉ ES LOGÍSTICA INVERSA?

La logística inversa es una de las características clave de una empresa que afectan las decisiones de compra de los clientes en un entorno competitivo, ésta se define como el proceso de planificación y ejecución del control eficiente y rentable del flujo de materias primas, el inventario en proceso, productos finales, e información relevante, desde el punto de consumo al punto de origen (Tavana, Zareinejad, & Di, 2016).

La logística inversa incluye todos los procesos y actividades necesarias para gestionar el retorno de las mercancías, el tratamiento correcto de estos artículos y todas las operaciones relacionadas con la reutilización de bienes y materiales con el fin de mejorar la productividad, la rentabilidad y la eficiencia de la empresa. Por lo tanto, ésta implica todas las actividades logísticas que se producen en un orden inverso, es decir, comprende el movimiento y la transferencia de los bienes y productos que pueden ser devueltos en la cadena de suministro (Balli, 2011).

Por otra parte, algunos de los beneficios relacionados con la logística inversa son: la reducción del impacto medioambiental mediante la reutilización y reciclaje de los bienes devueltos, la reducción en el inventario de materias primas y ahorros conseguidos mediante el reciclado o reutilización de las mercancías de retorno, las cuales pueden ser mayores que los costos necesarios para mantener el sistema de logística inversa implementado (Guarnieri, Amorim, Seido, & Serrano, 2015).

4.2 SELECCIÓN DE PROVEEDORES 3PRLP

Los proveedores de tercera parte de logística inversa 3PRLP son empresas subcontratadas por las organizaciones para externalizar actividades o servicios de logística inversa con el fin de lograr una gestión de flujo de retorno adecuado y mejorar la competitividad de las empresas.

La externalización se define como la “decisión estratégica de la empresa para impedir hacer una actividad en la casa”. En otras palabras, la externalización significa la subcontratación a terceros de una o más operaciones que no pueden realizarse de manera adecuada a nivel local. Estas operaciones se ven afectadas por las limitaciones de recursos que tienen la mayoría de las empresas al no ser capaces de controlar las redes complejas e implementar un plan de logística inversa eficaz. Como resultado, las organizaciones recurren a la subcontratación

de sus actividades de logística de inversa con el fin de reducir costos, mejorar el rendimiento, la eficiencia operativa, la competitividad organizacional y la imagen corporativa (Prakash & Barua, 2016).

Hay muchas razones por las cuales las empresas externalizan sus actividades de logística inversa y recurren a la contratación de proveedores 3PRLP, según (Kannan, Pokharel & Kumar, 2009) algunas de estas son:

- Se espera que los 3PRLP tengan la capacidad de brindar un sistema logístico sofisticado que cuente con el equipo, manejo de materiales e instalaciones de almacenamiento adecuados para ofrecer soluciones completas en la cadena de suministro inversa.
- La logística inversa puede no ser parte de las actividades centrales de una empresa, por ello mediante la externalización de ésta, las empresas pueden centrarse en sus competencias básicas.
- A través de la subcontratación de los 3PRLP se puede conseguir la ventaja de las economías de escala, que les permite a las empresas reducir costos.
- Mediante la externalización de la logística inversa, las empresas pueden reducir su base de activos, y desplegar el capital liberado para otro uso productivo.
- La externalización de la logística inversa mejora el tiempo de ciclo y el rendimiento de entrega, lo que aumenta la satisfacción del cliente en el servicio postventa.

La selección de un proveedor 3PRLP es un problema multicriterio y por lo tanto, un proceso complejo donde múltiples criterios, tanto tangibles como intangibles deben ser considerados. Algunos criterios se desarrollan con necesidades específicas de los clientes, mientras que otros son comunes para todas las circunstancias (Aguazzoul, 2014). Por ello, Las empresas deben comparar diferentes proveedores y luego seleccionar el mejor de ellos.

4.3 ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES SERVICIOS DE LOGÍSTICA INVERSA TERCERIZADOS?

Para dar respuesta a esta pregunta se realizó una revisión de la literatura en donde se consideraron artículos sobre selección de proveedores de tercera parte de logística inversa y se identificaron los principales servicios. A continuación, se presenta en la tabla 1 los principales servicios tercerizados de logística inversa identificados según los autores consultados y en la figura 1 la frecuencia respectiva.

Tabla 1. Actividades de logística inversa que realizan los proveedores 3PL según los autores consultados

Retorno de productos devueltos	(G. Kannan, 2009), (Zareinejad & Javanmard, 2013), (Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012), (Senthil, Srirangacharyulu, & Ramesh, 2014), (Phaneendra, Reddy, & Srikrishna, 2016), (Kongar, 2008), (Jayant, Gupta, Garg, & Khan, 2014), (Ã & Zabinsky, 2011), (Min & Ko, 2008), (Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015), (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011), (Azadi & Farzipoor, 2011), (Kannan, Pokharel, & Kumar, 2009), (Meade & Sarkis, 2007), (Prakash & Barua, 2015), (Tavana, Zareinejad, & Di, 2016), (Tavana, Zareinejad, & Santos-arteaga, 2016)
Reciclaje	(Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012), (Prakash & Barua, 2016), (Kongar, 2008), (Rezaei, 2015), (Jayant, Gupta, Garg, & Khan, 2014), (Ã & Zabinsky, 2011), (Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015), (Kannan, Pokharel, & Kumar, 2009), (Meade & Sarkis, 2007), (Tavana, Zareinejad, Santos-Arteaga, & Kaviani, 2016)
Procesos de reparación	(Çetin, Altekin, & Güvenç, 2014), (Moghaddam, 2015), (Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012), (Guo, 2012), (Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015), (Prakash & Barua, 2015)
Disposición de productos retornados	(Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015), (Govindan & Murugesan, 2011), (Hsu & Hu, 2009), (Agrawal, Singh, & Murtaza, 2016)
Inspección, clasificación y separación de los productos retornados	(Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015), (Govindan & Murugesan, 2011), (Hsu & Hu, 2009), (Agrawal, Singh, & Murtaza, 2016), (Meade & Sarkis, 2007)
Renovación	(Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015)

Fuente: Elaboración propia

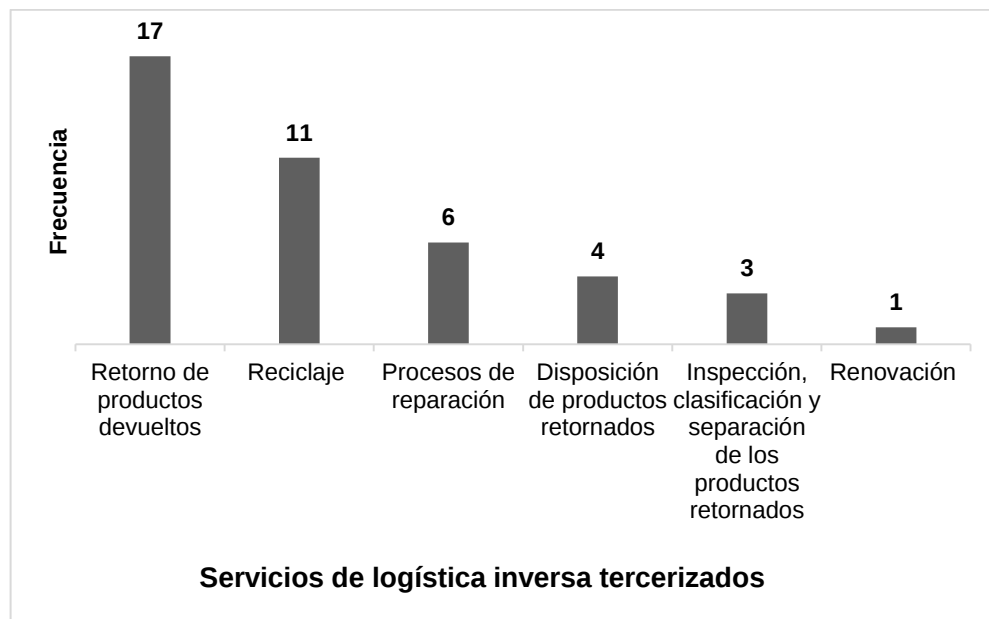


Figura 1. Frecuencia servicios de logística inversa tercerizados según los autores consultados

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 1 el principal servicio de logística inversa tercerizado es el retorno de productos devueltos con una participación del 61% y por lo tanto es el seleccionado para el presente trabajo.

A continuación, se definen los principales servicios de logística inversa tercerizados de acuerdo con los autores consultados:

Retorno de productos devueltos

El retorno de productos devueltos se define como el proceso de recoger y transportar los productos que no cumplen con las expectativas del cliente final al proveedor o fabricante de origen (Kannan, Pokharel & Kumar, 2009) cuando estos presentan errores en los pedidos, actualizaciones de producto, reembolso, daños en su empaque, defectos del producto, retorno de los embalajes, fin de su ciclo de vida, retirada del mercado, excesos de inventario, desperdicio entre otras (Min & Ko, 2008).

La recolección o retorno de productos es el primero y uno de los elementos más importantes de la logística inversa (Zouggari & Benyoucef, 2012) se refiere a todas las actividades que ofrecen la disponibilidad de productos usados y transportarlos físicamente a algún punto donde haya más tratamiento para la recuperación del producto o al lugar de remanufactura.

Inspección y clasificación de productos retornados

La inspección y clasificación consiste en operaciones externalizadas que determinan si un producto es reutilizable o no, y en caso afirmativo, en qué medida, la principal preocupación es si la recuperación de los productos es más económica que la eliminación de éstos.

En muchas organizaciones cuando los clientes realizan una devolución de un producto, este se examina y clasifica por los empleados de la misma con base en sus conocimientos. Además, el empleado regula si la devolución es aceptada y qué medidas deben tomarse (Moghaddam, 2015).

Procesos de reparación

Con el fin de recuperar el valor de los productos devueltos rechazados por el cliente, muchas organizaciones externalizan sus actividades de logística inversa mediante la contratación de proveedores logísticos de tercera parte los cuales implementan programas de logística inversa diseñados para llevar a cabo procesos de reparación los cuales buscan entregar el producto al cliente en perfecto funcionamiento lo que implica que el producto debe pasar por procesos como (Çetin, Altekin, & Güvenç, 2014):

- Reutilización: Es la venta de productos usados que cumplen con niveles de calidad suficiente.
- Remanufactura del producto: Es la utilización de nuevas piezas compradas y partes de los productos devueltos reformadas para fabricar nuevos productos que son demandados por los clientes (Moghaddam, 2015). El propósito de la remanufactura es proporcionar calidad y fiabilidad a los productos para que sean tan rigurosos como los nuevos (Sangwan, 2017).
- Reparación del producto: Implica la limpieza, reparación, fijación y el reemplazo de partes fallidas del producto (Sangwan, 2017).

Reciclaje

Según (Maya, 2013) la actividad de reciclaje consiste en la recuperación del material contenido en los productos retornados mediante el desembalado, clasificación y transformación de sus partes en materias primas; lo que implica que el producto pierda su identidad y funcionalidad es decir, se centra principalmente en cómo recuperar los productos usados y los componentes útiles de manera eficiente y económica respetando el medio ambiente (Jayant, Gupta, Garg, & Khan, 2014).

Por otro lado, (Sangwan, 2017) define la actividad de reciclaje como la entrada del producto en el canal de valor inverso en la etapa de adquisición de materia prima

donde puede ser reutilizado con otras materias primas para producir los materiales virginales después del tratamiento.

Renovación

El servicio de renovación inspecciona y repara las partes que componen el producto retornado con la utilización de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y el empleo del estado de la infraestructura técnica (Prakash & Barua, 2016). El socio de tercera parte de logística inversa puede proporcionar beneficios significativos en los costos y ofrecer una recuperación eficiente aumentando el nivel de calidad y el ciclo de vida del producto a través de la modernización tecnológica reemplazando módulos y piezas anticuadas con tecnologías avanzadas (Sangwan, 2017).

Dentro de la actividad de renovación también se encuentra el re diseño de productos retornados con el fin de mejorar su reciclabilidad y reutilización (Rezaei, 2015).

Disposición de productos retornados

Este proceso de disposición incluye opciones que van desde la simple reutilización del producto hasta la eliminación correcta del mismo (Sangwan, 2017). Un ejemplo de esta actividad es la eliminación de residuos mediante la incineración que permite recuperar la energía del producto cuando este ha finalizado su ciclo de vida (Sangwan, 2017).

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE LOGÍSTICA DE INVERSA PARA EL SERVICIO DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS

Para la caracterización de la cadena de suministro de logística de inversa se realiza una revisión de los conceptos relacionados con su aplicación en las organizaciones, para esto se aborda los conceptos de cadena de suministro, administración de la cadena de suministro, cadena tradicional, cadena inversa y logística inversa.

La cadena de suministro se define como "un conjunto de actividades funcionales que se repiten a lo largo del canal de flujo del producto, mediante los cuales la materia prima se convierte en producto terminado y se añade valor agregado al consumidor" (Prakash & Barua, 2015).

La administración de la cadena de suministro ha surgido como la combinación de la tecnología y las mejores prácticas de negocios en todo el mundo. Las compañías que han mejorado sus operaciones internas ahora están trabajando para lograr mayores ahorros y beneficios al mejorar sus procesos e intercambios

de información, por lo que es un tema vital en las ciencias de la administración y la industria, ha sido ampliamente tratado en investigaciones y artículos, y posee muchas definiciones, una de ellas es la proporcionada por el Consejo de Profesionales de la Gestión de la Cadena de Suministro (CSCMP) según la cual, la administración de la cadena de suministro comprende la planeación y administración de todas las actividades de adquisiciones y compras, conversión, y de administración de logística. Un aspecto importante es que también incluye la coordinación y la colaboración con socios de la cadena, los cuales pueden ser proveedores, intermediarios, proveedores de servicios (3PL), proveedores 3PLRP y clientes (Montero, 2012).

La cadena de suministro tradicional planea, implementa y controla el flujo de efectivo eficientemente, de manera que almacena productos, servicios e información relacionada desde el punto de origen de consumo hacia los requerimientos de los clientes (Montero, 2012).

A diferencia de la cadena de suministro tradicional, en una cadena de suministro inversa el recorrido a lo largo de esta es desde el consumidor final o cliente hacia el fabricante o proveedor. El objetivo de una red de logística inversa es recuperar los productos que terminan su vida útil de manos de los consumidores finales, quienes los pueden desechar en cualquier momento y en distintas condiciones de funcionalidad (Arroyo López, Villanueva Bringas, Gaytan Iniestra, & García Vargas, 2014).

Según (Rubio, 2003) la logística inversa “es el proceso de mover bienes de su destino final típico a otro punto, con el propósito de capturar valor que de otra manera no estaría disponible, para la disposición apropiada de los productos”, la cual introduce el concepto de recuperación de valor de los componentes en la cadena. Esta definición muestra claramente, el interés sobre los flujos de retorno, esto debido a que las organizaciones empezaron a tomar especial interés en ser competitivas de una manera que les permitiera gestionar la entrega efectiva de sus productos y de no ser así de integrar nuevamente los retornos en su canal comercial; todo esto poniendo énfasis en el tiempo, y en los recursos.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que las actividades de logística inversa son más complejas que las de la cadena tradicional ya que requieren requisitos especializados, infraestructura adecuada, avanzado sistema de TI y otros servicios de valor añadido. El tiempo, la cantidad y la calidad de los productos devueltos aumentan la dificultad para manejar la cadena de logística inversa de manera eficaz (Prakash & Barua, 2015).

En la figura 2 se muestra la representación gráfica de los actores de la cadena de suministro de logística inversa junto con los de la cadena de suministro tradicional. A continuación, se define cada uno de estos involucrados:

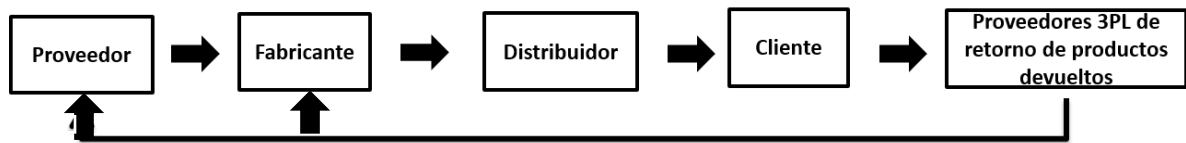


Figura 2. Cadena de suministro de logística inversa
Fuente: Elaboración propia

Cliente: Es el usuario o consumidor final del producto o servicio prestado. En el caso de la cadena de suministro inversa es la persona o empresa de la cual se recogen los productos devueltos que serán retornados al fabricante o proveedor por medio de un proveedor 3PL. Estos productos son retornados, porque no satisfacen las necesidades del cliente o presentan defectos de fabricación (Pirachicán, Jarrin, Guevara, & Bernal, 2012).

Proveedores: Un proveedor es una persona o empresa que suministra los bienes o servicios necesarios para la fabricación de un producto. En la red de logística inversa juega un papel muy importante ya que los productos retornados que llegan a este, se les proporciona un valor agregado para ser enviados al fabricante de origen. Un proveedor es parte fundamental de la cadena de abastecimiento, ya que si es certificado permitirá ofrecer productos con los requerimientos necesarios por el fabricante, permitirá asegurar su calidad y el tiempo de entrega en el momento y lugar adecuado (Jiménez, 2010).

Fabricante: Es la persona o empresa que elabora o transforma la materia prima en producto terminado. Para ello, intervienen personas, maquinaria, equipos y procesos. En el canal inverso es fundamental ya que es quien decide qué hacer con los productos retornados y se encarga de proporcionar una correcta disposición de estos (Jiménez, 2010).

Distribuidor: El distribuidor se encarga de que los productos o servicios lleguen al consumidor final a través de redes de distribución como puntos de venta. Es una parte vital de la cadena de abastecimiento debido a que una inadecuada manipulación del producto puede anular todo el proceso de calidad realizado en la fábrica (Jiménez, 2010).

Proveedores 3PL de retorno de productos devueltos: Son personas o empresas subcontratadas para tercerizar la actividad de retorno de productos devueltos en la cadena de suministro inversa. Ellos son los encargados de recoger los productos devueltos o retornados por el cliente y transportarlos al proveedor o fabricante.

4.4.1 Alternativas de retorno de productos devueltos

Los avances tecnológicos han permitido el crecimiento económico y la apertura de los mercados en general, sin embargo el modelo de negocios que se está aplicando actualmente es poco sostenible, dado que los niveles de contaminación y la habitabilidad del planeta se ven seriamente afectados por el estilo de vida actual. Por esta razón, los diferentes sectores productivos en todo el mundo se están viendo forzados a seguir una serie de normas y políticas de protección ambiental, que sean coherentes con la sostenibilidad de los negocios en el futuro (Montero, 2012).

Es aquí donde surgen las alternativas de manejo de retorno de productos devueltos, las cuales serán descritas a continuación según (Montero, 2012) y dependen de si son empleadas por medios propios o ajenos a la empresa.

Sistemas de ciclo cerrado

También llamados Sistemas propios de logística inversa, en este caso es la misma empresa la que diseña, gestiona y controla la recuperación y reutilización de sus productos fuera de uso. Las empresas de sistemas de ciclo cerrado se caracterizan por ser líderes en sus respectivos mercados, en los que la identificación entre empresa y producto es muy alta. Se trata, generalmente, de fabricantes de productos complejos y tecnológicamente avanzados, diseñados para poder recuperar parte del valor añadido que incorporan.

El objetivo con este tipo de sistemas es cerrar el ciclo empresarial, es decir, incorporar la gestión de las devoluciones de todos los productos hasta los proveedores, y la reutilización o disposición de los productos o sus partes. Es importante destacar que a pesar de que el responsable último del sistema sea la propia empresa, suele ser habitual que algunas actividades sean realizadas por terceros ajenos a la empresa, es decir proveedores 3PRLP que realizan la recogida de productos y su transporte hasta el centro de recuperación.

Sistemas de ciclo abierto

También llamados sistemas ajenos de logística inversa, en este caso la empresa responsable de la introducción del producto en el mercado no gestiona directamente el proceso de recuperación, sino que esta función es realizada, en su mayor parte, por proveedores 3PRLP. De esta manera la empresa opta por contratar los servicios de una empresa especializada en la realización de este tipo de actividades. Dentro de los sectores industriales donde se desarrollan estos sistemas se encuentra: industria automotriz, industria informática y electrónica, textilera, papel y cartón, electrodomésticos, fotocopadoras, etc.

4.4.2 Validación del servicio de logística inversa tercerizado

Para validar la selección del servicio retorno de productos devueltos establecido anteriormente de acuerdo con la revisión de la literatura, se aplicó una encuesta (Anexo 1) a los expertos de 12 empresas reconocidas ubicadas en Colombia que subcontratan servicios de logística inversa. Con base en los servicios identificados en el literal 4.3, se preguntó cuál(s) de esos servicios eran subcontratados. Los resultados obtenidos son los mostrados en la figura 3.

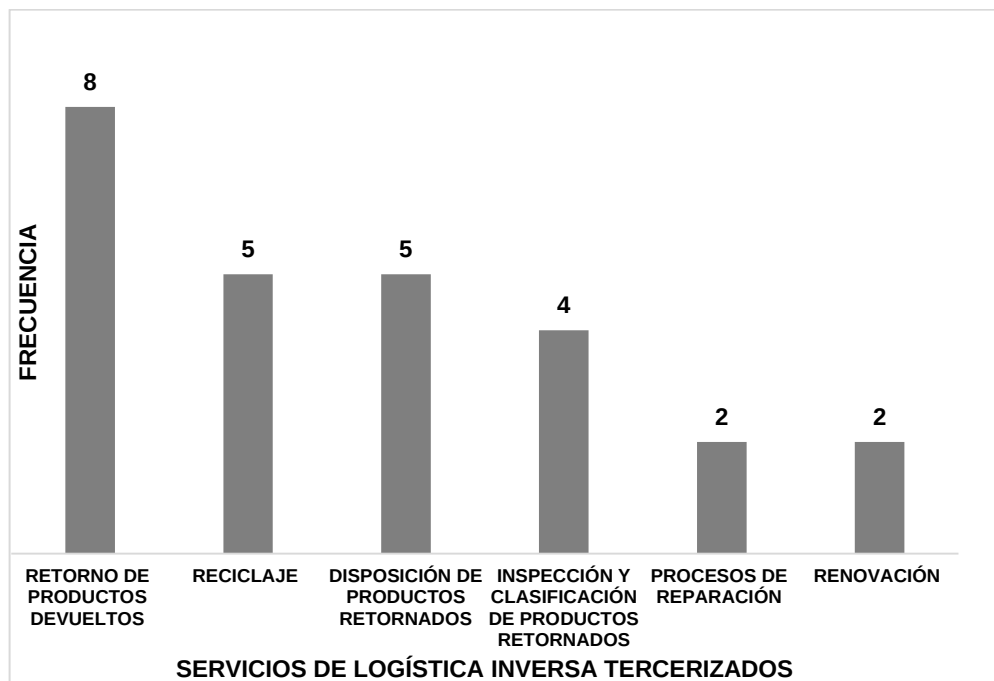


Figura 3. Frecuencia de servicios de logística inversa tercerizados
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados de la encuesta mostrados en la figura anterior, se corroboró que el principal servicio de logística inversa tercerizado en las empresas colombianas encuestadas, es el retorno de productos devueltos, ya que representa la mayor frecuencia con un porcentaje de participación del 60,7%.

5. CRITERIOS DE PROVEEDORES 3PLRP DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS

La selección de proveedores 3PLRP depende de múltiples criterios o atributos cualitativos y cuantitativos, que se establecen en las organizaciones con el fin de cumplir con sus objetivos estratégicos y requerimientos. Los criterios cuantitativos como costo de retorno de productos devueltos y tiempos de entrega son medibles, de acuerdo con los datos suministrados por las empresas; mientras que los criterios cualitativos no presentan una escala de medición fija, por lo tanto, dependen del juicio de los expertos (Osorio, Carime, Guerrero, & Stella, 2016).

Los criterios juegan un papel esencial en la selección de proveedores 3PLRP, ya que permiten valorar y comparar la capacidad de los operadores de logística inversa para prestar servicios como el de retorno de productos devueltos. Otro de los factores que afectan este proceso de selección es el conflicto que se puede presentar entre los criterios cuantitativos y cualitativos. Por ejemplo, es posible que el proveedor cumpla con las leyes y la normatividad ambiental de los productos retornados, pero el costo del retorno sea elevado en comparación con otras alternativas. Con el fin de seleccionar al mejor proveedor 3PLRP es necesario tener un equilibrio entre los factores tangibles e intangibles que entran en conflicto entre sí (Osorio, Carime, Guerrero, & Stella, 2016).

En la tabla 2 se presentan los criterios de selección de proveedores 3PL de retorno de productos devueltos, identificados según los autores consultados. A continuación, se realiza una breve descripción de ellos.

Tabla 2. Criterios seleccionados según autores revisados

CRITERIO	AUTOR
Solvencia económica	(G. Kannan, 2009), (Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012), (Senthil, Srirangacharyulu, & Ramesh, 2014), (Azadi & Farzipoor, 2011), (Tavana, Zareinejad, & Santos-arteaga, 2016)
Localización geográfica	(G. Kannan, 2009), (Senthil, Srirangacharyulu, & Ramesh, 2014), (Phaneendra, Reddy, & Srikrishna, 2016),
Claridad en los términos de contratación	(G. Kannan, 2009), (Zareinejad & Javanmard, 2013)
Registro de relaciones laborales	(G. Kannan, 2009), (Murali, Pugazhendhi, & Ganesh, 2011), (Tavana, Zareinejad, & Santos-arteaga, 2016)
Historia del funcionamiento	(G. Kannan, 2009), (Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012)
Capacidad de intercambio electrónico de datos	(G. Kannan, 2009), (Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012), (Azadi & Farzipoor, 2011).
Gestión y Nivel de TI	(G. Kannan, 2009), (Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012), (Min & Ko, 2008), (Kannan, Pokharel, & Kumar, 2009).
Impactos de la Contaminación Ambiental y cumplimiento de políticas o leyes ambientales	(G. Kannan, 2009), (Phaneendra, Reddy, & Srikrishna, 2016), (Jayant, Gupta, Garg, & Khan, 2014), (Meade & Sarkis, 2007)
Costo de retorno de productos devueltos	(Phaneendra, Reddy, & Srikrishna, 2016), (Jayant, Gupta, Garg, & Khan, 2014), (Min & Ko, 2008), (Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015).
Flexibilidad del sistema	(G. Kannan, 2009), (Senthil, Srirangacharyulu, & Ramesh, 2014), (Kongar, 2008), (Meade & Sarkis, 2007).
Satisfacción del cliente	(Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012), (Jayant, Gupta, Garg, & Khan, 2014), (Ā & Zabinsky, 2011), (Min & Ko, 2008), (Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015), (Meade & Sarkis, 2007), (Tavana, Zareinejad, & Di, 2016).
Disponibilidad del equipo	(Zareinejad & Javanmard, 2013), (Phaneendra, Reddy, & Srikrishna, 2016), (Tavana, Zareinejad, & Santos-arteaga, 2016).
Tiempos de entrega.	(G. Kannan, 2009), (Zareinejad & Javanmard, 2013), (Govindan, Palaniappan, Zhu, & Kannan, 2012), (Senthil, Srirangacharyulu, & Ramesh, 2014), (Kongar, 2008), (Min & Ko, 2008), (Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015), (Meade & Sarkis, 2007), (Tavana, Zareinejad, & Di, 2016).

Fuente: Elaboración propia

Solvencia económica: Es un indicador que indica cuántos recursos se tienen en activo en comparación con el pasivo (Guarnieri, Amorim & Seido, 2015).

Localización geográfica: Capacidad de cobertura que ofrece el proveedor para cubrir amplias áreas, destinos y mercados (Prakash & Barua, 2016).

Claridad en los términos de contratación: Es de suma importancia que el contrato que se hace entre el proveedor y el cliente sea claro y específico con los

términos y requisitos de la contratación, por ejemplo: tipo de contrato, tiempos de entrega, documentación requerida que debe presentar el proveedor a la hora de recoger el producto y en el momento de entregarlo al cliente.

Registro de relaciones laborales: Es importante tener una buena relación de trabajo con los empleados; de lo contrario puede llevar a la huelga, cierres patronales, sabotaje y otras actividades no deseadas, lo que puede afectar las operaciones logísticas (Kannan, Pakhareal & Kumar, 2015).

Historia del funcionamiento: Hace referencia al historial del funcionamiento de la empresa proveedora, incluye referencias de su desempeño, imagen e historial del proveedor en el mercado, capacidad de compartir riesgos y recompensas. Además, debe de estar alineado con la cultura y la estructura de la organización. (Prakash & Barua, 2016).

Capacidad de intercambio electrónico de datos: Capacidad técnica del socio para desarrollar un sistema integrado para monitorear e implementar tecnología de punta para el procesamiento de actividades de RL (Prakash & Barua, 2016).

Gestión y Nivel de TI: Es la gestión y nivel de los procesos de tecnologías de la información brindados por los proveedores y el cumplimiento de los compromisos establecidos con dichos servicios, ejemplo: rastreo de vehículos (Guarnieri, Amorim & Seido, 2015).

Impactos de la contaminación ambiental y cumplimiento de políticas o leyes ambientales: Cumplir con todas los requisitos y normas ambientales que aseguren una continuidad del servicio (Phaneendra, Reddy, & Srikrishna, 2016).

Costo de retorno de productos devueltos: El costo de recoger y transportar los productos retornados o devueltos al proveedor o fabricante. Es uno de los principales criterios ya que las empresas buscan beneficiarse a través de la reducción de costos y ahorro de los mismos (Senthil, Srirangacharyulu, & Ramesh, 2014).

Flexibilidad del sistema: La flexibilidad en las operaciones y en la entrega permite ofrecer un servicio personalizado a los clientes, especialmente en solicitudes no rutinarias (Kannan, 2009), en otras palabras, es la capacidad de respuesta que tiene el proveedor de prestar su servicio frente a situaciones o cambios inesperados.

Satisfacción del cliente: Cuando un proveedor brinda un buen servicio al cliente y establece una buena relación con él, crea una imagen positiva que fortalece la credibilidad del servicio prestado, lo que conlleva a que se genere una buena

reputación de éste y demuestra lo bien que satisface las necesidades del cliente (Kannan, 2009).

Tiempos de entrega: Implica entregar las órdenes en el tiempo establecido con los clientes (Senthil, Srirangacharyulu & Rameshet, 2014).

Disponibilidad de equipo: Es muy importante que el proveedor cuente con la flota requerida para prestar el servicio, pues una inadecuada disponibilidad de esta puede llevar a incurrir en costos como por ejemplo programar más fletes para poder retornar el total de producto o incumplimiento en los tiempos de entrega por no tener disponibilidad de flota (Guarnieri, Amorim & Seido, 2015).

6. HERRAMIENTAS MULTICRITERIO USADAS PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR 3PL DE LOGÍSTICA INVERSA

6.1 SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA MULTICRITERIO.

La selección de un proveedor 3PRLP es un proceso complejo de toma de decisiones que depende de diversos criterios cuantitativos y cualitativos. Por esta razón, han surgido como alternativa, múltiples herramientas multicriterio o técnicas de toma de decisiones multiatributo MCDM que permiten comparar los diferentes proveedores y seleccionar el que mejor se ajuste a los requerimientos de la organización y satisfaga las necesidades del cliente (Murali,Pugazhendhi, & Ganesh, 2011).

A continuación, se presentan en la tabla 3 las herramientas multicriterio utilizadas por los autores consultados, en la selección de un proveedor 3PL de retorno de productos devueltos y en la figura 4 se presenta la frecuencia respectiva.

Tabla 3. Herramientas MCDM utilizadas en el servicio de retorno de productos devueltos según los autores consultados

AHP DIFUSO	Tavana, Zareinejad, & Di, 2016)(G. Kannan, 2009), (Kongar, 2008), (Ã & Zabinsky, 2011), (Murali,Pugazhendhi, & Ganesh, 2011).
ANP	(Min & Ko, 2008), (Tavana, Zareinejad, & Santos-arteaga,2016), (Meade & Sarkis, 2007), (Tavana, Zareinejad, Santos-Arteaga, & Kaviani, 2016)
TOPSIS AHP	(Jayant, Gupta, Garg, & Khan, 2014), (Guarnieri, Amorim, & Seido, 2015), (Prakash & Barua, 2015)
ANP-IFG	(Zareinejad & Javanmard, 2013)
AHP-FUZZY TOPSIS	(Senthil, Srirangacharyulu, & Ramesh, 2014)
FUZZY TOPSIS	(Azadi & Farzipoor, 2011)
VIKOR TOPSIS	(Phaneendra, Reddy, & Srikrishna, 2016)
DEA	(Azadi & Farzipoor, 2011)
FUZZY TOPSIS- ISM	(Kannan, Pokharel, & Kumar, 2009)

Fuente: Elaboración propia

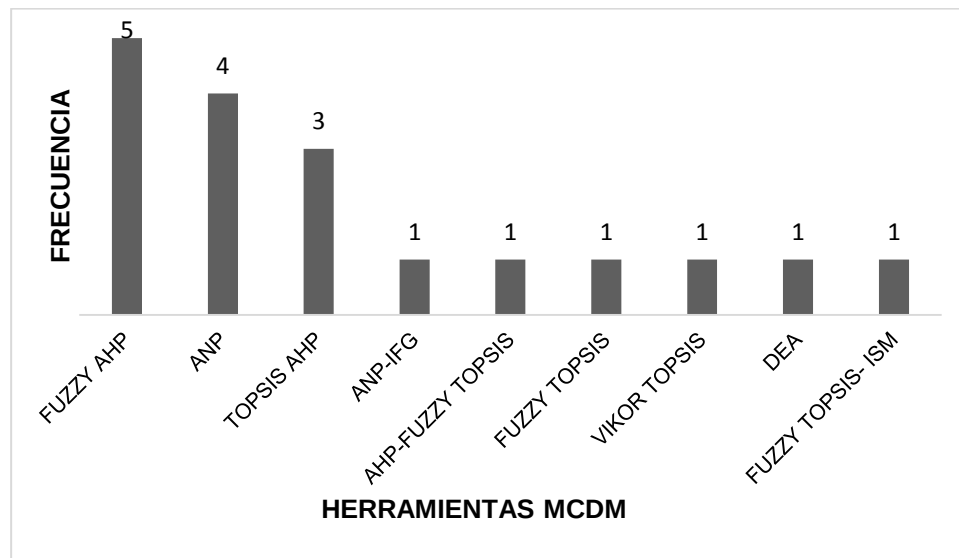


Figura 4. Frecuencia de las herramientas MCDM utilizadas en el servicio de retorno de productos devueltos
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura anterior, la herramienta más utilizada y de mayor aplicabilidad para seleccionar proveedores 3PL de retorno de productos devueltos, es el AHP difuso, por lo tanto, es la seleccionada para el desarrollo de la metodología propuesta en el presente trabajo. A continuación, se realiza una descripción breve del AHP difuso.

6.2 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO DIFUSO (AHP DIFUSO)

El AHP difuso se presenta como una alternativa para hacer frente a la imprecisión de la evaluación lingüística, ya que permite abordar la incertidumbre y subjetividad del juicio humano frente a la toma de decisiones con múltiples criterios. Ésta es una herramienta híbrida que combina el proceso de jerarquía analítica AHP y la lógica difusa (Herrera & Osorio, 2006).

Es importante resaltar, que en el AHP difuso las comparaciones por pares de los criterios y las alternativas se realizan a través de las variables lingüísticas, que están representadas por números triangulares (Ayhan, 2013). Esas variables lingüísticas representan para la toma de decisiones, los juicios emitidos por los agentes decisores con respecto a las alternativas y criterios, los cuales transformados en números difusos serán usados para construir la matriz de comparación por pares del AHP permitiendo obtener el nivel de importancia de los

criterios y posteriormente la selección de la mejor alternativa (Herrera & Osorio, 2006).

6.2.1. Pasos del AHP difuso

Según (Tavana, Zareinejad, Di Caprio, & Kaviani, 2016) las principales fases del AHP difuso son:

- 1) Estructuración del problema de decisión como una jerarquía: definiendo objetivo general, criterios o subcriterios y alternativas (ver figura 5).
- 2) Construcción de las matrices difusas de comparación por pares entre los elementos de decisión, formando matrices que se construyen utilizando la escala fundamental de 1 a 9 definida por Saaty (ver tabla 4).
- 3) Análisis de consistencia lógica.
- 4) El cálculo del vector prioridad de los criterios y alternativas.
- 5) Las puntuaciones alternativas locales se combinan con los pesos de los criterios para obtener una puntuación final para cada alternativa.

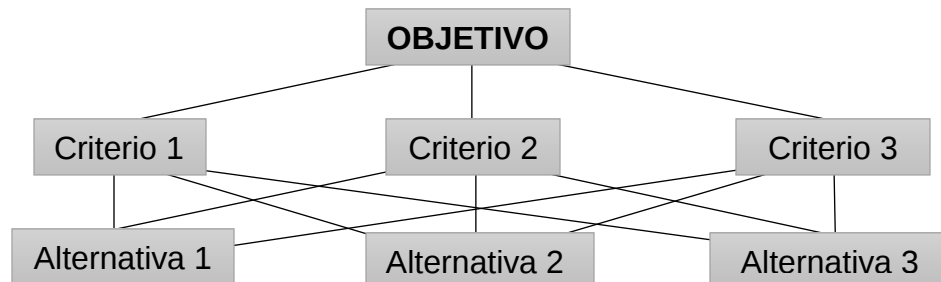


Figura 5. Estructuración del problema
Fuente: Adaptada de (Carrien R, 2015)

Tabla 4. Escala de Saaty

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Igualmente, preferida.	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo.
3	Moderadamente preferida.	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro.
5	Fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un elemento sobre el otro.
7	Preferencia muy fuerte o demostrada.	Un elemento es mucho más favorecido que el otro; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extremadamente preferida.	Preferencia clara y absoluta de un criterio sobre el otro.
2,4,6,8	Valores intermedios.	Intermedia entre valores anteriores.

Fuente: (Saaty, 1997)

6.2.2 Conjuntos Difusos

Según (Reina & Jimenez Moscovitz, 2008) un conjunto clásico de números reales es definido de tal manera que divide a los individuos en dos grupos: miembros y no miembros. Esta división es bien definida, y no genera ambigüedad y puede ser suficientemente válida para algunos conceptos y conjuntos, como por ejemplo la pertenencia de un número al conjunto N de los números naturales o de la letra e al conjunto de las vocales en idioma español. Sin embargo, hay conceptos o conjuntos que se caracterizan por no tener una frontera clara de clasificación, por tener información poco precisa, de manera que se puede considerar la transición gradual desde la no pertenencia hasta la pertenencia total al conjunto.

Para definir un conjunto difuso, se debe establecer una función de pertenencia que permita asignar a cada elemento, un valor real que indica que tanto pertenece al conjunto. Para ello se establecen valores que van desde 0 hasta 1 definidos en el intervalo $[0, 1]$, en donde el valor de 0 representa la no pertenencia al conjunto y 1 la pertenencia total al conjunto difuso (Reina & Jimenez Moscovitz, 2008).

6.2.3 Números difusos triangulares

Un número triangular difuso es un conjunto especial difuso $F = \{(x, \mu_F(x), x \in R\}$, donde x toma valores en la línea real R_1 : $-\infty < x < +\infty$ y $\mu_F(x)$ es una continua representación de R_1 acercándose el intervalo $[0,1]$. Los números triangulares difusos son utilizados en la comparación por pares y son definidos como tres números reales expresados como una tripleta $M = (l, m, u)$ donde $l \leq m \leq u$, l es el valor inferior, m el valor del medio y u el valor superior para describir un evento difuso (Srichetta & Thurachon, 2012). La función de pertinencia asociada para cada número difuso es la siguiente:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} - \frac{l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{x}{m-u} - \frac{u}{m-u}, & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (1)$$

Fuente: (Srichetta & Thurachon, 2012)

Cuando $l = m = u$, entonces T no es un número difuso triangular por convención.

Suponiendo dos números triangulares difusos M_1 y M_2 . Siendo $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ y $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$. Las operaciones matemáticas con números difusos triangulares son las mostradas en la tabla 5.

Tabla 5. Operaciones con números triangulares difusos

Nombre	Nomenclatura	Operación
Suma	$M_1 + M_2$	$(l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$
Resta	$M_1 - M_2$	$(l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2)$
Multiplicación	$M_1 \times M_2$	$(l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$
División	M_1 / M_2	$(l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2)$
Multiplicación por un escalar	$\lambda \times M_1$	$(\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1)$
Inverso	M_1^{-1}	$(1 / u_1, 1 / m_1, 1 / l_1)$

Fuente: (Srichetta & Thurachon, 2012)

7. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR 3PRLP DE LOGÍSTICA INVERSA

La propuesta metodológica está basada en la herramienta AHP difusa descrita anteriormente. A continuación, se presenta en la figura 6, el esquema metodológico para la selección de un proveedor 3PRLP de retorno de productos devueltos y la descripción de los pasos de la metodología propuesta.

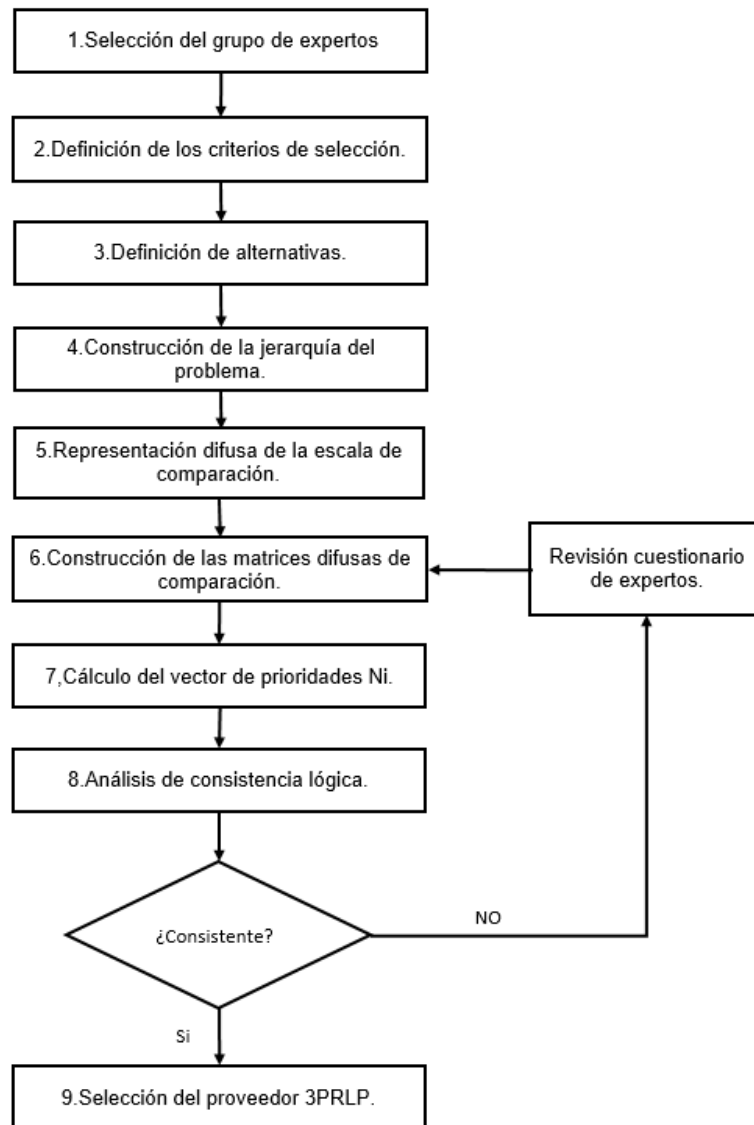


Figura 6. Esquema metodológico para la selección de un proveedor 3PRLP
Fuente: Adaptado de (Urbano, Muñoz, & Osorio, 2016) y (Herrera & Osorio, 2006)

Paso 1. Selección del grupo de expertos

Se debe seleccionar el grupo de expertos que estén involucrados en el proceso de selección del proveedor de tercera parte de logística inversa, los cuales tengan conocimiento del problema y autoridad frente a la toma de decisiones, para que procedan a definir y calificar los criterios y alternativas a evaluar de acuerdo con su juicio y experiencia, con el fin de seleccionar el mejor proveedor 3PRLP de retorno de productos que se ajuste a las necesidades y requerimientos de la organización.

Paso 2. Definición de los criterios de selección

Para la selección de los criterios se propone la realización de un cuestionario presentado en (Anexo 2), en donde se listan los criterios definidos en el capítulo 5, los cuales fueron los más representativos en la selección de proveedores 3PRLP de retorno de productos de acuerdo con la revisión de la literatura, con el fin de que el grupo de expertos de la empresa seleccionada elija los de mayor importancia según su calificación en una escala de 1 a 9.

Paso 3. Definición de alternativas

Se debe definir un grupo de posibles o potenciales proveedores 3PRLP de retorno de productos para subcontratar, que se ajusten a los criterios definidos y las necesidades de la organización. Pueden ser proveedores nuevos o que ya sean subcontratados por la empresa.

Paso 4. Construcción de la jerarquía del problema

Para aplicar AHP difuso se debe estructurar el problema en varios niveles de jerarquía como se puede ver en la figura 5 estableciendo el objetivo general, los criterios y las alternativas definidas anteriormente. El esquema muestra las interrelaciones entre los diferentes elementos del problema. En el nivel superior debe aparecer el objetivo general, en el nivel inferior los criterios y en la base las alternativas (Herrera & Osorio, 2006). El número de criterios y alternativas depende de la complejidad del problema y de los responsables de la toma de decisiones en este caso el grupo de expertos.

Paso 5. Representación difusa de la escala de comparación

Después de estructurar el problema en un nivel jerárquico se debe realizar la representación difusa realizando la conversión de la escala de Saaty a una escala de números triangulares difusos como se presenta en la tabla 6 para representar los juicios emitidos por el grupo de expertos encargados de la toma de decisiones. Los números M_1 , M_3 , M_5 , M_7 , y M_9 son utilizados para representar los juicios desde igual importancia o preferencia hasta extrema importancia o preferencia y M_2 , M_4 , M_6 , M_8 representa los valores intermedios. En la escala verbal se utiliza importancia para comparar los criterios y preferencia para comparar las alternativas entre sí (Urbano et al., 2016).

Tabla 6. Escala de comparación difusa

Escala Saaty	Escala Difusa	Notación Número difuso	Escala verbal
1	(1,1,2)	M_1	Igual importancia o preferencia de ambos elementos.
3	(2,3,4)	M_3	Moderada importancia o preferencia de un elemento sobre otro.
5	(4,5,6)	M_5	Fuerte importancia o preferencia de un elemento sobre otro.
7	(6,7,8)	M_7	Muy fuerte importancia o preferencia de un elemento sobre otro.
9	(8,9,9)	M_9	Extrema importancia o preferencia de un elemento sobre otro.
2,4,6,8	(1,2,3) (3,4,5) (5,6,7) (7,8,9)	M_2 M_4 M_6 M_8	Valores intermedios.

Fuente: (Herrera & Osorio, 2006)

Paso 6. Construcción de las matrices difusas de comparación

De acuerdo con la jerarquía establecida y la escala de comparación difusa definida anteriormente se procede a construir las matrices de juicio comparando por pares los niveles de jerarquía establecidos para estimar sus importancias relativas con respecto al objetivo general o meta. Esta comparación se realiza con base en los juicios lingüísticos emitidos por el grupo de expertos a través de las calificaciones asignadas (Herrera & Osorio, 2006). Para ello, se propone la realización de un tercer cuestionario presentado en el (anexo 3, encuesta para la selección de un proveedor 3PL de logística inversa). Después que cada experto haya realizado el cuestionario se traslada los juicios a números triangulares difusos como será mostrado a continuación.

- **Matriz difusa de comparación de criterios nivel 1**

Con los juicios obtenidos trasladados a números difusos, se procede en primera instancia a la construcción de la matriz difusa de comparación de criterios nivel 1, realizando una comparación por pares de los diferentes criterios con respecto al

objetivo general o meta como se presenta en la tabla 7. De esta forma, si el criterio i es fuertemente más importante que el criterio j se establece una calificación $d_{ij}=(4,5,6)$ de acuerdo con la escala definida de la tabla 6. Por otro lado, para que las matrices sean consistentes la comparación del criterio j con respecto al i es el inverso donde $d_{ji} = (\frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4})$ (Herrera & Osorio, 2006).

Tabla 7. Matriz difusa de comparación de criterios nivel 1

Meta	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio n
Criterio 1	$d_{11}=(1,1,1)$	$d_{12}=$ (Comparación entre el criterio 1 y 2)	$d_{13}=$ (Comparación entre el criterio 1 y 3)	$d_{1n}=$ (Comparación entre el criterio 1 y n)
Criterio 2	$d_{21}=$ Inverso de d_{12}	$d_{22}=(1,1,1)$	$d_{23}=$ (Comparación entre el criterio 2 y 3)	$d_{2n}=$ (Comparación entre el criterio 2 y n)
Criterio 3	$d_{31}=$ Inverso de d_{13}	$d_{32}=$ Inverso de d_{23}	$d_{33}=(1,1,1)$	$d_{3n}=$ (Comparación entre el criterio 3 y n)
Criterio n	$d_{n1}=$ Inverso de d_{1n}	$d_{n2}=$ Inverso de d_{2n}	$d_{n3}=$ Inverso de d_{3n}	$d_{nn}=(1,1,1)$

Fuente: (Herrera & Osorio, 2006)

- **Matriz difusa de comparación de alternativas nivel 2**

Para la construcción de la matriz difusa de comparación de alternativas nivel 2, se realiza una comparación por pares de la preferencia entre las alternativas definidas por los expertos con respecto a cada uno de los criterios establecidos, como se muestra en la tabla 8. Es decir, si con respecto al criterio 1 el proveedor 1 es extremadamente mejor que el proveedor 2, su calificación asignada según la escala de comparación difusa de la tabla 6 es $d_{ij}=(8,9,9)$ y así sucesivamente con los demás criterios (Herrera & Osorio, 2006).

Tabla 8. Matriz difusa de comparación de alternativas nivel 2

Criterio 1	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor n
Proveedor 1	$d_{11} = (1,1,1)$	$d_{12} =$ (Comparación entre proveedor 1 y 2)	$d_{13} =$ (Comparación entre proveedor 1 y 3)	$d_{1n} =$ (Comparación entre proveedor 1 y n)
Proveedor 2	$d_{21} =$ Inverso de d_{12}	$d_{22} = (1,1,1)$	$d_{23} =$ (Comparación entre proveedor 2 y 3)	$d_{2n} =$ (Comparación entre proveedor 2 y n)
Proveedor 3	$d_{31} =$ Inverso de d_{13}	$d_{32} =$ Inverso de d_{23}	$d_{33} = (1,1,1)$	$d_{3n} =$ (Comparación entre proveedor 3 y n)
Proveedor n	$d_{n1} =$ Inverso de d_{1n}	$d_{n2} =$ Inverso de d_{2n}	$d_{n3} =$ Inverso de d_{3n}	$d_{nn} = (1,1,1)$

Fuente: (Herrera & Osorio, 2006)

Una vez definidas las matrices difusas de comparación nivel 1 y 2, se procede a consolidarlas a través de la media geométrica de las calificaciones de los expertos. Según Buckley, la media geométrica $\tilde{r}_i$ se calcula como la raíz n-ésima del producto de los números triangulares difusos con la siguiente ecuación (2) (Ayhan, 2013) :

$$\tilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n \tilde{d}_{ij} \right)^{1/n} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Paso 7. Cálculo del vector de prioridades o de pesos normalizados Ni

El vector de prioridades o de pesos normalizados Ni, establece el nivel de prioridad de un elemento sobre otro. Este vector se calcula para todos los niveles establecidos en el problema y para su cálculo es necesario realizar los pasos descritos a continuación (Ayhan, 2013).

- **Cálculo de los valores de comparación difusos**

Los valores de comparación difusos se calculan con la media geométrica $\tilde{r}_i$ establecida en la ecuación (2), para cada una de las matrices difusas de comparación nivel 1 y 2 consolidadas (Ayhan, 2013).

- **Cálculo de los pesos difusos relativos**

Para hallar los pesos difusos relativos $\tilde{w}_i$ de cada elemento i se debe multiplicar cada $\tilde{r}_i$ con el vector inverso como se muestra en la ecuación (3). Para ello, se debe calcular el vector suma para cada $\tilde{r}_i$ y encontrar el factor inverso de ese vector suma para números difusos triangulares (Ayhan, 2013).

$$\begin{aligned}\tilde{w}_i &= \tilde{r}_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (3) \\ &= (lw_i, mw_i, uw_i)\end{aligned}$$

- **Cálculo de M_i**

Como $\tilde{w}_i$ es un número triangular difuso debe ser defusificado según el método propuesto por (Chen, Wang, & Chang, 2006) mediante la ecuación (4).

$$M_i = \frac{l+4m+u}{6} \quad (4)$$

Una vez se obtiene M_i siendo un número no difuso, se normaliza mediante la ecuación (5). y de esta manera se obtiene el vector de prioridades o de pesos normalizados N_i tanto de los criterios como de las alternativas (Ayhan, 2013).

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (5)$$

Lo descrito anteriormente es para hallar el vector de prioridades de los criterios cualitativos. Para calcular el N_i de los criterios cuantitativos tales como tiempos de entrega y costo de retorno de productos devueltos, se debe obtener datos específicos suministrados por la empresa donde se desarrolle el caso estudio como por ejemplo, costo de productos retornados o promedio de días en que se demora el proveedor en retornar el producto. El factor inverso de cada uno de los datos obtenidos por cada alternativa va a representar el M_i , y posteriormente se realiza la respectiva normalización de acuerdo con la ecuación (5) para calcular el vector de prioridades N_i .

Paso 8. Análisis de consistencia lógica

Una vez calculado el vector de prioridades N_i se procede a realizar el análisis de consistencia lógica, el cual es usado para evaluar la congruencia de los juicios de las matrices difusas de comparación. Para ello, se debe realizar lo descrito a continuación.

- **Defusificación matrices difusas**

El método de defusificación, consiste en convertir las matrices difusas de comparación de las tablas 7 y 8 en matrices con números reales. Un número difuso triangular de la forma $M = (l, m, u)$ se convierte en un número real con la ecuación (4) mostrada anteriormente.

Al aplicar dicha ecuación se obtienen las matrices A de números reales de la siguiente forma:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

- **Cálculo del vector P**

Se multiplica la matriz A con el vector de prioridades N_i hallado anteriormente, obteniéndose el vector P como se muestra en (7) (Julian Mayor & Sergio Botero, 2016). Este proceso se repite hasta terminar todas las comparaciones de los elementos del modelo (criterios y alternativas).

$$A \cdot N_i = P$$
$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & & a_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} N_{i1} \\ N_{i2} \\ \vdots \\ N_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{12} \\ \vdots \\ P_{1n} \end{bmatrix} \quad (7)$$

- **Cálculo del vector D.**

El vector D es la razón entre el vector P y el vector N_i por cada elemento.

- **Cálculo del índice de consistencia CI**

El promedio de los elementos del vector D es λ_{max} y posteriormente se procede a calcular el índice de consistencia CI que permite medir la consistencia de los juicios emitidos por los expertos. Se expresa de la siguiente manera en (8) (Julian Mayor & Sergio Botero, 2016):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (8)$$

Cuanto más próximo esté el valor de $\lambda_{\max}$ a n , siendo n la dimensión de la matriz, mayor es la consistencia de los juicios (García & Jiménez, 2009).

- **Cálculo de la relación de consistencia CR**

El índice de consistencia CI se divide entre el índice de consistencia aleatorio IA y de esta manera se obtiene la relación de consistencia CR como se muestra en (9) (Julian Mayor & Sergio Botero, 2016).

$$CR = \frac{CI}{IA} \quad (9)$$

El índice de consistencia aleatorio es un valor constante para una matriz $n \times n$ (Julian Mayor & Sergio Botero, 2016).

(Saaty, 1997) ha aproximado los índices de consistencia aleatorios IA para diversos tamaños de muestra N de acuerdo con diferentes ensayos concluyendo que si el CR es inferior a 0,1 la matriz es consistente. A continuación, en la tabla 9 se muestra los índices de consistencia aleatorios para diversos tamaños de muestra.

Tabla 9. Índices de consistencia aleatorios para diversos tamaños de muestra

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: (Saaty, 1997)

Si las matrices no son consistentes se debe revisar el juicio de los expertos hasta que la relación de consistencia sea inferior a 0,1.

Paso 9. Selección del proveedor 3PRLP

Se debe multiplicar cada uno de los vectores de prioridades VP asociados a las alternativas, por el vector de prioridad VP asociado a los criterios. La alternativa con la suma ponderada mayor será el proveedor 3PRLP seleccionado del proceso de toma de decisiones planteado. A continuación, se aplicará la metodología propuesta a través de un caso estudio.

8. CASO ESTUDIO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR 3PLRP DE RETORNO DE PRODUCTOS DEVUELTOS

8.1 CONTEXTO GENERAL

El presente caso estudio se desarrolló con base a la metodología propuesta anteriormente en el capítulo 7 que combina el AHP con la lógica difusa para seleccionar a un proveedor 3PLRP de retorno de productos devueltos, en una empresa manufacturera del sector textil, ubicada en la ciudad de Cali. La selección de este proveedor es de suma importancia dentro de la cadena de suministro de la empresa pues este se encarga de recoger los productos que por temas de calidad no cumplen con las especificaciones de los clientes y deben ser retornarlos a la empresa, donde se inspeccionan y dependiendo a la severidad del defecto se decide si reemplazarlo por un producto nuevo o arreglarlo.

8.2 PASOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

A continuación, se describen los pasos de aplicación de la metodología propuesta, en la empresa caso estudio y en el anexo 4 se presenta el archivo en excel, con todos los cálculos respectivos del modelo AHP difuso aplicado.

Paso 1. Selección del grupo de expertos

El grupo de expertos está conformado por 4 personas involucradas en el proceso de selección de proveedores 3PLRP de retorno de productos devueltos. Dentro del área de despachos se encuentra el departamento de devoluciones y averías, los 4 expertos involucrados pertenecen a este departamento. A continuación, en la tabla 10, se presenta una breve descripción de sus labores.

Tabla 10. Descripción cargo de expertos

	Cargo	Descripción
Experto 1	Jefe de despachos	Aprueba las devoluciones y cambios de averías.
Experto 2	Coordinador de despachos	Programa y coordina el transporte que retorna las devoluciones de los clientes.
Experto 3	Auxiliar de despachos.	Brinda apoyo en las labores del coordinador de despachos y reemplaza su cargo cuando éste no está.
Experto 4	Analista de compras	Aprueba la contratación del transporte que recogerá los productos devueltos por los clientes.

Fuente: Elaboración propia

Paso 2. Definición de criterios

Para la elección final de los criterios se analizaron los resultados obtenidos en la encuesta aplicada en el anexo 2, en donde se calcularon los porcentajes de calificación como el cociente entre la suma total de la calificación proporcionada por el grupo de expertos a cada criterio y la máxima calificación que un experto pudiese otorgar, en este caso 9 multiplicado por los 4 expertos. Se eligieron los criterios que estuvieron por encima del 80% como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados calificación criterios a partir del juicio de expertos encuestados

CRITERIO	TOTAL CALIFICACIÓN EXPERTOS	MÁXIMA CALIFICACIÓN	PORCENTAJE
Solvencia económica	30	36	83%
Localización geográfica	27	36	75%
Claridad en los términos de contratación	32	36	89%
Registro de relaciones laborales	25	36	69%
Historia del funcionamiento	30	36	83%
Capacidad de intercambio electrónico de datos	28	36	78%
Gestión y Nivel de TI	24	36	67%
Impactos de la Contaminación Ambiental y cumplimiento de políticas o leyes ambientales	28	36	78%
Costo de retorno de productos devueltos	34	36	94%
Flexibilidad del sistema	31	36	86%
Satisfacción del cliente	33	36	92%
Disponibilidad del equipo	33	36	92%
Tiempos de entrega.	34	36	94%

Fuente: Elaboración propia

Con base en lo mencionado anteriormente se definieron 8 criterios:

1. Tiempos de entrega
2. Disponibilidad de quipo
3. Satisfacción del cliente
4. Flexibilidad del sistema
5. Historia del funcionamiento
6. Claridad en los términos de contratación
7. Costo de retorno de productos devueltos
8. Solvencia económica

Paso 3. Definición de alternativas

A partir de la información suministrada por la empresa se definieron 3 posibles proveedores o alternativas capacitados para prestar el servicio de retorno de productos devueltos:

- Proveedor a
- Proveedor b
- Proveedor c

Paso 4. Construcción de la jerarquía del problema

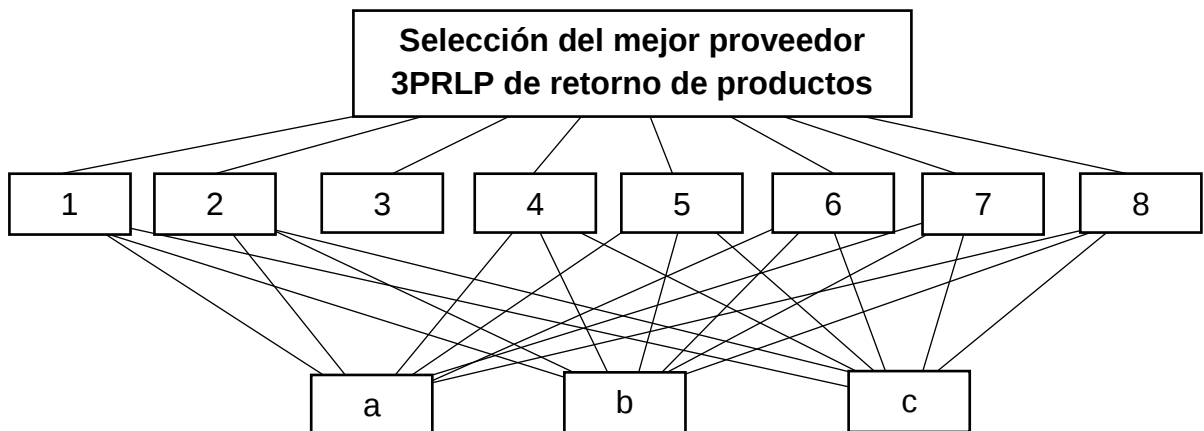


Figura 7. Estructura jerárquica del caso de estudio
Fuente: Adaptado de (Herrera & Osorio, 2006)

Como se observa en la figura 7, el problema está estructurado en tres niveles: en el nivel superior se encuentra el objetivo general “selección del mejor proveedor 3PRLP de retorno de productos”, en el nivel medio los 8 criterios seleccionados por los expertos y en el nivel inferior las tres alternativas definidas anteriormente.

Paso 5. Representación difusa de la escala de comparación

La escala difusa propuesta en el capítulo 7 (ver tabla 6), se utilizará para la aplicación de la metodología en el caso de estudio.

Paso 6. Construcción de las matrices difusas de comparación

La construcción de las matrices difusas de comparación nivel 1 y 2 se realizó de acuerdo con el paso 6 de la metodología propuesta en donde se aplicó el cuestionario (ver anexo 3) a los expertos de la empresa seleccionada para que realizaran la comparación por pares de cada uno de los niveles de jerarquía del problema. A continuación, se presenta la matriz difusa de comparación nivel 1 consolidada y una de las 6 matrices difusas nivel 2 consolidada (ver tabla 12 y 13 respectivamente), en el anexo 4 se encuentran las matrices restantes.

Tabla 12. Matriz difusa de comparación nivel 1 consolidada

MATRIZ DIFUSA DE COMPARACIÓN NIVEL 1 CONSOLIDADA													
Objetivo	1			2			3			...	8		
1	1	1	2	1,41	1,63	2,21	1,52	1,97	2,45	...	1,19	1,57	2,63
2	0,56	0,56	0,80	1,00	1,00	2,00	0,43	0,59	0,80	..	1,19	1,57	2,63
3	0,43	0,51	0,69	1,50	1,78	2,55	1,00	1,00	2,00	...	2,63	3,66	4,68
4	1,07	1,32	1,86	3,72	4,79	5,83	1,52	1,97	2,45	...	2,28	3,36	4,40
5	1,41	1,50	2,63	1,68	2,24	2,91	1,07	1,32	1,86	...	1,00	1,00	2,00
6	0,90	1,14	1,46	1,78	2,34	3,03	1,07	1,32	1,86	...	2,71	3,72	4,73
7	0,25	0,28	0,42	0,27	0,41	0,71	0,27	0,34	0,46	...	0,33	0,46	0,65
8	0,55	0,62	1,19	0,74	0,74	1,41	0,24	0,27	0,39	...	1,00	1,00	2,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Matriz difusa de comparación nivel 2 consolidada para criterio 2

MATRIZ DIFUSA DE COMPARACIÓN NIVEL 2 CONSOLIDADA									
Criterio 2	A			b			c		
a	1,00	1,00	2,00	2,78	3,83	4,86	2,78	3,83	4,86
b	0,21	0,27	0,35	1,00	1,00	2,00	1,57	2,21	3,31
c	0,21	0,27	0,35	0,37	0,46	0,74	1,00	1,00	2,00

Fuente: Fuente: Elaboración propia

Para los criterios tiempos de entrega y costo del retorno no se realizó matriz de comparación ya que estos son criterios cuantitativos por lo cual para determinar la mejor alternativa se debe de conocer los precios y tiempos de entrega asociados a cada proveedor (ver anexo 4).

Paso 7. Cálculo del vector de prioridades o de pesos normalizados Ni

Se halla el vector de prioridad o de pesos normalizados Ni para cada uno de los criterios y alternativas de las matrices de juicio del modelo.

- Cálculo de los valores de comparación difusos**

Se calculan los valores de comparación difusos $\tilde{r}_i$, aplicando la ecuación (2) de la media geométrica, para cada una de las matrices difusas de comparación nivel 1 y 2 consolidadas. A continuación, se muestra el desarrollo de la fórmula aplicada a la tabla 12 matriz de juicio nivel 1 consolidada para el criterio 1 y en la tabla 14 se muestra el consolidado de los valores de comparación difusos $\tilde{r}_i$ para cada criterio.

$$\tilde{r}_i = [(1*1,41*1,52*0,64*1*0,67*0,72*2,38*1,189) (1/8); (1*1,63*1,97*0,76*0,67*0,88*3,41*1,57) (1/8); (2*2,21*2,45*1,11*1,24*1,16*4,43*2,632) (1/8)] = [1,08; 1,29; 1,94]$$

Tabla 14. Valores de comparación difusos

Valores de comparación difusos $\tilde{r}_i$			
1	1,08	1,29	1,94
2	0,56	0,71	1,15
3	0,96	1,14	1,66
4	1,51	1,89	2,64
5	1,18	1,36	2,06
6	1,41	1,75	2,41
7	0,29	0,36	0,53
8	0,57	0,70	1,06
Total	7,56	9,20	13,46
Total inverso	0,07	0,11	0,13

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo de los pesos difusos relativos**

Para hallar los pesos difusos relativos $\widetilde{w}_i$ de cada elemento se multiplica cada $\widetilde{r}_i$ de la tabla 14 con el vector inverso aplicando la ecuación (3) como se muestra a continuación.

$$W1 = [(1,08*0,07) ;(1,29*0,11) ;(1,94*0,13)] = [0,08; 0,14; 0,26]$$

Este procedimiento es aplicado a cada criterio, hasta obtener la tabla 15 que describe los pesos difusos relativos de cada criterio.

Tabla 15. Pesos difusos relativos w_i

Pesos difusos relativos $\widetilde{w}_i$			
1	0,08	0,14	0,26
2	0,04	0,08	0,15
3	0,07	0,12	0,22
4	0,11	0,21	0,35
5	0,09	0,15	0,27
6	0,10	0,19	0,32
7	0,02	0,04	0,07
8	0,04	0,08	0,14

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo de M_i**

A continuación, se procede a desfuzzificar $\widetilde{w}_i$ mediante la ecuación (4), para obtener M_i , el cual al ser un número no difuso se normaliza mediante la ecuación (5) y de esta manera se obtiene el vector de prioridades o de pesos normalizados N_i (ver tabla 16).

Tabla 16. Vector de prioridades o de pesos normalizados Ni

Mi		Ni
1	0,16	0,14
2	0,09	0,08
3	0,14	0,12
4	0,22	0,20
5	0,17	0,15
6	0,20	0,18
7	0,04	0,04
8	0,09	0,08
Total	1,11	1,00

Fuente: Elaboración propia

Se aplica la misma metodología para encontrar los vectores de prioridad de cada alternativa con respecto a cada criterio. En el caso de los criterios tiempos de entrega y costo de los productos retornados se realiza el cálculo del vector de prioridad de las alternativas usando los datos de cada proveedor suministrados por los expertos responsables del proceso de selección de proveedores 3PLRP de la organización como se explicó en la metodología, los resultados obtenidos se evidencian en la tabla 17 y la tabla 18.

Tabla 17. Vector ponderado criterio tiempos de entrega

Proveedor	Tiempo de entrega	Ni
A	2	0,2857143
B	1	0,5714286
C	4	0,1428571

Fuente: Elaboración propia

El vector prioridad se calcula de acuerdo con el promedio de días en que demora el proveedor en retornar el producto desde el cliente final hasta la fábrica.

Tabla 18. Vector ponderado criterio costo del producto retornado

Proveedor	Costo de retorno	Ni
A	\$ 10.500	0,3731343
B	\$ 12.500	0,3134328
C	\$ 12.500	0,3134328

Fuente: Elaboración propia

El criterio costo de retorno es un criterio cuantitativo, este valor va ligado a un seguro o póliza, el cual varía dependiendo del costo del producto retornado. Para este ejemplo en particular, los costos de productos retornado son de una prenda de \$100,000.

Paso 8. Análisis de consistencia lógica

Se validó que los juicios del grupo de expertos fueran coherentes entre sí, para esto se calculó el índice de consistencia lógica para cada una de las matrices difusas de comparación del modelo.

- **Defuzzificación matrices difusas**

Se empleó el método de defusificación convirtiendo todas las matrices difusas en matrices con números reales aplicando la ecuación (4). En la tabla 19 se observa la matriz difusa de comparación nivel 1 mostrada en la tabla 12, convertida a números reales.

Tabla 19. Matriz (A) con números reales

MATRIZ (A) CON NÚMEROS REALES								
CRITERIOS	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00	1,69	1,97	0,80	0,76	0,90	3,41	1,68
2	0,59	1,00	0,60	0,27	0,49	0,44	3,00	1,68
3	0,51	1,68	1,00	0,52	0,80	0,80	3,04	3,66
4	1,25	3,76	1,91	1,00	1,37	0,80	3,87	3,36
5	1,31	2,03	1,25	0,73	1,00	0,89	3,93	1,17
6	1,11	2,26	1,25	1,25	1,12	1,00	4,47	3,72
7	0,29	0,33	0,33	0,26	0,25	0,22	1,00	0,47
8	0,60	0,60	0,27	0,30	0,86	0,27	2,12	1,00
Total	6,66	13,34	8,58	5,13	6,65	5,32	24,85	16,74

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del vector P**

Se multiplica la matriz (A) con números reales mostrada en la tabla 19 con el vector de prioridades N_i hallado anteriormente (ver tabla 16), obteniéndose el vector P como se muestra en la tabla 20. Este proceso se repite hasta terminar todas las comparaciones de los elementos del modelo (criterios y alternativas).

Tabla 20. Vector P

Criterio	P
1	1,23
2	0,70
3	1,11
4	1,68
5	1,21
6	1,56
7	0,32
8	0,57

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del vector D**

El siguiente paso es realizar el cálculo del vector D, dividiendo cada término del vector prioridad N_i entre cada término del vector ponderado P (ver tabla 21).

Tabla 21. Vector D

Criterio	D
1	8,68
2	8,76
3	8,92
4	8,31
5	8,08
6	8,38
7	8,03
8	7,33

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo del índice de consistencia CI**

Finalmente se calcula el valor de λ_{max} como el promedio de los elementos del vector D para así calcular CI empleando la ecuación (8), planteada en la metodología propuesta, donde n es igual al número de criterios o alternativas, para este ejemplo en particular la matriz de comparación nivel 1, n es igual a 8 criterios.

$$\lambda_{max} = \frac{8,68 + 8,76 + 8,92 + 8,31 + 8,08 + 8,38 + 8,03 + 7,33}{8} = 8,31$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{8,27 - 8}{8 - 1} = 0,04$$

- **Cálculo de la relación de consistencia CR**

Por último, se procede a calcular la relación de consistencia CR, aplicando la ecuación (9), donde IA según la escala de saaty mostrada en la tabla 9 para un tamaño de muestra 8 es igual a 1,41:

$$CR = \frac{CI}{IA} = \frac{0,04}{1,41} = 0,03$$

Dado que el índice de consistencia es menor a 0.1, se dice que la matriz es consistente y por consiguiente los juicios dados por los expertos del proceso de selección para comparar los criterios también lo son. Se aplica el mismo procedimiento para calcular el índice de consistencia de las 6 matrices restantes. En la tabla 22 se presentan los índices obtenidos en cada uno de los casos.

Tabla 22. Índices de consistencia de matrices difusas de comparación

Matriz difusa de comparación	Índice de consistencia	Estado
Comparación entre criterios	0,03	Consistente
Comparación entre alternativas con respecto al criterio de Disponibilidad de equipo.	0,02	Consistente
Comparación entre alternativas con respecto al criterio de satisfacción del cliente.	0,07	Consistente
Comparación entre alternativas con respecto al criterio de flexibilidad del sistema.	0,09	Consistente
Comparación entre alternativas con respecto al criterio de historia del funcionamiento.	0,05	Consistente
Comparación entre alternativas con respecto al criterio de claridad en los términos de contratación.	0,06	Consistente

Comparación entre alternativas con respecto al criterio de solvencia económica.	0,02	Consistente
---	------	-------------

Fuente: Elaboración propia

Paso 9. Selección del proveedor 3PRLP

Con las vectores prioridades de las alternativas y de los criterios, se construye la matriz de pesos normalizados, mostrada en la tabla 23. Luego se multiplica cada uno de los vectores de prioridad asociados a las alternativas, por el vector de prioridad de los 8 criterios, obteniendo como resultado la suma ponderada de cada alternativa como se muestra en la tabla 24.

Tabla 23. Matriz de pesos normalizados

TABLA DE PESOS	Pesos criterios	Pesos alternativa a	Pesos alternativa b	Pesos alternativa c
1	0,14	0,29	0,57	0,14
2	0,08	0,39	0,50	0,11
3	0,12	0,64	0,22	0,13
4	0,20	0,70	0,22	0,08
5	0,15	0,52	0,36	0,12
6	0,19	0,53	0,36	0,12
7	0,04	0,37	0,31	0,31
8	0,08	0,50	0,37	0,13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Suma ponderada

ELECCIÓN FINAL	a	b	c
1	0,04	0,08	0,02
2	0,03	0,04	0,01
3	0,08	0,03	0,02
4	0,14	0,04	0,02
5	0,08	0,05	0,02
6	0,10	0,07	0,02
7	0,01	0,01	0,01
8	0,04	0,03	0,01
TOTAL	0,52	0,35	0,13

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 23, la alternativa a, tiene la suma ponderada mayor con un resultado de 0,52 y, por lo tanto, es el proveedor 3PRLP de retorno de productos devueltos seleccionado en el presente caso estudio, el cual es el que mejor se ajusta a los objetivos de la organización según el modelo desarrollado.

9. CONCLUSIONES

- En la actualidad las empresas están implementando procesos de logística inversa dentro sus actividades con el fin de mejorar su competitividad, ya que se han dado cuenta que una buena gestión de los productos retornados por los clientes genera ahorros en costos, tiempos de entrega, recuperación de materiales y disminución del impacto ambiental lo que contribuye al cumplimiento de los objetivos estratégicos de las organizaciones.
- La herramienta multicriterio AHP difuso es muy útil para seleccionar un proveedor 3PLRP ya que tiene en cuenta la vaguedad de los juicios humanos en la toma de decisiones, lo que permite establecer una congruencia o consistencia lógica frente a la incertidumbre que se presenta en procesos de estructuras complejas como la logística inversa.
- Se evidencia una coherencia entre los resultados obtenidos entre la situación actual de las organizaciones que fueron encuestadas y la revisión bibliográfica con respecto al principal servicio tercerizado de logística inversa en los últimos 5 años, el cual es el retorno de productos devueltos con una participación del 60,7% y 66,7% respectivamente.
- Se diseñó una metodología multicriterio para la selección de un proveedor 3PLRP, la cual fue presentada y aplicada en una empresa manufacturera colombiana del sector textil; mostrando de esta forma, una alternativa viable para las empresas en la selección del mejor proveedor 3PL de logística inversa que se ajuste a sus necesidades y objetivos.
- Con el desarrollo del caso estudio se evidencia que la metodología implementada es práctica, adaptable y de fácil entendimiento para las organizaciones ya que se ajusta a sus necesidades y tiene en cuenta los juicios y criterios de los expertos encargados de la toma de decisiones al momento de seleccionar un proveedor 3PLRP.
- Siguiendo los diferentes pasos establecidos en la metodología propuesta, se espera que sea de gran utilidad para las empresas que subcontratan servicios de logística inversa, y requieren seleccionar el mejor proveedor que se ajuste a sus condiciones y se alinee con sus objetivos.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguezzoul, A. (2014). Third-party logistics selection problem: A literature review on criteria and methods. *Omega (United Kingdom)*, 49, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.05.009>
- Arroyo López, P., Villanueva Bringas, M., Gaytan Iniestra, J., & García Vargas, M. (2014). Simulación de la tasa de reciclaje de productos electrónicos. Un modelo de dinámica de sistemas. *Contaduría Y Administración*, 59(1), 9–41. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0186-1042\(14\)71242-2](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71242-2)
- Ayhan, M. B. (2013). A FUZZY AHP APPROACH FOR SUPPLIER S ELECTION PROBLEM: A CASE STUDY IN A GEARMOTOR COMPANY, 4(3), 11–23. <https://doi.org/10.5121/ijmvsc.2013.4302>
- Ayhan, M. B. (2013). A Fuzzy AHP Approach for Supplier Selection Problem: A Case Study in a Gearmotor Company. *Internation Journal of Managing Value and Supply Chains (IJMVSC)*, 4(3), 11–23. <https://doi.org/10.5121/ijmvsc.2013.4302>
- Balli, B. (2011). La Logística Reversa o Inversa, Aporte al Control de Devoluciones y Residuos en la Gestión de la Cadena de Abastecimiento.
- Çetin, A., Altekin, F. T., & Güvenç, S. (2014). Computers & Industrial Engineering Hybrid simulation-analytical modeling approaches for the reverse logistics network design of a third-party logistics provider, 70, 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.01.004>
- Chen, S. H., Wang, S. T., & Chang, S. M. (2006). Some properties of graded mean integration representation of L-R type fuzzy numbers. *Tamsui Oxford Journal of Information and Mathematical Sciences*, 22(2), 185–208.
- García, M. D. S., & Jiménez, M. T. L. (2009). *Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y “Soft Computing.”* Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos.
- Gaviria, S., Mejía, L., Gómez, E., & Dimitri, V. (2015). Encuesta Nacional de Logística. *Colombia Es Logística*, 1(logística nacional), 1–108. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Guarnieri, P., Amorim, V., Seido, M., & Serrano, A. (2015). The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective : a Brazilian case, 96. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.040>
- Gupta, R., Sachdeva, A., & Bhardwaj, A. (2011). Criteria of Selecting 3pl Provider: A Literature. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 59(11), p.2020-2024.
- Herrera, F., & Osorio, J. (2006). Modelo para la gestión de proveedores utilizando ahp difuso, 69–88.
- Jayant, A., Gupta, P., Garg, S. K., & Khan, M. (2014). TOPSIS-AHP Based Approach for Selection of Reverse Logistics Service Provider : A Case Study of Mobile Phone Industry, 97, 2147–2156. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.458>
- Julian Mayor, & Sergio Botero. (2016). Modelo de decisión multicriterio difuso para la selección de contratistas en proyectos de infraestructura: caso Colombia, 56–74.
- Kannan, G., Pokharel, S., & Kumar, P. S. (2009). A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(1), 28–36. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.06.004>
- Min, H., & Ko, H. (2008). The dynamic design of a reverse logistics network from the perspective of third-party logistics service providers, 113, 176–192. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.01.017>
- Moghaddam, K. S. (2015). Expert Systems with Applications Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty. *Expert Systems With Applications*, 42(15–16), 6237–6254. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.010>
- Montero, c. (2012). Modelo multicriterio para la evaluación de la aplicación de programas de logística reversiva caso aplicativo: empresa típica del valle del cauca. universidad del valle.
- Murali, S., Pugazhendhi, S., & Ganesh, K. (2011). Role of Third Party Logistics Providers In Reverse Logistics. *International Science Press*, 1(12), 77–84.

- Murphy, P. (1986). Un estudio preliminar de transporte y almacenamiento de los aspectos de distribución inversa *Transp. J.*, 86 (25) (1986), pp. 12-21
- Osorio, C., Carime, L., Guerrero, U., & Stella, L. (2016). De Carga Terrestre, 32, 35–43.
- Phaneendra, A. N., Reddy, V. D., & Srikrishna, S. (2016). An Approach to Selection of Third Party Reverse Logistics provider for Mobile Phone Industry using VIKOR Method, 4(1), 4–9.
- Prakash, C., & Barua, M. K. (2015). Integration of AHP-TOPSIS method for prioritizing the solutions of reverse logistics adoption to overcome its barriers under fuzzy environment. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 599–615. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.03.001>
- Prakash, C., & Barua, M. K. (2016). A combined MCDM approach for evaluation and selection of third-party reverse logistics partner for Indian electronics industry. *Sustainable Production and Consumption*, 7(August 2015), 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.04.001>
- Prakash, C., & Barua, M. K. (2016). An analysis of integrated robust hybrid model for third-party reverse logistics partner selection under fuzzy environment. *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 63–81. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.12.011>
- Prakash, C., & Barua, M. K. (2016). Resources , Conservation and Recycling An analysis of integrated robust hybrid model for third-party reverse logistics partner selection under fuzzy environment. “*Resources, Conservation & Recycling*,” 108, 63–81. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.12.011>
- Reina, D., & Jimenez Moscovitz, L. (2008). *Fundamentos de Matemática Difusa*. Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Facultad de Matemáticas. Fundación Universitaria Konrad Lorenz.
- Rezaei, J. (2015). A systematic review of multi-criteria decision-making applications in reverse logistics. *Transportation Research Procedia*, 10(July), 766–776. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.030>
- Rubio, S. (2003). El sistema de logística inversa en la empresa: análisis y aplicaciones. Universidad de Extremadura. De: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=305>

- Sangwan, K. S. (2017). Key Activities, Decision Variables and Performance Indicators of Reverse Logistics. *Procedia CIRP*, 61, 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.185>
- Senthil, S., Srirangacharyulu, B., & Ramesh, A. (2014). Expert Systems with Applications A robust hybrid multi-criteria decision making methodology for contractor evaluation and selection in third-party reverse logistics. *Expert Systems With Applications*, 41(1), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.010>
- Srichetta, P., & Thurachon, W. (2012). Applying Fuzzy Analytic Hierarchy Process to Evaluate and Select Product of Notebook Computers. *International Journal of Modeling and Optimization*, 2(2), 168–173. <https://doi.org/10.7763/IJMO.2012.V2.105>
- Tavana, M., Zareinejad, M., & Di, D. (2016). An integrated intuitionistic fuzzy AHP and SWOT method for outsourcing reverse logistics. *Applied Soft Computing Journal*, 40, 544–557. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.12.005>
- Urbano, L., Muñoz, S., & Osorio, J. (2016). Selección multicriterio de aliado estratégico para la operación de carga terrestre. *Estudios Gerenciales*, 32(138), 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2015.09.002>
- Zapata, A. (2011). *Metodología para la implementación de tecnologías de la información y las comunicaciones TIC's para soportar una estrategia de cadena de suministro esbelta*. tesis de maestría. Nacional de Colombia.
- Zhu, X. (2015). Management the risks of outsourcing : Time , quality and correlated costs. *Transportation Research Part E*, 90, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.06.005>
- Zouggari, A., & Benyoucef, L. (2012). Simulation based fuzzy TOPSIS approach for group multi-criteria supplier selection problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(3), 507–519. <http://doi.org/10.1016/j.engappai.2011.10.012>