

**MODELO MULTICRITERIO PARA EL SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES
DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE LOGÍSTICA INVERSA EN UNA
EMPRESA DE LA REGIÓN.**

**LUIS ANGEL RODRÍGUEZ MURILLO
CHRISTIAN JULIÁN ESPINOSA GAVIRIA**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
DICIEMBRE 2014**

**MODELO MULTICRITERIO PARA EL SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES
DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE LOGÍSTICA INVERSA EN UNA
EMPRESA DE LA REGIÓN.**

LUIS ANGEL RODRÍGUEZ MURILLO

CÓDIGO: 0840180

CHRISTIAN JULIÁN ESPINOSA GAVIRIA

CÓDIGO: 1032337

DIRECTOR

MSc. JUAN CARLOS OSORIO GÓMEZ



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
DICIEMBRE 2014**

Nota de aceptación

Firma del director

JUAN CARLOS OSORIO GÓMEZ

Ingeniero Industrial, MSc.

Firma del evaluador

Firma del evaluador

Santiago de Cali, ____ de _____ del _____

AGRADECIMIENTOS

En la vida todos tenemos altibajos que nos ayudan a formarnos como personas y como profesionales.

Agradecemos infinitamente a Dios por la fortaleza que nos brindó para seguir día a día, a nuestro director Juan Carlos Osorio le debemos todos los consejos y conocimientos que durante este periodo nos ofreció constantemente, a nuestros profesores de ingeniería industrial por contribuir con nuestra formación como profesionales, dándonos enseñanzas de vida, a todo el personal de la empresa que nos abrió las puertas con la mejor disposición ; hay tanto por agradecer ya que sin todos los que estuvieron acompañándonos durante esta etapa no hubiera sido posible finalizar con éxito este proceso.

A todos y todas mil y mil gracias.

DEDICATORIA

Gracias a Dios por darme vida para lograr esta meta tan importante para mí, quiero dedicar este logro a mi familia por darme su apoyo y fortaleza para seguir adelante, a mi mamá Martha por siempre estar presente cuando más la necesito, por ser consejera y amiga, a mi papá Richard por su apoyo, interés y disposición cuando he necesitado su ayuda, a mi hermano Richard por su apoyo día a día, a mi tío Jairo por ser un apoyo y un guía, y por último y no menos importante a mi abuela Ligia quien desde el cielo yo sé que se siente orgullosa de este éxito. Infinitas gracias a todos quienes me han apoyado y han contribuido al alcance de este logro.

Christian

Ante todo gracias a mi familia conformada por mi padre Ángel, mi madre María Luisa y mi hermano Jhon, por ese apoyo y ese amor incondicional que me brindan día a día y que me da fuerzas para salir adelante. Agradezco a Dios por haberme dado los mejores padres del mundo, son las personas a quienes más admiro y gracias a sus valores enseñados, consejos, enseñanzas, regaños, comprensión entre otras tantas cosas, soy la persona que soy y seré la persona que voy a ser. Todo este esfuerzo es dedicado a ellos, ya que gracias a su esfuerzo y tenacidad he logrado materializar todo lo propuesto hasta ahora.

Luis Angel

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo General.....	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1. Logística inversa	22
3.2 El flujo inverso	25
3.3 Relación y beneficios de la logística inversa con las empresas.	27
3.4 La logística inversa en Colombia.....	29
4. ELEMENTOS CLAVES INFLUYENTES EN LA EJECUCIÓN DE PROGRAMAS DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	31
4.1 Alternativas finales para los productos en el canal inverso.	31
4.2 Outsourcing en la logística inversa.....	34
4.3 Modelos cuantitativos para el análisis de los sistemas de logística inversa .	35
4.3.1 Modelos para la reutilización	35
4.3.2 Modelos para el reciclaje	36
4.3.3 Modelos para la refabricación.....	38
5. HERRAMIENTAS MULTICRITERIO	39
5.1 Resultados de estudio bibliográfico.....	39
5.2 Descripción de principales herramientas multicriterio	42
5.2.1 Proceso Analítico Jerárquico (AHP).....	43
5.2.2 Lógica Difusa	43
5.2.3 Proceso Analítico en Red (ANP).....	44
5.2.4 Proceso Analítico Jerárquico Difuso	44
5.3 Modelo propuesto.....	45
5.3.1 Proceso Analítico en Red (ANP).....	45

6.	PROCESO DE PRIORIZACIÓN APLICADO	52
6.1	Contextualización del sector empresarial	52
6.2	Contextualización de la empresa	53
6.3	Selección de expertos.	53
6.4	Identificación de alternativas, clúster y elementos de decisión	54
6.5	Determinación de influencias.	62
6.6	Construcción del modelo	66
7.	CONCLUSIONES	73
8.	BIBLIOGRAFIA.....	75
9.	ANEXOS.....	79
9.1	Anexo 1. Tablas de influencias.....	79
9.2	Anexo 2. Esquema de la encuesta.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Divisiones de la logística.....	21
Figura 2. Flujo de actividades de la logística inversa.....	23
Figura 3. Beneficios de la logística inversa.....	28
Figura 4. Opciones de reprocesamiento de la logística inversa.....	33
Figura 5. Integración de la logística de reversa y la gestión de residuos sólidos.....	34
Figura 6. Conexiones en la red.....	47
Figura 7. Ilustración de influencias existentes entre alternativas- elementos de decisión y elementos de decisión- alternativas.....	63
Figura 8. Ilustración de influencias existentes entre alternativas.....	64
Figura 9. Ilustración de influencias existentes entre los elementos de decisión.....	64
Figura 10. Matriz de Influencias.....	66
Figura 11. Modelo de relaciones ANP.....	67
Figura 12. Supermatriz Original.....	69
Figura 13. Supermatriz Ponderada.....	69
Figura 14. Supermatriz Límite.....	70
Figura 15. Priorización de los elementos de decisión del modelo.....	71
Figura 16. Presentación de la encuesta.....	86
Figura 17. Descripción de las alternativas.....	86
Figura 18. Instrucciones de la encuesta.....	87
Figura 19. Ejemplo de diligenciamiento de la encuesta. Comparación de Alternativas.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Razones para la introducción de material en el flujo inverso, según tipo y origen.....	26
Tabla 2. Características de distintas alternativas finales	32
Tabla 3. Años de publicación y número de artículos revisados.	40
Tabla 4. Frecuencia de utilización de las herramientas multicriterio de manera individual.....	40
Tabla 5. Frecuencia de utilización de las herramientas multicriterio de manera combinada.	41
Tabla 6. Principales decisiones tomadas con los modelos multicriterio revisados.	42
Tabla 7. Índice de Consistencia Aleatorio (IA) para diferentes dimensiones de la matriz (n).....	48
Tabla 8. Matriz de dominación interfactorial.	49
Tabla 9. Influencia de e_{12} y e_{13} sobre e_{11}	50
Tabla 10. Matriz de comparación pareada de la influencia de los clústers C1 y C2 sobre los elementos del clúster c1	51
Tabla 11. Ejemplo de Supermatriz límite.	51
Tabla 12. Clúster y elementos de decisión	59
Tabla 13. Abreviatura de los elementos de decisión.	62
Tabla 14. Influencias existentes entre Alternativas.....	65
Tabla 15. Influencias existentes entre el elemento de decisión costos y los demás elementos.	65
Tabla 16. Tabla de preferencias	68
Tabla 17. Priorización de las alternativas del modelo.....	68
Tabla 18. Priorización de las alternativas del modelo.....	71
Tabla 19. Influencias existentes entre el elemento de decisión Inversión y demás elementos	79
Tabla 20. Influencias existentes entre el elemento de decisión Rentabilidad y demás elementos.....	80
Tabla 21. Influencias existentes entre el elemento de decisión Beneficios e Incentivos Tributarios y demás elementos.....	80
Tabla 22. Influencias existentes entre el elemento de decisión Riesgo y demás elementos	80
Tabla 23. Influencias existentes entre el elemento de decisión Gestión del Control de Productos y demás elementos.....	81
Tabla 24. Influencias existentes entre el elemento de decisión Impacto Ambiental y demás elementos.....	81

Tabla 25. Influencias existentes entre el elemento de decisión Normatividad Ambiental y demás elementos.....	82
Tabla 26. Influencias existentes entre el elemento de decisión Infraestructura y demás elementos.....	83
Tabla 27. Influencias existentes entre el elemento de decisión Vigilancia e Inteligencia Competitiva y demás elementos.....	84
Tabla 28. Influencias existentes entre el elemento de decisión Empleos y demás elementos	85
Tabla 29. Influencias existentes entre el elemento de decisión Normatividad de los Productos Plásticos y demás elementos	85

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Índice de Consistencia (IC)	47
Ecuación 2. Razón de Consistencia (RC).....	48
Ecuación 3. Ecuación de la media geométrica.	68

INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del hombre, éste siempre ha estado en contacto con su entorno, utilizando sus recursos y provocando cambios en el medio que lo rodea. Con la revolución industrial, estos efectos se han ido incrementando, lo que ha afectado considerablemente el medio ambiente. Desde entonces, hasta nuestros días, la productividad se ha visto multiplicada, incrementándose así el consumo de recursos y la generación de residuos (Díaz A, 2004).

En un mundo cada vez más globalizado y competitivo, las empresas tienen que buscar todas las maneras posibles para tratar de aprovechar al máximo los recursos y mecanismos que utilizan en su proceso productivo. Por esta razón, debe aprovecharse hasta al más mínimo “desperdicio y/o desecho” que se presente en el proceso, ya que muchas veces pueden encontrar en ellos iniciativas que les representen muchos beneficios.

La logística es una función operativa importante que comprende todas las actividades necesarias para la obtención y administración de materias primas y componentes, así como el manejo de los productos terminados, su empaque y su distribución a los clientes (Ferrel, 2004; p 282).

La logística Inversa “es el proceso de planificación, desarrollo y control eficiente del flujo de materiales, productos e información desde el lugar de origen hasta el de consumo, de manera que se satisfagan las necesidades del consumidor, recuperando el residuo obtenido y gestionándolo de modo que sea posible su reintroducción en la cadena de suministro, obteniendo un valor agregado y/o consiguiendo una adecuada eliminación del mismo” (Rubio, 2003).

Buscando una definición técnica y que abarque las herramientas que puede ofrecer la logística inversa frente al mejor aprovechamiento de los recursos, se tiene que un sistema de logística inversa se puede definir como: “una cadena de suministro que es rediseñada para gestionar eficientemente el flujo de productos destinados al reprocesamiento, la reutilización, el reciclaje o la destrucción, usando correctamente todos sus recursos” (Dowlatshashi, 2000).

Las industrias se han comenzado a dar cuenta de que la logística inversa se puede utilizar para obtener una ventaja competitiva (Marien, 1998; Citado por Shankar, 2005; p 2), ya que ésta abarca sistemáticamente muchos factores que son de gran importancia para el sostenimiento en el tiempo de las empresas de hoy, como lo son, por ejemplo, factores económicos, sociales, ambientales, políticos y/o regulatorios, entre otros; los cuales gestionados de una manera efectiva, pueden representar a las empresas muchos beneficios de gran impacto, que muy seguramente llegarán a verse representados en una ventaja competitiva. Según Gooley (1998) citado por Dowlastshahi (2008; p 4), un programa de logística inversa bien gestionado, puede dar resultados en ahorros significativos en costos de manejo de inventario, los costos de transporte, y el costo de eliminación de residuos

La sabiduría convencional dice que en los últimos años, la mayoría de las empresas han practicado logística inversa principalmente debido a la regulación gubernamental o la presión de los organismos ambientales, y no por las ganancias económicas (Rogers, 2001; p 16). Desafortunadamente, en Colombia la mayoría de las empresas implementan métodos en la gestión de residuos sólidos, simplemente por el cumplimiento de normas y decretos ambientales del país, tomando ésta como una obligación y desconociendo por completo la cantidad de beneficios que pueden llegar a representar si son empleados de manera correcta.

Actualmente para las empresas colombianas puede resultar complejo tomar una postura a la hora de decidir implementar un programa de logística inversa en su cadena de suministro, debido a que por ejemplo, para muchas personas los retornos representan el fracaso, y por lo tanto la gestión no quisiera dedicar su atención al fracaso. La asignación de los recursos adicionales para retornos del proceso será percibido como si gastaran dinero bueno en lo malo (Rogers, 2001; p 13); por estas razones, algunas empresas piensan que invertir en sistemas de logística inversa es una inversión que no tendrá beneficio alguno, lo ven más bien como un gasto que no vale la pena hacer, por lo que seguramente le darán una disposición final indebida a esos residuos sólidos que probablemente contengan un valor que pueda ser recuperado.

Como las operaciones de logística inversa son mucho más complejas que las cadenas de suministro de fabricación tradicionales (Cheng, 2010; p 1), y es una

metodología que abarca una amplia variedad de factores internos y externos, hace que la forma en que se desarrolla varíe dependiendo de cada tipo de empresa, es decir, no siempre se van a obtener los mismos resultados y además, cabe la posibilidad de que el método no se adapte al funcionamiento y características de la empresa; por eso vale la pena buscar una serie de herramientas que permitan determinar si ésta debe o no realizar un programa de logística inversa.

En este proyecto se plantea un modelo multicriterio ANP, con el fin de dar soporte a las decisiones de implementación de un programa de logística inversa en una empresa del sector plástico, logrando así, ayudar a la organización a identificar en qué grado se justifica iniciar un programa de logística inversa, con el fin de seleccionar aquella alternativa que genere un mayor valor agregado en la gestión de la cadena de suministro.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La globalización ha permitido romper las fronteras comerciales y llegar a consumidores antes inimaginables en cualquier lugar del mundo. Con relación a esto, hay que tener en cuenta que el modelo de negocio 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 de las personas (Soto, 2007; p 1). Ante esta situación y el consumismo generado por las grandes marcas mediante sus estrategias agresivas de promoción, la constante innovación y desarrollo tecnológico; conlleva a un panorama en el cual el ciclo de vida de los productos es cada vez más corto y los clientes son cada vez más exigentes en cuanto a reclamaciones, garantías, reposiciones y devoluciones, ocasionando así, por un lado un abandono prematuro de los productos sin tener claridad alguna de que hacer con su disposición final y por el otro, un nivel de servicio cada vez más complejo que se adapte a las necesidades del cliente.

El abandono de productos prematuramente ha traído consigo una creciente generación de residuos sólidos reciclables, los cuales pueden llegar a ser útiles mediante la ejecución de planes adecuados de gestión de residuos sólidos. En Colombia hay muchas empresas dispuestas a adquirir esos materiales para hacer botellas, cajas o empaques nuevos, sin embargo como no los tienen a la mano deben comprarlos en el exterior. Cada año, las firmas colombianas importan 101.201 toneladas de papel y cartón para fabricar artículos. Esos residuos potencialmente reciclables y que, además, las empresas necesitan, valen aproximadamente 43 mil millones de pesos, recursos que se está llevando el carro de la basura para los rellenos sanitarios, donde quedan enterrados¹.

Los factores ambientales y económicos también generan la inquietud a las empresas sobre qué hacer con productos que han cumplido total o parcialmente con su ciclo de vida y con productos defectuosos, bien sea finales o en proceso. Murphy, Poist Braunshweing (1995) encontraron que el 60% de un grupo de 133 directivos encuestados considera que la cuestión del medio ambiente es un factor

¹Redacción VIDA DE HOY. Material reciclable por \$43.000 millones se pierde al año en el relleno sanitario Doña Juana. EN: El Tiempo.com (2012). Disponible en internet: <<http://m.eltiempo.com/bogota/material-reciclable-por-43000-millones-se-pierde-al-ano-en-el-relleno-sanitario-dona-juana/7919184/1/home>>

muy importante, y el 82% de ellos espera que la importancia se incremente en los próximos años. Una imagen “Verde” con la producción de productos respetuosos con el medio ambiente se ha convertido en un elemento importante de marketing, lo que ha motivado a una serie de empresas a explorar las opciones de recepción y la recuperación de sus productos (Thierry, 1997; Citado por Shankar, 2005; p 6). La responsabilidad del fabricante no está solo en las fases iniciales de puesta en marcha del producto o servicio, sino que está ampliada hasta abarcar lo que pasa con este producto cuando llega al final de su vida útil y el consumidor lo desecha (Parada, 2010; p 7).

Se ha estimado que alrededor de 60 millones de computadores entran al mercado estadounidense cada año y más de 12 millones de computadores son desechados. De éstos alrededor del 10% son reciclados o reprocesados (Platt& Hyde, 1997; Citado por Shankar, 2005). El resto da lugar a una enorme cantidad de basura electrónica que se genera en unos pocos años: 4 millones de libras de plástico, 1 millón de libras de plomo, 1,9 millones de libras de cadmio, 1,2 millones de libras de cromo, 400000 libras de mercurio, entre otros (Silicon Valley *et al*, 2002; Citado por Shankar, 2005; p 2). Sumándole a lo anterior, el aumento de restricciones en lo que puede ser colocado en vertederos y el costo de la eliminación de los productos en los vertederos, han hecho de ésta una opción menos atractiva (Rogers, 2001; p 10), esto lleva a pensar que vale la pena buscar opciones que permitan adaptarse a estas circunstancias y aprovecharla de la manera más conveniente para la empresa.

El reto no es fácil, la logística inversa requiere de un meticuloso estudio, razón por la cual las industrias colombianas ven en ésta una pérdida de tiempo y dinero, un gasto y no una inversión; ven una simple solución a problemas ambientales e ignoran los múltiples beneficios económicos y productivos que su implementación genera, ya que la logística inversa va más allá de simplemente gestionar o abrir caminos para que las devoluciones de productos puedan realizarse de forma eficiente y efectiva; implica el rediseño completo de los productos para que todo el proceso sea visto como un ciclo cerrado, en el que los productos se utilizan y reutilizan una y otra vez con niveles de pérdidas o desechos mínimos (Soto, 2007; p 2).

Muchas de las organizaciones colombianas no tienen conocimiento alguno de la forma más conveniente de aprovechar algún tipo de residuo u desperdicio que se

presente en su proceso productivo, intuitivamente lo que hacen es botar, regalar o vender a bajos precios este tipo de desecho asumiendo que, como se dijo anteriormente, tales residuos pueden solamente tener implicaciones ambientales, desconociendo por completo los beneficios que dichos desperdicios les pueden llegar a representar. La logística inversa muestra una serie de alternativas, no solamente ambientales, sino también económicas, sociales, políticas; las cuales bien aprovechadas pueden llegar a representar a la empresa oportunidades de aumentar su productividad y disminuir costos.

Algunas industrias del mundo se han comenzado a dar cuenta de que la logística inversa se puede utilizar para obtener una ventaja competitiva (Marien, 1998; Citado por Shankar, 2005; p 2). Un hallazgo de una investigación informa que se estiman que las empresas que hacen uso de la remanufactura en la recuperación de productos, pueden ahorrar entre 40 y 60% de los costos en comparación con la fabricación de un producto completamente nuevo (Cohen, 1988; Heeb, 1989; Toensmeier, 1992; Wilder, 1988; Citados por Shankar ,2005, p 8) mientras que solo requiere el 20% de esfuerzo (Lund, 1984; Sturgess, 1992; Citados por Shankar ,2005; p 8), vale la pena resaltar que lo anterior es válido teniendo en cuenta el tipo de industria en donde se aplique, ya que muchas veces dependiendo de las características del producto no siempre resultar fácil remanufacturarlo.

La logística inversa es un proceso complejo que, dependiendo del medio en que se utilice y la necesidad en la que se requiera, traerá consigo algunos beneficios como los ya anteriormente nombrados. Para ello es importante tratar de evaluar el impacto que ésta pueda llegar a tener en la organización, determinando qué tan conveniente es que sea adoptada, teniendo en cuenta todos los factores ya nombrados (ambientales, económicos, políticos/ regulatorios, tecnológicos) y de qué forma debe ser empleada por la empresa. Por lo tanto, según sea la necesidad requerida, se deben adoptar mecanismos que permitan a las empresas tener claridad a la hora de tomar decisiones en cuanto a la implementación de un programa de logística inversa, de tal forma que se tenga certeza que se ejecutará de la manera adecuada y que verdaderamente traerá beneficios para la organización.

Muchas de las organizaciones consideran que las barreras que enfrentan en el desarrollo de las prácticas de logística inversa, sea mayor que las ventajas que se

obtienen como consecuencia de su aplicación (Rogers y Tibben-Lembke, 2002; Citados por Diaz, 2010; p 2). Existe la posibilidad de que una empresa en un determinado contexto, de acuerdo con sus factores internos y/o externos, no le resulte conveniente implementar un programa de logística inversa, ya que puede haber consideraciones económicas, legales, sociales, entre otras, que afecten de una u otra forma su ejecución.

Por lo general, los costos logísticos son muy significativos y la implementación de dicho programa requiere de una considerable inversión de capital. (Dowlatshahi, 2008; p 4), Así, la evaluación de las alternativas en decisiones de implementar o no un programa de logística inversa se hace necesaria debido a la gran cantidad de recursos invertidos para su ejecución, y las grandes pérdidas que significarían para la empresa si dicho programa llegara a ser un fracaso.

Los diferentes modelos multicriterio que algunos autores mencionan en sus libros y artículos, son una herramienta fundamental en la toma de decisiones donde opiniones personales y particulares, que pueden llegar a diferir radicalmente una con otra, se recopilan y se convierten en una sola decisión que conlleva a seleccionar de un grupo de alternativas, aquella que más favorece a la empresa u organización.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Formular un modelo multicriterio que permita dar soporte a decisiones de implementación de programas de logística inversa en una empresa de la región.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los factores claves que inciden en la ejecución de un programa de logística inversa en la gestión de residuos sólidos reciclables mediante consulta de fuentes especializadas.
- Seleccionar la herramienta multicriterio a usar mediante la identificación de las principales herramientas utilizadas en decisiones de implementación de programas de logística inversa.
- Definir las alternativas y los criterios que permitan tener una visión amplia de la empresa en cuanto a logística inversa en la gestión de residuos sólidos reciclables, para emplearlos en el desarrollo de un modelo multicriterio.
- Determinar la mejor alternativa de solución entre las planteadas en cuanto a las decisiones de implementación de un sistema de logística inversa mediante el desarrollo de un modelo multicriterio.

3. MARCO TEÓRICO

La palabra logística, que etimológicamente precede del griego (Flujo de materiales), se empieza a aplicar en la empresa a partir de la década de los sesenta, si bien su origen procede de la jerga militar que la empezó a emplear a partir de la Primera Guerra Mundial como función de apoyo para el abastecimiento y control de los recursos necesarios para las actividades bélicas; igualmente la logística (del inglés logistic, a su vez del francés logistique y loger), es definida por la RAE como el *conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribuciones.* (Rojas *et al*, 2011)

Toda conceptualización de logística gira alrededor de la palabra disponibilidad, y guarda relación muy estrecha con la expresión que afirma que el éxito de una empresa radica en *“ofrecer al mercado el producto correcto, en el lugar correcto y en el momento correcto”* (Anaya, 1998)

Por otro lado, Handfield y Nichols Jr citados por Rojas *et al*, (2011) afirman que la cadena de abastecimiento reúne todas las actividades asociadas con el flujo y transformación de bienes desde la etapa de materias primas, hasta llegar al usuario final, incluyendo los flujos asociados de información. Estos materiales, bienes, servicios e información fluyen hacia arriba y hacia abajo dentro de la cadena de suministro.

La logística empresarial es todo movimiento y almacenamiento que facilite el flujo de productos desde el punto de compra de los materiales hasta el punto de consumo, así como los flujos de información que se ponen en marcha, con el fin de dar al consumidor el nivel de servicio adecuado a un costo razonable. (Ballou, 2004). La logística integral de una empresa, la cual según Rojas, Guisao y Cano (2011) definen como: *“El control de flujo de materiales e información desde la fuente de aprovisionamiento hasta situar el producto el punto de venta de acuerdo con los requerimientos del cliente”*, teniendo en cuenta y resaltando dos condicionamientos básicos:

- Máxima rapidez en el flujo de materiales
- Mínimos costos operacionales

Para dar una visión más amplia de éste concepto, se presenta a continuación la **figura 1**, en donde se da una definición muy general de cada uno de los componentes inmersos dentro de la logística integral de una organización.

Figura 1. Divisiones de la logística



Fuente: ROJAS *et al.* Logística integral. Ediciones de la U, 2011, p18.

3.1. Logística inversa

Un sistema de logística inversa puede ser definido como “una cadena de suministro que es rediseñada para gestionar eficientemente el flujo de productos destinados al reprocesamiento, la reutilización, el reciclaje o la destrucción, usando correctamente todos sus recursos” (Dowlastshahi, 1998; Citado por Rojas, et al , 2011; p 163).

Amini y Retzlaff-Roberts (1999) definen la logística inversa como “la gestión de las habilidades y actividades involucradas en la reducción, gestión y destrucción de residuos peligrosos tanto de embalajes como de productos”.

Tradicionalmente, las empresas se preocupaban únicamente en hacer llegar el producto o material desde el fabricante hasta el cliente, centraban su atención en ofrecer una respuesta rápida a sus mercados manteniendo líneas de suministro óptimas que le permitieran alcanzar la posibilidad de una expansión global para el mejoramiento de esta actividad. Debido a acontecimientos, nuevas ideologías, leyes, cambios en la perspectiva del consumidor; algunas empresas se vieron en la obligación de comenzar a tener en cuenta aspectos como el servicio post venta y el establecimiento de vínculos con el cliente, ya que el responsabilizarse de una venta ya realizada se ha convertido en una forma de valor agregado que hace a cualquier producto más atractivo a la percepción del consumidor (Cure, et al, 2006; p 185).

La distribución inversa genera un flujo contrario al habitual de productos e información, el cual puede surgir de las siguientes iniciativas (Rojas, et al , 2011; p 164) :

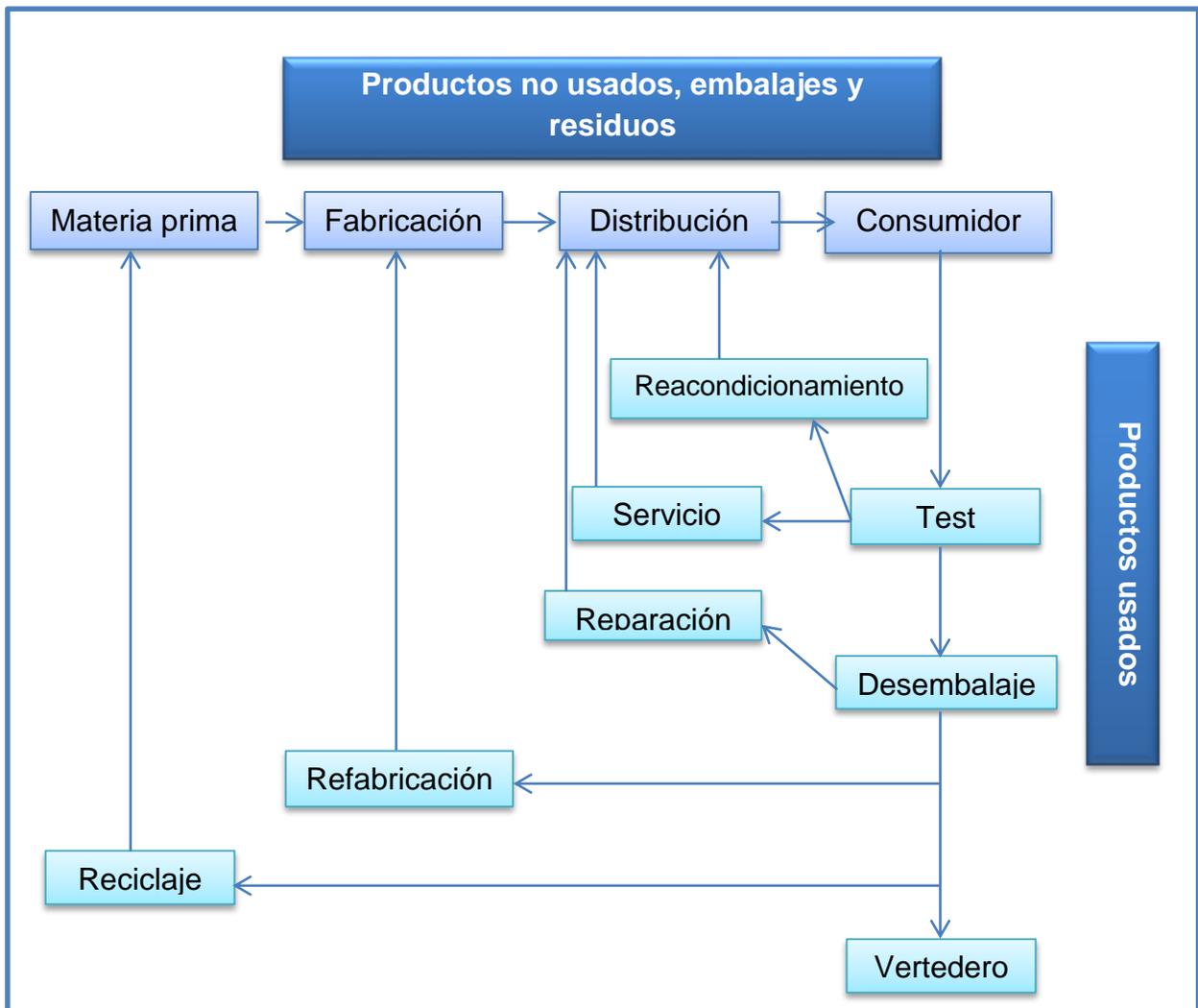
- Por iniciativa del consumidor (artículos retornados voluntariamente)
- Por iniciativa industrial (reciclaje)
- Por iniciativa del gobierno (recogida de productos)

Unos de los autores más representativos en el tema definen la logística inversa como “*El proceso de planificación, implementación y control de la eficiencia del flujo rentable y eficiente de las materias primas, el inventario en proceso, el producto terminado e información relacionada desde el punto de consumo al punto*

de origen con el fin de recuperar el valor o darle una correcta eliminación” (Rogers, 1998, p17).

Para tener una visión más amplia en cuanto al comportamiento de la logística inversa en las empresas, en la **figura 2** se muestra el flujo general de las actividades de la logística inversa, como lo son, por ejemplo, la reparación, refabricación, reciclaje, reacondicionamiento, entre otras, mostrando la relación que tiene cada uno de éstas dentro de la cadena de suministro.

Figura 2. Flujo de actividades de la logística inversa.



Fuente: Srivastava 2008, p 539

Dentro de las razones por las cuales se toma como alternativa la logística inversa se destacan tres (Rojas *et al*, 2011), las cuales son:

- **Costo-Beneficio:** Mejores productos con costo de producción más bajo, recuperación del valor de envases, empaques, embalajes y unidades de manejo reciclables.
- **Exigencias legales:** Refiriéndose a la protección de la salud y del medio ambiente, de consideraciones por costos de procesamiento de residuos, etc.
- **Responsabilidad social:** Generalmente impulsado por organizaciones no gubernamentales y asociaciones de consumidores que apoyados en su nivel de compra buscan productos más seguros y ambientalmente amigables; obviamente las firmas nunca pierden dinero, ya que detrás de ésta hay un posicionamiento mercadotécnico en un segmento “Premium” orgulloso de consumir de manera “correcta”.

La logística inversa se caracteriza por tener unos procesos involucrados los cuales se enfocan en cinco objetivos claves (Rojas *et al*, 2011, p115):

- 1- **Compras:** Implica el desarrollo de proveedores y la adquisición de materias prima, componentes, materiales para envase, empaque, embalaje y unidades de manejo que sean amigables con el ambiente.
- 2- **Reducción de insumos vírgenes:** Implica actividades de ingeniería de producto y reentrenamiento de los recursos humanos con el propósito de valorar actividades de reutilización de materiales sobrantes, preferir materiales de origen reciclado, escoger contenedores, embalajes, unidades de manejo, empaques, y envases reutilizables y reciclables, impulsando la cultura del “retorno”.
- 3- **Reciclado:** Es necesario desarrollar políticas de reciclado respetando el desempeño o estándares del producto: utilizar materiales de origen reciclado, y reciclables; explorar innovaciones tecnológicas que permitan utilizar materiales reciclados; financiar estudios para reducir el uso de materias primas vírgenes.
- 4- **Sustitución de materiales:** El incremento de la tasa de innovación en procesos de reciclado debe impulsar la sustitución de materiales, en particular de los más pesados por otros más ligeros con igual o superior desempeño (como es el caso de la industria automotriz, donde los plásticos están sustituyendo masivamente partes de metal y vidrio de los

automóviles, así como el aluminio o los materiales “compuestos” en los nuevos chasis de los camiones, disminuyendo la tara y facilitando un aumento de la unidad de carga para igual peso por eje)

- 5- **Gestión de residuos:** las políticas de procuración de materiales deben evaluar la tasa de residuos en la utilización de materiales; el manejo de residuos es un costo no despreciable; también puede ser necesario tener políticas de aceptación de muestras, si las exigencias de gestión de los residuos de éstas, o su disposición por rechazo es costosa.

3.2 El flujo inverso

En los últimos años el ciclo de vida de los productos se ha visto afectado, desde su diseño hasta su recuperación, pasando por su fabricación y su uso (Díaz, *et al*, 2004). Hasta ahora muchas empresas no se han puesto en la tarea de cerrar este ciclo, pero al empezar éste a volverse una necesidad, dada la escasez de algunas materias primas y el aumento de los residuos generados con los costos y problemas que acarrearán, y con el fin de mantener un entorno sostenible en el futuro, se hace importante la aplicación de sistemas de logística inversa. Todo ello ha proporcionado un aumento de la importancia de la reutilización, reduciendo los costos de materiales mediante estrategias de recuperación renovación y reprocesamientos. Así, los esfuerzos de reducción de desechos han potenciado la idea de completar los ciclos de vida de los materiales, haciendo retornar el material recuperado hasta el productor, dado que ofrece oportunidades de reutilización. El concepto de logística inversa incluye no solo el transporte del producto usado desde el usuario final al productor, sino también la transformación de los productos retornados en productos nuevamente utilizables. (Díaz, *et al*, 2004).

Distintos autores pueden intervenir en el canal inverso, desempeñando diversas funciones más o menos vinculadas con el canal directo. El retorno de productos y embalajes puede ser planificado o (en la mayoría de los casos) imprevisto. Entre las razones para la existencia de retornos se encuentran (Amini y Retzlaff-Roberts, 1999):

1. Retorno de productos nuevos: este hecho se puede producir por varias causas :

- El cliente ha cambiado de opinión respecto al producto adquirido y devuelve el producto tras su compra (por ejemplo, ropa)
- El producto entregado resulta estar defectuoso (daño estético, no funcionamiento del producto o no funcionamiento correcto del mismo) o el cliente lo percibe como tal (por ejemplo un aparato eléctrico).
- El producto ha sufrido daños durante el transporte
- Un error en el pedido (por parte del agente comercial que lo realiza, por parte del cliente, por un embarque incompleto en el que se produce la ausencia del ítem pedido, por cantidad errónea enviada o por duplicación del pedido).
- Un acuerdo contractual para evitar un exceso de inventarios o eliminar productos obsoletos.

2. Retorno de productos usados: puede tratarse de un retorno por garantía del producto (reparación y/o mantenimiento) o de la retirada de productos de forma planificada que incluyen una amplia variedad de casos:

- Retorno de embalajes reutilizables.
- Programas de cambio de un producto nuevo por uno usado.
- Recuperación de productos al finalizar su vida útil.
- Productos de renting o leasing al finalizar el periodo de alquiler.
- Devoluciones de los productos utilizados en una obra o servicio.

Tabla 1. Razones para la introducción de material en el flujo inverso, según tipo y origen.

	Miembros de la cadena de suministro	Usuarios finales
Productos	<ul style="list-style-type: none"> - Mercancía de primera calidad - Retornos para equilibrar las existencias - Retornos del mercado - Fin de vida/ estación - Daño en el transporte 	<ul style="list-style-type: none"> - Producto defectuoso/ no deseado - Retornos de garantía
Envases y embalajes	<ul style="list-style-type: none"> - Embalajes/ envases reutilizables 	<ul style="list-style-type: none"> - Reutilización - Reciclaje

Fuente: Adaptado de Rogers y Tibben-Lembken, 1999, p28.

Los productos introducidos en el flujo inverso logístico pueden ser catalogados en las siguientes categorías como se muestra en la **tabla 1**:

3.3 Relación y beneficios de la logística inversa con las empresas.

Dentro de la logística inversa se manejan diversos factores que se relacionan y tienen un efecto directo en el funcionamiento de la organización. Estos factores bien manejados pueden llegar a representar a la empresa muchos beneficios por ejemplo tributarios, en cuanto a la imagen corporativa, la competitividad, entre otros, que de una u otra manera contribuye al sostenimiento de la empresa en el tiempo.

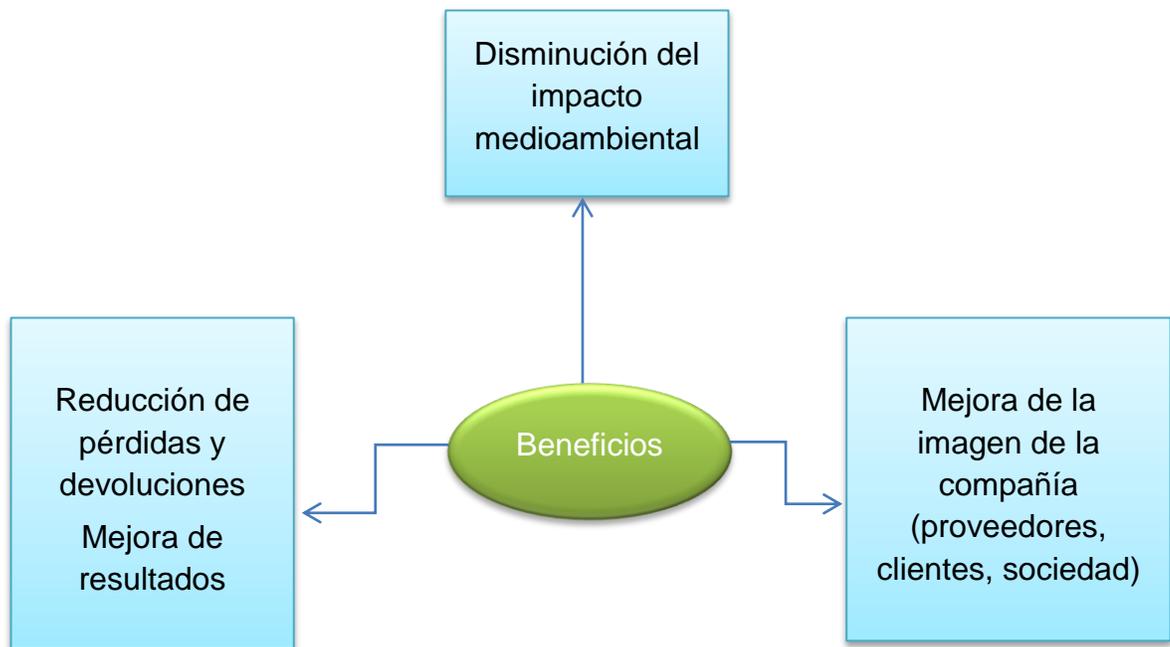
Muchas empresas se ven obligadas a implementar un programa de logística inversa porque las normatividad del país en donde están ubicados, o en donde manejan negocios, se los exige. Por ejemplo en la mayoría de países europeos les exigen a los productores que se hagan responsables de todo el ciclo de vida del producto, desde que entra a la fábrica, hasta que se convierte en residuo. Se plantea así un paradigma en donde el empresario no solo debe atender los costos empresariales asociados a la fabricación y distribución de un producto en el mercado de consumo, sino también deben controlar los costos relacionados con la correcta gestión de ese producto convertido en residuo por el consumidor final (Rogers y Tibben-Lembken, 1998).

Para hacerle frente a los desafíos con que se enfrenta la logística inversa, ésta cuenta con una serie de procesos enfocados a unas actividades que como se dijo anteriormente pretenden alcanzar objetivos en cuanto a las compras, reducción de insumos vírgenes, reciclado, sustitución de materiales y gestión de residuos; en donde lo que se busca es que todos estos procesos, de los que hacen parte la empresa y otros actores externos relacionados con el entorno, conlleven a una serie de beneficios para la organización y su entorno, los cuales se representan de manera resumida en la **figura 3**.

La relación de la logística inversa con las empresas, varía dependiendo del tipo de industria o mercado en donde se desarrolle. Por ejemplo en la industria farmacéutica, las empresas deben convivir con regulaciones especiales acerca del manejo de los obsoletos (productos vencidos), por lo que el desechar

mercancía en ocasiones es el único tratamiento apropiado para estos productos, además de la devolución al proveedor correspondiente o fabricante. Cuando la razón de la devolución no es la obsolescencia, es posible tomar medidas de relocalización y reutilización de embalajes.

Figura 3. Beneficios de la logística inversa.



Fuente: Daugherty *et al* 2004; citado por Ramírez, 2007.

Si se toma un ejemplo más popular, en una panadería, en donde el comportamiento del producto es similar pero con la variante de que el producto obsoleto como “pan viejo” que se ha quedado en las estanterías se pueden realizar nuevos productos como “harina de pan”, “borrachitos”, entre otros, es decir la reutilización de un producto obsoleto para consumo, obviamente teniendo en cuenta la normatividad que se maneja en cuanto al sector de alimentos (Cure, *et al*, 2006, p196). Y así, en las otras industrias como la automotriz, la informática y electrónica, electrodomésticos, plásticos, papel y cartón, entre otras; el comportamiento de la logística inversa varía ya que los factores que se relacionan con la empresa y con la logística inversa se manejan diferente dependiendo de la normatividad de cada sector, de las características del producto o servicio que se preste, entre otros factores que influyen en el proceso.

3.4 La logística inversa en Colombia

En Colombia existe una legislación y normatividad con la cual se pretende cuidar y preservar el medio ambiente. Dentro de éstas se destacan las siguientes normas (Ministerio de medio ambiente 2012):

- Ley 9ª de 1979, de protección del medio ambiente
- Decreto 0838 05, por el cual se modifica el decreto 1713 02 sobre la disposición final de residuos sólidos.
- Decreto 0459 9, por el cual se aprueba el acuerdo número 007 del 10 de febrero de 1993 emanado en la junta directiva del instituto de investigaciones en Geociencias, Minería y química – Ingeominas -
- Ley 99 de 1993, que regula el sistema nacional ambiental (SINA)
- Decreto 1990 94, que reglamenta la creación del ministerio del medio ambiente
- Decreto 0883 97, por el que se regulan actividades y se definen los instrumentos administrativos para la prevención o control de los factores de deterioro ambiental.
- Ley 430 de 1998, sobre desechos peligrosos.

El panorama en general que se vive en Colombia con relación al tratamiento de los residuos, evidencia por ejemplo los siguientes acontecimientos ² :

- De acuerdo con la información de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSDP), diariamente se genera en el país más de 25000 toneladas de residuos sólidos.
- Según la ANDI (Asociación Nacional de Industriales), Cámara de Pulpa, Papel y Cartón, en Colombia se recicla cerca del 45% del papel que se consume, lo cual es un porcentaje bastante alto pero se podrían recuperar más materiales.
- Según Peldar en el año 2007 se recuperaron más de 173 mil toneladas de vidrio con un ahorro de materia prima de 207.670 mil toneladas y ahorro de energía en el proceso productivo 1.742,896 galones de combustible.
- En el año 2008, se recogieron 5.522.047 galones de aceite usado, en Bogotá (2.522.879), Medellín (486.520), Cali (909.500), Barranquilla (600.330) y Bucaramanga (972.818) como parte de los procesos de autogestión del sector.

², Ministerio del medio ambiente de Colombia. Disponible en internet: <<http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=7783&catID=796>>

- Durante el 2009 (enero a marzo) se han recogido 85.095 piezas, distribuidas entre accesorios (9.372), celulares (16.297), baterías Li-on (3.339), simcards (56.574) y otros equipos (323) , los cuales son importados para su gestión ambientalmente adecuada en el exterior.
- El reciclaje de residuos sólidos post consumo se encuentra bajo el orden del 13% del total de residuos generados. Es decir unas 3.000 toneladas al día. Labor en la cual tienen mucha importancia los recicladores organizados quienes recuperan el material de la cadena de la basura y lo comercializan.

Estas cifras evidencian que aunque ya se está realizando algo en cuanto al tratamiento de los residuos sólidos en el país, falta todavía mucho camino por recorrer en cuanto a los temas relacionados con la logística inversa.

Pero vale la pena rescatar que en cuanto a lo normativo, el país lleva un gran avance que, al igual que ha sucedido en Europa, al mediano o largo plazo esta normativa contemple más aspectos y repercuta en sectores más específicos, por lo cual junto con todos los aspectos que se relacionan con la logística inversa y que pueden traer consigo muchos beneficios como los ya nombrados aspectos económicos, las políticas de servicio al cliente, la mejora de la imagen de la empresa (Kloter, 1994, citado por Ramírez, 2007) o la mejora de la gestión de los stocks y las razones derivadas de la actividad cotidiana de la empresa (Stock, 1998, citado por Ramírez, 2007) , como la existencia de la mercancía en estado defectuoso o el retorno de exceso de inventario, la logística inversa se presenta como una importante fuente de ventajas competitivas que conducirán a la empresa a la obtención de muchos beneficios y a su continuidad en el tiempo (Ramírez, 2007).

En Colombia los casos más conocidos de empresas que tienen implementado programas de logística inversa son los de baterías MAC, quien recupera el componente de plomo de sus baterías usadas y de las baterías de la competencia; la empresa OFIPAIM, que reenvasa los cartuchos de tinta para impresoras de todas las marcas para luego venderlos como producto propio; otro caso es TETRAPACK Colombia, que fabrica madera sintética con los envases tetrapack utilizados. (Mercado, 2003).

4. ELEMENTOS CLAVES INFLUYENTES EN LA EJECUCIÓN DE PROGRAMAS DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.

La logística inversa y la gestión de residuos sólidos son dos estrategias, donde la primera se orienta a la adición de valor a un producto que lo ha disminuido en algún punto de la cadena de suministro para ser aprovechado y reintegrado a una nueva; mientras que la segunda involucra principalmente la recolección y el tratamiento de materiales al final del ciclo de vida o post consumo (De Brito y Dekker, 2004).

La generación de residuos sólidos se ha convertido en una problemática ambiental donde las empresas manufactureras han tenido un papel protagónico como principales generadores de estos residuos. Por esta razón, y en vista de las ventajas económicas que pueden obtenerse de los residuos sólidos, aparece la logística inversa como principal herramienta de solución en la recuperación de estos residuos presentes a lo largo de la cadena productiva, minimizando el impacto ambiental de estos, valorizándolos o dando la disposición final adecuada cuando estas pierden las especificaciones o características necesarias para su uso en la cadena productiva. En este sentido, la logística inversa se articula con la gestión de los residuos sólidos mediante las opciones de reprocesamiento más usadas en la industria como la remanufactura y el reciclaje. (Dowlatshahi, 2005)

4.1 Alternativas finales para los productos en el canal inverso.

Como se dijo anteriormente, la logística inversa tiene como objetivo determinar cómo la empresa puede recuperar eficientemente algún tipo de residuo sólido de donde no sea deseado a donde puedan ser reprocesados, reutilizados o recuperados, integrándose de esta forma con el sistema de Gestión de Residuos Sólidos. Para lograr lo anterior existen distintas prácticas como las expuestas en la **tabla 2**.

Para cumplir con su propósito, la logística inversa involucra actividades directamente relacionadas con la recuperación de materiales, integrando la recolección, inspección, selección, separación, recuperación o reprocesamiento y redistribución. Entre las opciones de reprocesamiento están las directas como la reutilización y las que requieren procesos como reciclaje, remanufactura y restauración (De Brito y Dekker, 2004). En la **figura 4** se presenta una ilustración

en donde se ve el flujo del proceso de logística inversa y la interacción de cada una de las opciones con la que ésta se relaciona.

Tabla 2. Características de distintas alternativas finales

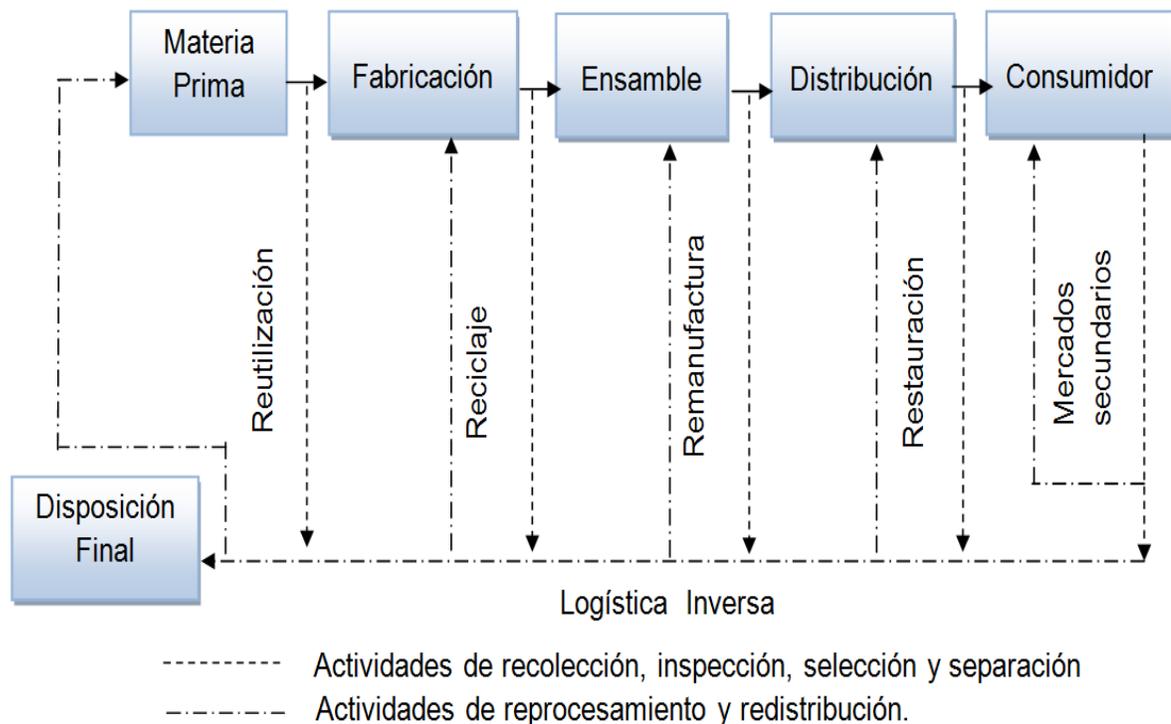
Práctica	Características fundamentales	Ejemplos
Reparación	<p>Dar a los productos usados una calidad específica: Estándares de calidad menos rigurosos que los nuevos. Inspección, reparación y reemplazo de partes Se extiende la vida útil del producto</p>	Electrodomésticos.
Renovación	<p>Devolver al cliente productos fuera de funcionamiento: Implica la reparación o reemplazo de partes estropeadas.</p>	Ordenadores
Reciclaje	<p>Recuperación de los materiales contenidos en los productos retornados: Desensamblado+ clasificación + transformación de materias primas.</p>	Papel, vidrio, plástico, metales.
Reprocesamiento	<p>Objetivo: Desensamblado + clasificación + restauración + reensamblado</p>	Ordenadores
Canibalización	Una pequeña proporción del producto retornado puede ser aprovechada, las partes recuperadas son reutilizables, reparadas o renovadas para integrar un nuevo producto.	Hardware
Reutilización	El producto puede volver a ser usado una vez limpio o tras una reparación menor.	Botellas de vino, cajas para el transporte.
Vertedero	Última opción: Depósito del material.	Basura.

Fuente: Díaz, *et al*, 2004, p 57.

La integración de la logística inversa y la gestión de residuos sólidos permiten crear una estrategia para brindar el tratamiento correcto a todos los residuos sólidos que se generan a lo largo de la cadena productiva.

En la **figura 5** se puede observar cómo la logística inversa y la gestión de residuos sólidos se integra para el tratamiento de los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales, siendo estos últimos de mayor interés por relacionarse con los sectores productivos y manufactureros.

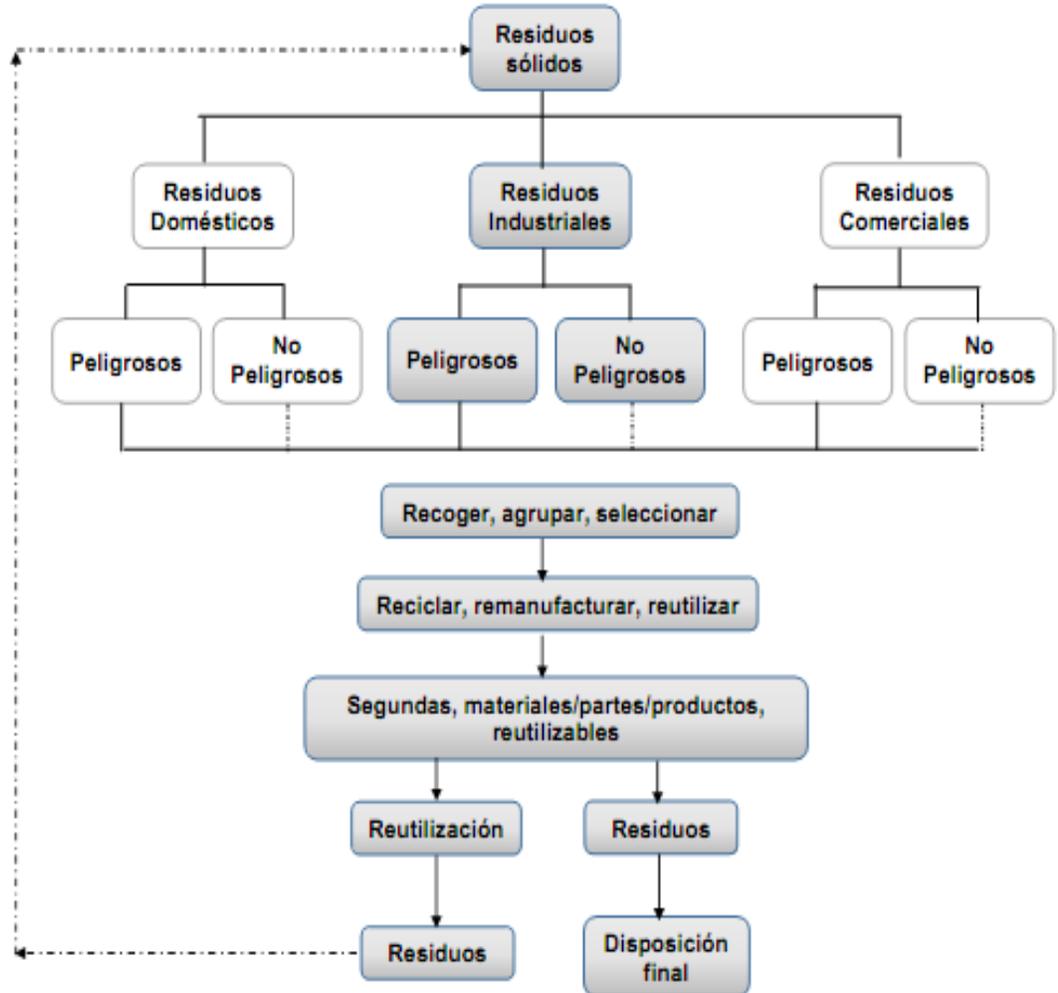
Figura 4. Opciones de reprocesamiento de la logística inversa.



Fuente: Adaptado de Kumar y Putnam (2008).

En la **Figura 5** se muestra el papel que tiene la logística inversa en la gestión de residuos sólidos independiente de su origen; específicamente se ha resaltado el origen de los residuos industriales porque se relaciona con los sectores productivos, cuyos flujos de residuos sólidos originados por defectos de manufactura, excesos de inventario o devoluciones, pueden ser gestionados efectivamente a través de las operaciones de logística inversa para reincorporarlos al ciclo productivo (Peña 2013).

Figura 5. Integración de la logística de reversa y la gestión de residuos sólidos.



Fuente: Adaptado de Sun (2005) citado por Huang (2009).

4.2 Outsourcing en la logística inversa.

Es claro que los gestores de la logística inversa pueden ser los mismos productores, recolectores, distribuidores, entre otros, pero en muchos casos, las empresas en busca de las herramientas o elementos necesarios para llevar a cabo una dirección exitosa en cuanto a su programa de logística inversa, se ayuda de mecanismos como el Outsourcing, en donde cada vez más empresas están contratando firmas externas especializadas en logística, ya que con frecuencia, estas firmas realizan el proceso más eficiente y mejor, además de que le permite a la empresa ocuparse de su actividad principal (Rojas *et al*, 2011, p 169).

Según profesionales del sector, hoy en día en la mayor parte de los casos, ni el mundo de la distribución ni la cadena de suministro está preparado para realizar una logística inversa óptima (Dekker, 2001). Consecuentemente el outsourcing de la logística inversa se configura como una opción más que considerable teniendo en cuenta todas las dificultades que entraña y más para empresas cuyo “ Core-business” es otro (Maeso, 2001).

Los operadores logísticos juegan un papel relevante al estar más especializados y por tanto conocer mejor el trabajo a realizar, los trámites, procedimientos, entre otros; aprovecharse de las posibles economías de escala, disponer la tecnología más idónea, y en definitiva mejoran la calidad del servicio de devolución a la vez que optimizan los costos (Ferrero *et al*, 1999).

4.3 Modelos cuantitativos para el análisis de los sistemas de logística inversa

Para el desarrollo y análisis de los sistemas de logística inversa autores han desarrollado una serie de modelos cuantitativos con el propósito de considerar y relacionar diversos factores tales como la vulnerabilidad, calidad del producto, factores económicos, ambientales, políticos/ legales, entre otros; los cuales son considerados a la hora de implementar un programa de logística inversa y se relacionan de manera diferente según la industria o la empresa en donde se requiera aplicar. Desde sus inicios, el estudio de la logística inversa se ha venido desarrollando junto con la elaboración de modelos cuantitativos, permitiendo así obtener información más precisa sobre el diseño y el funcionamiento del programa de logística inversa y mejorando el proceso de toma de decisiones.

En este estudio se aborda una parte de aquellos modelos que se relacionan con la recuperación de productos fuera de uso y las opciones de gestión existentes para ellos. Entre los modelos a presentar se destacan los relacionados con la reutilización, reciclaje, refabricación y algunos modelos multicriterio. Uno de estos últimos se desarrolla en este trabajo de grado.

4.3.1 Modelos para la reutilización

- Kroon y Vrijens (1995) analizan un sistema para la reutilización de contenedores en una empresa de servicios logísticos de Holanda. Los autores utilizan el término Sistema Logístico de Devoluciones (Return

Logistics System) para referirse a la consideración de la logística inversa en la etapa de la distribución física ya que, como muy bien apuntan, la logística inversa puede aplicarse a las diferentes etapas de la cadena logística.

Para este trabajo plantean un modelo de simulación y un modelo de Programación Lineal Entera Binaria que intenta responder a las siguientes cuestiones: número de contenedores disponibles, localización de los mismos, funcionamiento del sistema y cuotas de recogida, distribución y servicio. Se trata de un modelo clásico de localización de instalaciones, de carácter estático, que se resuelve para distintos escenarios, de manera que se amortigüe el efecto de la incertidumbre asociada a estos modelos. Aunque este modelo no responde a todas las cuestiones planteadas, los resultados obtenidos proporcionan información válida para el proceso de toma de decisiones de la empresa. Los autores, conscientes de las limitaciones del modelo, proponen algunas mejoras consistentes en la utilización de técnicas más fiables para la determinación de la demanda de contenedores, introducir varios periodos temporales, distintos tipos de contenedores, etc., que reflejen más fielmente la situación.

- Krikke *et al* (1999) presentan un modelo de Programación Lineal Entera Mixta, que permite el diseño de una red de logística inversa para la recuperación y refabricación de automóviles. Este modelo supone que el recuperador del automóvil recicla una parte del mismo (30%) y refabrica el resto. Cada una de estas opciones de gestión se llevará a cabo en instalaciones diferentes por lo que será necesario establecer las rutas que seguirán estos productos fuera de uso.

4.3.2 Modelos para el reciclaje

- Barros, *et al*, (1998) diseñan un sistema para la recuperación y el reciclaje de arena proveniente de construcciones. Se trata de un modelo de localización de instalaciones y asignación de flujos, formulado a través de un problema de Programación Lineal Entera Mixta. Este modelo, de carácter estático, se aplica a un caso real del sector de la construcción en Holanda.

El trabajo subraya la importancia que la Teoría de la Localización tiene en la gestión de los residuos, ya que, en primer lugar, proporciona modelos y métodos de solución para manejar eficientemente el problema y, en segundo lugar, ofrece posibilidades para modificar las condiciones originales de la red y así considerar distintos escenarios. Esto último es particularmente importante a la hora de considerar el problema de la incertidumbre de los productos recuperados.

- Louwers, *et al*, (1999) proponen también un modelo de localización y asignación para el reciclaje de moquetas en Alemania y en Estados Unidos. En la Unión Europea se generan al año más de 1,6 millones de toneladas de residuos de este material que son, habitualmente, depositadas en vertederos. En Estados Unidos esta cifra llega a 1,85 millones de toneladas. El Proyecto RECAM tiene como objetivo la constitución de una red europea para el reciclaje de estos materiales o su utilización como combustible. Para ello, se propone un modelo matemático en el que determinar la localización física de las instalaciones, sus capacidades, la asignación de los flujos de materiales a estas instalaciones y los medios de transporte.

Este modelo se distingue de otros modelos matemáticos para la localización de instalaciones en que no restringe inicialmente el conjunto de ubicaciones posibles, siendo la elección completamente libre. El problema se traduce en la minimización de una función general de costos en la que se consideran costos de adquisición, transporte y almacenamiento del material recuperado, los costos originados por el proceso de reutilización, los costes de inventario y transporte del material procesado y los costos de eliminación de los residuos generados. Los resultados obtenidos sugieren que es posible constituir redes económicamente viables para la reutilización de estos materiales.

- Shih (2001) estudia una red para el reciclaje de equipamiento eléctrico y electrónico en Taiwán, en donde la adecuada eliminación de estos productos fuera de uso. La legislación de este país obliga a fabricantes e importadores a recuperar sus productos y gestionar adecuadamente los residuos que se generan. Para ello se ha creado una red de recuperación y reciclaje de estos productos que cuenta con un conjunto de puntos de recogida, generalmente los propios puntos de venta, desde donde se transportan los productos hasta unos almacenes que actúan como centros de clasificación de los artículos recibidos. Desde aquí se envían a los centros de desmontaje y reciclaje en donde los distintos productos son sometidos a las operaciones necesarias para su apropiada eliminación o su aprovechamiento en mercados secundarios.

El diseño planteado para esta red de reciclaje se estructura entre los oferentes (puntos de recogida) y los demandantes (mercados secundarios o eliminación) de los productos fuera de uso, a través de dos niveles por los que circularán dichos productos (almacenes y centros de desmontaje y reciclaje). Se propone un modelo de Programación Lineal Entera Mixta, con el objetivo de maximizar una función de beneficios; los ingresos de este sistema provienen de la venta del material reciclado y de las cuotas satisfechas por fabricantes e importadores para su participación en el

sistema de reciclaje. Los costos totales se generan por nuevas instalaciones, transporte, costos operativos, de proceso y de eliminación de los productos recuperados. Esta función de beneficios se maximiza de acuerdo con unas restricciones de carácter técnico y económico. Para tratar con la incertidumbre asociada con los sistemas de recuperación de productos fuera de uso, se realiza un análisis paramétrico en el que se consideran distintos escenarios de funcionamiento del sistema

4.3.3 Modelos para la refabricación

- Klausner y Hendrickson (2000) analizan un programa voluntario de recogida de máquinas herramienta en Alemania, las cuales son recicladas o refabricadas. Dado que la refabricación requiere de un flujo más o menos continuo de productos fuera de uso, el modelo establece un sistema para incentivar la devolución al fabricante de los productos fuera de uso (buy-back system). El objetivo del modelo es determinar el costo óptimo de ese sistema de incentivos y, en general, el costo óptimo del sistema de logística inversa. Se trata de un modelo de simulación en el que se establecen relaciones de carácter lineal entre las variables y parámetros del modelo. De acuerdo con el modelo planteado, los autores concluyen que aunque sería deseable una tasa más elevada de recuperación de productos fuera de uso, los beneficios obtenidos por el proceso de refabricación permitirían afrontar el costo del sistema de incentivos establecido.
- Fleischmann (2001) aplica su “Modelo Genérico de Recuperación” a un ejemplo de refabricación de fotocopiadoras en el que, trata de evaluar las ventajas de un diseño integral de la función logística frente al diseño secuencial. En este caso, el establecimiento de una red de logística inversa una vez instalada la red hacia adelante, no genera costos significativamente distintos a los obtenidos en el supuesto de diseñar e implantar, simultáneamente, los flujos directo e inverso de la logística. En cualquier caso, tal y como señala este autor, “la existencia de una red logística hacia adelante no supone una barrera de entrada para el establecimiento de la red inversa”. En cualquier caso, el diseño integral de la función logística generará sinergias entre el flujo directo y el flujo inverso, que redundarán en la consecución de ventajas competitivas sostenibles para la empresa (Rubio, 2003).

5. HERRAMIENTAS MULTICRITERIO

El rápido incremento en el volumen de residuos sólidos, los problemas específicos en cada sitio y necesidades de tipo económico, ecológico, operacional y administrativo en la gestión de residuos sólidos requieren el compromiso de los encargados de la toma de decisiones, para encontrar nuevos métodos y herramientas que mejoren la efectividad del proceso de toma de decisiones (Vego, 2008).

La identificación de las diferentes herramientas se realiza basada en una investigación bibliográfica, identificando las herramientas multicriterio usadas en la toma de decisiones relacionadas con la gestión de residuos sólidos. Este proyecto de investigación se realizó en la Universidad del Valle en el año 2013 por estudiantes y docentes de la escuela de ingeniería industrial.

El estudio consistió en la revisión de 58 artículos de principales revistas internacionales como Waste Management, Resources, Conservation and Recycling, Expert Systems with Applications, entre otras, en donde se tratan temas relacionados con la implementación de herramientas multicriterio para decisiones sobre la gestión de residuos sólidos. Para conocer las principales herramientas multicriterio se toma como base los resultados de este estudio, y posteriormente se realiza una descripción de las principales herramientas identificadas.

5.1 Resultados de estudio bibliográfico.

Inicialmente se realiza un estudio temporal de las publicaciones cuyo resultado se evidencia en la **tabla 3**. En éste se identifica que en los últimos 9 años el uso de herramientas multicriterio tiene mayor presencia, aunque que su implementación se remonta muchos años-atrás.

En la **tabla 4**, se observa que la herramienta multicriterio más implementada de manera individual es la AHP con una frecuencia de uso de 7, seguida de la lógica difusa (Fuzzy) y ANP ambas con una frecuencia de uso de 4.

Tabla 3. Años de publicación y número de artículos revisados.

Año de publicación	No. De Artículos	Frecuencia relativa (%)
1999	1	1,7%
2005	1	1,7%
2006	2	3,4%
2007	3	5,2%
2008	11	19,0%
2009	9	15,5%
2010	6	10,3%
2011	8	13,8%
2012	14	24,1%
2013	3	5,2%
Total de artículos	58	100,0%

Fuente: Osorio, *et al*, 2013.

Tabla 4. Frecuencia de utilización de las herramientas multicriterio de manera individual

Herramienta	Frecuencia
AHP	7
FUZZY	4
ANP	4
AHP FUZZY	3
Multicriteria decision making (MCDM)	3
LCA	1
Modelo de programación lineal entera mixta	1
Técnica de modelación estructural interpretativa.	1
Análisis de atributo múltiple fuzzy	1
Electre III	1
TOPSIS FUZZY	1
ELECTRE FUZZY	1
Método Euler	1
Total	29

Fuente: Osorio, *et al*, 2013.

Al observar la **tabla 5** es importante mencionar que si bien las combinaciones tal como son presentadas por los autores, no tienen más de una aparición en el campo científico, dichas combinaciones recogen en su gran mayoría a las herra-

Tabla 5. Frecuencia de utilización de las herramientas multicriterio de manera combinada.

Herramienta	Frecuencia
AHP + Análisis de sensibilidad + modelo de toma de decisiones de multicriteria + Modelo de programación lineal entera mixta	1
TOPSIS FUZZY + ANP	1
TOPSIS + Enfoque de toma de decisiones de multicriteria + enfoque de programación de metas multiselección +valores lingüísticos.	1
AHP + TOPSIS + ELECTRE +PROMETHEE +GAIA +SAW+ método FUZZY intervalo-valorado.	1
Modelo de programación matemática + modelo de programación lineal entera mixta + FUZZY	1
ANP + Enfoque en el Análisis de multicriteria basado en el riesgo	1
AHP + ANP + LCA	1
THOR +Metodología de las 3 R's (reducción, reutilización y reciclaje)	1
AHP + PROMETHEE/GAIA +análisis de multicriterio.	1
Toma de decisiones multicriterio y modelo de análisis de consenso	1
ANP + DEA	1
Análisis de decisión de criterios múltiples + ELECTRE III	1
GIS + análisis de evaluación de multicriterio	1
ELECTRE + PIPA	1
TODIM FUZZY	1
ANP + QFD + ZOGP	1
ANP + Fuzzy DEMATEL	1
AHP FUZZY + ANP	1
AHP FUZZY + TOPSIS FUZZY	1
AHP + ANP + CBR + la teoría de conjuntos difusos + SMART + GA	1
AHP + TOPSIS FUZZY	1
EOL + ANP	1
AHP + ANP FUZZY	1
PROMETHEE II FUZZY + Choquet	1
TOPSIS FUZZY + Multicriteria decision making (MCDM)	1
Entropía fuzzy + utilidad multiatributofuzzy	1
PROMETHEE + GAIA	1
GIS + Toma de decisiones multicriteriofuzzy	1
DEA + Simulación Monte Carlo	1
Total	29

Fuente: Osorio, *et al*, 2013.

mientas multicriterio más utilizadas y más conocidas, tales como las ya mencionadas AHP y ANP, incluyéndose la presentación difusa. (Osorio, *et al*, 2013).

En contraste, las aplicaciones híbridas solamente aparecen con frecuencia igual a uno, lo cual se explica muy fácil, pues son propuestas que integran varias de las herramientas, pero que una vez realizadas las aproximaciones, se tienen como referencia, pero se busca superar las debilidades que hayan podido ser identificadas en dichas aplicaciones, lo cual lleva a explorar nuevas combinaciones, dando como resultado una cantidad importante de artículos (la mitad de los revisados) que presentan propuestas híbridas (Osorio, *et al*, 2013). Por último, se presenta un análisis de las principales razones del uso de las herramientas multicriterio.

Tabla 6. Principales decisiones tomadas con los modelos multicriterio revisados.

Tipo de Decisión	Frecuencia
Evaluar y seleccionar alternativas	9
Decisiones de rediseño de procesos	9
Selección de proveedores	7
Selección de sitios para instalaciones (rellenos sanitarios, para residuos sólidos)	6
Comparar diferentes soluciones de gestión de residuos.	2
Diseño de la red logística de reversa	2
Integración de las cadenas de suministro y reversa	2
Apertura de bodegas y centros de recolección	1

Fuente: Osorio, *et al*, 2013.

Es claro, que aunque en la **tabla 6** se presentan las decisiones de manera general, el uso de las herramientas multicriterio está ligada a particularidades internas y externas de cada organización.

5.2 Descripción de principales herramientas multicriterio

Basados en el estudio bibliográfico anterior, se van a describir las cuatro (4) principales herramientas multicriterio según lo observado en cada una de las tablas.

5.2.1 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la toma de decisiones es una teoría de la medida relativa basada en comparaciones pareadas utilizadas para obtener las escalas absolutas normalizadas de números, cuyos elementos se utilizan como prioridades. (Saaty, 2007).

El AHP involucra todos los aspectos del proceso de toma de decisiones (Montero, *et al*, 2012):

- Modela el problema a través de una estructura jerárquica
- Utiliza una escala de prioridades basada en la preferencia de un elemento sobre otro, de este modo combina la multiplicidad de escalas correspondientes a los diferentes criterios.
- Sintetiza los juicios emitidos y entrega un ranking u ordenamiento de las alternativas de acuerdo a los pesos obtenidos (prioridades).

Los pasos para la implementación de AHP son los siguientes:

1. Estructurar el problema gráficamente como una jerarquía.
2. Desarrollar la Matriz de Comparación entre los criterios, teniendo en cuenta la escala de 1 a 9 planteada por Saaty.
3. Determinar la consistencia de la matriz.
4. Calcular las prioridades locales y globales entre los subcriterios.
5. Determinar las prioridades locales y totales de las alternativas.

5.2.2 Lógica Difusa

La lógica difusa reconoce el hecho de que la realidad no tiene por qué ser sólo cierta o falsa, sino que puede haber grados de verdad. Dicho de otra forma, los elementos de un conjunto no tienen por qué estar completamente dentro o completamente fuera del mismo; es posible la pertenencia parcial, un grado de pertenencia, de un elemento a un conjunto dado.

La lógica difusa es una extensión de un sistema preciso de representación para incluir la vaguedad y la incertidumbre de la información.

Una primera fuente de incertidumbre surge de la *variabilidad de los datos*. Es la propia naturaleza no determinista de los hechos sociales y naturales la que, afortunadamente, propicia tal variabilidad. Otra clase de incertidumbre es la imprecisión que surge al observar o medir los valores de una variable, tanto por parte del instrumento de medida, como por parte del observador que la realiza. Por último, la vaguedad aparece cuando se utiliza el lenguaje humano, sea o no profesional, para describir la observación o medida del resultado de un experimento como un dato (Morillas, 2008).

La lógica difusa analiza una serie de datos con la intención de concluir acerca del comportamiento de esta información. Esto se logra realizando los siguientes pasos:

1. Se realiza el análisis de frecuencia, en el cual se determinan si los datos obtenidos presentan una propiedad en común.
2. Reconocer patrones, es decir, determinar la relación entre los datos para determinar si estos siguen un modelo matemático en particular.
3. Investigar los datos respecto a un modelo matemático definido o seleccionado bajo hipótesis de acuerdo al punto anterior.
4. Concluir sobre el análisis de los datos y evaluar dichas conclusiones por medio de predicciones futuras.

5.2.3 Proceso Analítico en Red (ANP)

El proceso de análisis de red (ANP) es el marco más amplio para el análisis de las decisiones. Permite tanto la interacción y la retroalimentación dentro de los grupos de elementos (dependencia interna) y entre grupos (dependencia externa) (Saaty, 2001). Los elementos de un clúster pueden influir otros elementos en el mismo grupo y las de otros grupos con respecto a cada una de las propiedades. El objetivo principal es determinar la influencia global de todos los elementos para la toma de decisiones.

5.2.4 Proceso Analítico Jerárquico Difuso

AHP es ampliamente utilizado en las industrias para tratar los problemas multicriterio de toma de decisiones. Sin embargo, AHP es a menudo criticado por su incapacidad para acomodar adecuadamente la incertidumbre inherente y la imprecisión asociada a percepciones del decisor. Por lo tanto, el método AHP difuso, que combina la tradicional AHP con la teoría de conjuntos difusos, fue

desarrollado para hacer frente a los juicios inciertos y para expresar preferencias sobre conjuntos borrosos o números difusos que reflejan la vaguedad del pensamiento humano (Kwong, 2003).

Buckley (1985) incorporó una matriz borrosa al método AHP para involucrar a esta condición humana por lo que puede integrarse la vaguedad en la respuesta de las personas involucradas en la toma de decisiones, acercarse a la realidad humana y proporcionar análisis de toma de decisiones con más validez (Chang y Wu, 2008).

El método se conoce como proceso jerárquico analítico difuso (FAHP) y fue definida por Chang y Wu (2008) en tres pasos. "La primera implica el uso de números difusos triangulares para transformar las ideas de expertos en una matriz de reciprocidad positiva. En segundo lugar, un método de media geométrica que pesa los valores parciales para cada opción, con la conexión jerárquica establecida y, finalmente, una función de permanencia para cada opción que desarrolló la clasificación de prioridades.

5.3 Modelo propuesto

5.3.1 Proceso Analítico en Red (ANP)

Actualmente existen numerosos modelos multicriterio como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), el Proceso Analítico en Red (ANP), Lógica Difusa, entre otros; los cuales permiten seleccionar una alternativa entre un grupo de éstas, cuyos elementos de decisión y puntos de vista están, por lo general, en conflicto. Decir cuál de estos modelos es mejor que el otro es una discusión que podría no acabar, o simplemente se puede concluir, que cada uno de estos modelos tiene sus ventajas y desventajas.

La selección de un modelo multicriterio para el desarrollo de un proyecto en el cual la toma de decisiones es de vital importancia, radica en la capacidad del manejo y análisis de las herramientas matemáticas que conlleva la implementación de dicho modelo.

En 1996 con la publicación de *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process* y en los siguientes años con nuevas publicaciones presenta y desarrolla Analytic Network Process (ANP, Proceso Analítico en Red)

que es una generalización de AHP en la cual ya se pueden considerar todas las interrelaciones, influencias y realimentaciones de todos los elementos entre ellos, pasando AHP a ser el modelo más sencillo de ANP. (Aznar, 2013, p229).

Para el desarrollo de este trabajo de grado se hace uso del Proceso Analítico en Red (ANP) como herramienta multicriterio para la selección entre alternativas, ya que la literatura asociada a este modelo afirma que su implementación permite dar un paso esencial en el análisis multicriterio de alternativas, basándose en las influencias y retroalimentación presente entre los elementos de decisión o grupos de estos, logrando así seleccionar, basado en un análisis matemático más acorde a la realidad de la empresa, la alternativa que más satisfaga su necesidad. Además el ANP sería un modelo muy interesante de aplicar en este proceso, si se tiene en cuenta el dinamismo y todos los factores y elementos que puedan llegar a influenciar en sector plástico.

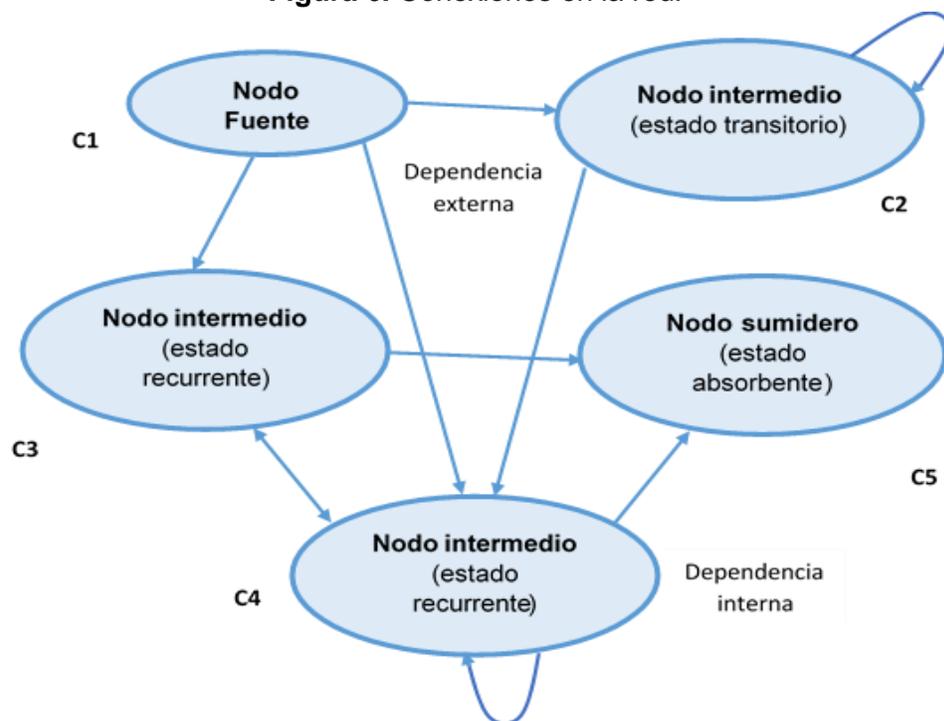
El ANP es una teoría general de la medición relativa utilizada para derivar escalas de razón prioritaria compuesta de escalas de razón individual que representan mediciones relativas de la influencia de los elementos que interactúan con respecto al control de criterios. Este modelo es una fase esencial en la toma de decisiones, descuidado hasta ahora, debido a las estructuras lineales utilizadas en los enfoques tradicionales y su incapacidad para lidiar con la retroalimentación con el fin de elegir las alternativas, no sólo de acuerdo a los atributos y criterios, sino también en función de sus consecuencias tanto positivas como negativas (Saaty, 1999).

Como se dijo anteriormente, ANP es una red en la cual se tiene la información de la interdependencia entre elementos de diferentes niveles e interdependencia entre elementos de un mismo nivel, permitiendo obtener un diagrama de red.

En la **figura 6** se pueden observar la conexión en red de los diferentes nodos donde se puede tener clara la influencia y las prioridades de estos, además de la clasificación de los nodos, la cual depende del tipo de influencia que haya entre ellos. Dentro de la clasificación de estos nodos se encuentra:

- **Nodo fuente:** Se presenta cuando un clúster tiene influencia en uno o varios clusters, pero ningún otro clúster tiene influencia sobre él. Un ejemplo de nodo fuente es el caso del clúster llamado C1.
- **Nodo sumidero:** Caso contrario al nodo fuente. Es un clúster sobre el cual uno o varios clusters tienen influencia. Es el caso del clúster llamado C5.
- **Nodo intermedio:** Se presentan ambas situaciones, es decir, tiene influencia sobre uno o varios clusters y a su vez uno o varios clusters también tienen influencia sobre él. Es el caso del clúster llamado C3.

Figura 6. Conexiones en la red.



Fuente: Adaptado de Thomas L. Saaty (1999)

Thomas L. Saaty propone tanto en AHP como ANP la evaluación de la consistencia de los juicios emitidos por los expertos. De esta manera se realiza el cálculo del Índice de Consistencia (IC) mediante la siguiente expresión:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Ecuación 1. Índice de Consistencia (IC)

Posteriormente se realiza el cálculo de la Razón de Consistencia (RC), que termina siendo el cociente entre el Índice de Consistencia (IC) y el Índice de Consistencia Aleatorio (IA), siendo este último una variable en función del tamaño de la matriz (n). En la tabla 3 se muestran valores del Índice de Consistencia Aleatorio para diferentes dimensiones de matriz (n).

Tabla 7. Índice de Consistencia Aleatorio (IA) para diferentes dimensiones de la matriz (n)

n	1	2	3	4	5	6	7	8
IA	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404
n	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,57	1,583	1,595

Fuente: García (2013)

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Ecuación 2. Razón de Consistencia (RC)

Si la razón de consistencia es menor que 0.10, la consistencia suele considerarse aceptable (Saaty, 1994). Dado el caso anterior, se establece como válida la consistencia de la matriz y por tanto el valor propio de pesos se admite como válido, en caso contrario, se debe realizar nuevamente la evaluación de los criterios por parte de los expertos hasta que la evaluación de los índices determine que los juicios son consistentes para el modelo.

5.3.1.1 Esquema de los pasos del ANP

La herramienta multicriterio ANP en su metodología desarrolla los siguientes pasos (Aznar, 2012, p230):

1. Identificación de los elementos de la red. Alternativas, elementos de decisión y construcción de la red.
2. Análisis de la red de influencias. Matriz de dominación interfactorial.
3. Cálculo de las prioridades entre elementos. Supermatriz original
4. Cálculo entre las prioridades entre clúster. Supermatriz ponderada
5. Cálculo de la supermatriz límite.

5.3.1.1.1 Identificación de los elementos de la red y construcción de la red.

En un problema de decisión con ANP, como ocurría con AHP, hay una serie de alternativas que se pretende priorizar y una serie de criterios que son los que nos van a permitir realizar la priorización.

Las alternativas se agrupan en un nodo o clúster y los criterios en otros componentes o clúster, ya que normalmente se encuentran criterios (elementos) de distinto carácter, por ejemplo, sociales, económicos, técnicos etc. y por ello se agrupan en distintos nodos o clúster (Aznar, 2012, p231).

5.3.1.1.2 Análisis de la red de influencias. Matriz de dominación interfactorial.

Conocidos cada clúster y sus componentes el siguiente paso es determinar todas las interdependencias entre clústers y las realimentaciones entre elementos dentro de los clústers. Para representar estas influencias, se utiliza la matriz de dominación interfactorial también conocida como Matriz de influencias que está compuesta por 1 (unos) y 0 (ceros), los 1 significan que entre los elementos que confluyen en él hay influencia y los 0 que no la hay, de forma que al final del análisis la matriz tendría el aspecto que se puede observar en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Matriz de dominación interfactorial.

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	1	0	1	0	1	0
	e12	1	0	1	1	0	1	1
	e13	1	1	0	0	1	1	1
C2	e21	0	1	1	0	0	0	0
	e22	1	1	1	0	0	0	0
	e23	1	0	1	0	0	0	0
	e24	1	1	1	0	0	0	0

Fuente: (Aznar, 2012, p231).

El procedimiento para construir esta matriz, es el siguiente:

Se elige el primer clúster C1 (Tabla 8) que comprende tres elementos e_{11} , e_{12} , e_{13} y se determina si esos elementos tienen alguna influencia sobre ellos mismos. Se pregunta si cada uno de esos tres elementos tiene influencia. Se observa en la matriz que se ha escrito el vector columna (0,1,1) con lo que se está diciendo que e_{12} y e_{13} tienen influencia sobre e_{11} .

Este mismo procedimiento se lleva a cabo para los demás vectores columna que componen los clústers C1 y C2.

5.3.1.1.3 Cálculo de las prioridades entre elementos. Supermatriz original.

Conocidas todas las influencias se determina la cuantificación de las mismas, mediante el planteamiento de las matrices de comparación pareada correspondientes

Para cuantificar las influencias de los elemento del clúster C1 sobre esos mismos elementos, se plantean por ejemplo las siguientes preguntas ¿sobre e_{11} quien tiene más influencia e_{12} o e_{13} ?, si la respuesta es e_{12} , a continuación se pregunta ¿cuanta más influencia tiene ? y teniendo en cuenta la escala fundamental de comparación pareada, se determina entre igual y moderadamente más importante por lo que la notación sería entonces 2/1 como se representa en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Influencia de e_{12} y e_{13} sobre e_{11} .

	e_{12}	e_{13}	Vector propio
e_{12}	1	2	0,67
e_{13}	1/2	1	0,33

Fuente: (Aznar, 2013, p232).

Estos mismo pasos se realizan para la cuantificación de los demás elementos de decisión con respecto a cada clúster, logrando así obtener el vector propio de cada uno de éstos y poderlos sustituir en la matriz interfactorial para lograr consolidar la supermatriz original.

5.3.1.1.4 Calculo de las prioridades entre clústers. Supermatriz ponderada.

Cuando ya se tiene la Supermatriz original con todas las ponderaciones, normalmente no será una matriz estocástica o sea una matriz que todas sus columnas sumen 1. Para transformarla en estocástica se plantea una matriz de comparación pareada con los clústers correspondientes para determinar la ponderación de los mismos. Por ejemplo se realiza la siguiente pregunta ¿entre el clúster C1 y el C2 cual tiene mayor influencia sobre los elementos de C1? si se

supone que la respuesta es C2, se pregunta entonces ¿cuanta más influencia tiene C2 que C1?, respuesta: “moderadamente más influencia”. Se procede a construir la matriz de comparación pareada como se muestra en la **tabla 10**.

Tabla 10. Matriz de comparación pareada de la influencia de los clústers C1 y C2 sobre los elementos del clúster c1

	C1	C2	Vector propio
C1	1	1/3	0,25
C2	3	1	0,75

Fuente: (Aznar, 2012, p236).

Multiplicando los pesos de los elementos de cada cluster, por la ponderación del cluster, la matriz pasa a ser estocástica o sea la suma de los elementos de cada columna es uno y se puede consolidar la supermatriz ponderada.

5.3.1.1.5 Supermatriz límite

Multiplicando la Supermatriz ponderada por ella misma tantas veces como sea necesario, llega un momento que todas las columnas son iguales y sus valores indicarán la prioridad global de los elementos de la red.

Tabla 11. Ejemplo de Supermatriz límite.

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687
	e12	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107
	e13	0,2918	0,2918	0,2918	0,2918	0,2918	0,2917	0,2918
C2	e21	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636
	e22	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401
	e23	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760
	e24	0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,1486	0,1487

Fuente: (Aznar, 2012, p237).

En la tabla 11 se presenta un ejemplo de la supermatriz límite en el cual se indica la ponderación final de los elementos, en donde en este caso, si C2 eran las alternativas la mejor es la e24 con una ponderación 0,1487 y si C1 eran los criterios, la ponderación de los mismos indica que el que más ha influido es el e13, seguido del e12 y ya con menor importancia el e11.

6. PROCESO DE PRIORIZACIÓN APLICADO

6.1 Contextualización del sector empresarial

La producción de plásticos data de 1869 cuando se creó el celuloide que en 1884 dio origen a la película fotográfica. Sin embargo, puede decirse que la industria de los plásticos es del siglo XX. Su crecimiento, desarrollos, aplicaciones e impactos en la sociedad y la economía han tenido lugar en los últimos cien años, lo que convierte a la industria del plástico en un invaluable aporte a la historia de la civilización y a la fabricación de productos esenciales. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2004).

Desde el comienzo de la década de los 60 se produjo un marcado crecimiento en la industria de los plásticos. Actualmente, la producción mundial de plásticos es diez veces mayor que en aquella época y alcanza aproximadamente 100 millones de toneladas anuales (ACOPLASTICOS, 2002).

En Colombia, la industria del plástico se ha caracterizado por ser, en condiciones normales, la actividad manufacturera más dinámica de las últimas tres décadas, con un crecimiento promedio anual del 7%. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2004).

En el año 2000, la actividad transformadora de materias plásticas registró un valor de producción de 2.215 millones³ de pesos (1.061 millones de dólares) y un valor agregado de 1.073 millones de pesos (514 millones de dólares), con una contribución al total industrial nacional del 4% en las dos variables (DANE, 2000).

En el año 2002 el sector de los plásticos exportó 227 millones de dólares, con un promedio de participación del 3,75% en el total de las exportaciones industriales. En el mismo año, las importaciones de productos manufacturados de plástico alcanzaron los 239 millones de dólares, equivalentes al 2,2% de las importaciones industriales (ACOPLASTICOS, 2002).

La selección del sector plástico radica en los problemas de disposición y tratamiento de estos residuos, que de acuerdo a proyecciones internacionales, dentro de los residuos urbanos los plásticos representan tan sólo el 7% en peso, frente a otros materiales, pero su baja densidad incide en que, en términos volumétricos, los porcentajes se disparen hasta valores del 23%. Adicionalmente se tiene la acumulación de este tipo de residuos en los sitios de disposición, debido a que el tiempo de descomposición de los plásticos oscila entre 100 y 450 años. De esta manera, es necesario generar cambios en los procesos productivos

³ Un millardo es un número natural equivalente a 10^9 , es decir un millardo = mil millones.

y en los hábitos de consumo, encaminados siempre hacia la búsqueda de un desarrollo sostenible de los centros urbanos y a una gestión adecuada de los residuos plásticos. (Epam, 2008)

6.2 Contextualización de la empresa

Este trabajo se desarrolla en una empresa del sector plástico de la ciudad de Cali fundada en 1997, dedicada a brindar soluciones de empaques plásticos flexibles al sector agrícola, comercial y de alimentos.

La empresa actualmente tiene implementado un programa de logística inversa por medio de outsourcing con una empresa ubicada en la ciudad de Cali. Esta última es responsable de recoger los desperdicios generados en el proceso de producción, clasificando estos en tres grandes grupos, polietilenos de baja densidad transparente, polietilenos de alta densidad blanco, y el último grupo que reúne plástico con impresos y tintas, siendo los dos primeros grupos el producto de interés para la empresa y el cual es recuperado, pues los desperdicios con pigmentos y tintas al recuperarse dan una tonalidad grisácea o negra a la bolsa, y dado que la empresa no maneja línea de bolsas negras, este desperdicio se vende a la empresa encargada de la recuperación del producto.

La empresa subcontratada es la encargada entonces de recuperar el polietileno de baja densidad transparente y el polietileno de alta densidad blanco, el cual es llevado nuevamente a la empresa y entregado en forma de pellets (los pellets se denominan a pequeñas porciones comprimidas de plástico y que son usadas en la empresa como materia prima en su proceso productivo de bolsas plásticas).

Es importante resaltar que el sector plástico, y por consiguiente la empresa se tornan interesantes en el desarrollo de este trabajo de grado, ya que como se evidencia en la investigación, éste es un sector que se caracteriza por generar una gran cantidad de residuos sólidos que son fácilmente recuperables, pero que en el país no se llevan a cabo controles necesarios para el aprovechamiento de este recurso, ni para mitigar el impacto ambiental que este puede generar si no se realiza una correcta disposición final.

6.3 Selección de expertos.

Arquer (2007) afirma que para que una persona pueda ser etiquetada como “experta” debe poseer un conocimiento profundo de la tarea o actividad que será objeto de análisis y valoración, y tiene que estar familiarizada con el sistema en el que ésta se desarrolla. Así mismo, los expertos a los que se recurre tienen que ser capaces de traducir su valoración en términos de probabilidades.

En la tarea de validar la estructura del modelo en cuanto a la comparación de alternativas y evaluación de los elementos de decisión, se diseñó una encuesta dirigida a los altos cargos con el fin de que ésta fuese desarrollada por las personas representativas del marco estratégico del negocio, con relación directa a cada uno de los clúster y alternativas que se necesitan evaluar, para así obtener un feedback confiable y respaldado con la experiencia o experticia de cada una de estas personas representativas de los altos cargos de la empresa en estudio. Es importante obtener una buena evaluación de expertos ya que esto permite que el modelo proporcione resultados razonables y consistentes.

En el proceso de selección de expertos en la empresa se tuvo en cuenta factores como la experiencia y la disponibilidad de tiempo. Se planteó la idea de realizar la encuesta con colaboración de la alta gerencia y el grupo administrativo de la empresa.

Al final, la encuesta se desarrolló con los directores de planta, quienes son personas que tienen mucha experiencia en el sector y en el funcionamiento de la empresa, además de que con ellos se facilitó la programación de las diferentes reuniones que se necesitaron para el desarrollo del trabajo de grado.

Para conocer el número de expertos se tuvo en cuenta el artículo propuesto (Arquer, 2007), en donde se determina que: *“El número de expertos necesario para conseguir el juicio que se busca no es fijo, oscila desde tres o cuatro expertos hasta seis, según la precisión que se desee”*. De esta forma, se decide que los expertos para la evaluación de los clúster y elementos de decisión sean tres trabajadores de tres cargos diferentes que se consideraron tienen mucha relación con el proceso productivo de la empresa. Los tres expertos seleccionados fueron:

- Director de Logística.
- Director de Producción.
- Director de proyectos.

6.4 Identificación de alternativas, clúster y elementos de decisión

El desarrollo de este trabajo de grado tiene como objetivo dar soporte a la toma de decisiones de implementación de un programa de logística inversa en una empresa del sector plástico.

Inicialmente se optó por establecer 4 alternativas, entre las cuales había una que daba la opción de no implementar nada, lo cual abrió un debate con los expertos de la empresa quienes con base en sus conocimientos de la empresa y del sector plástico, recomendaron objetar esta alternativa ya que según ellos, en el dinamismo del sector plástico siempre se debe pensar en conseguir materia prima

reciclada para realizar el proceso de producción, debido a que es un mecanismo que trae grandes beneficios económicos. Teniendo en cuenta lo anterior, se decidió quitar esta alternativa ya que los argumentos utilizados por los expertos estaban bien fundamentados y no tenía sentido evaluar una alternativa que desde un principio iba a ser descartada.

Finalmente se plantearon tres (3) alternativas que se describen a continuación:

Alternativa 1. Implementación el programa de logística inversa por parte de la empresa: Esta alternativa hace referencia a la implementación 100% por parte de la empresa de plástico, es decir, es totalmente responsable de la gestión administrativa y operativa que conlleva el programa de logística inversa.

Alternativa 2. Subcontratar la Implementación del programa de logística inversa: Subcontratar el programa de logística inversa hace referencia a tercerizarlo, es decir, una empresa que presta servicios de recuperación de productos plásticos será la responsable de recoger en la puerta de la empresa los desperdicios plásticos del proceso, y de igual forma será la responsable de entregar dichos residuos en forma de materia prima apta para la elaboración de nuevos productos.

Alternativa 3. Implementar el programa de logística inversa mixto (50% empresa, 50% subcontratado): los procesos a realizar dentro del programa de logística inversa son recolección de desperdicios, clasificación de desperdicios, transformación de desperdicios en materia prima y entrega de materia prima recuperada. De acuerdo a lo anterior, se consideran los siguientes pesos teniendo en cuenta la importancia de cada proceso dentro del programa.

- El proceso de transformación de desperdicios en materia prima, al requerir una maquinaria, infraestructura y mano de obra capacitada, tiene una ponderación del 50%, y se asigna a un tercero, es decir, se subcontrata.
- Los procesos de recolección de desperdicios y entrega de producto recuperado (transportes), y clasificación de desperdicios (siendo de interés el polietileno de baja densidad transparente y el polietileno de alta densidad blanco) tienen todos estos procesos una ponderación del 50%, y serán realizadas por la empresa.

De esta forma, con estas dos clasificaciones y distribución de los procesos, se cubre el 100% del programa de logística inversa.

Las alternativas anteriormente nombradas se evalúan y valoran mediante la implementación del modelo multicriterio ANP, el cual mediante los criterios y subcriterios tomados como elementos de decisión, permite determinar la alternativa que cumple, de mejor forma, con las expectativas de la organización.

En la identificación y selección de los criterios y subcriterios, que por cuestiones de interpretación de los datos de ahora en adelante se nombrarán como Clúster y elementos de decisión respectivamente, según Dowlatshahi (2000), desde el diseño pasando por manufactura hasta entregar el producto en manos del cliente, las empresas deben explorar e integrar la logística inversa como una opción de negocio viable en el ciclo de vida del producto, además, ésta proporciona ahorro de costos estratégicos a diferencia de los métodos tradicionales de ahorro de solución rápida, como la reducción de las nóminas a través de despidos o la compra de materiales de baja calidad. Con base en esto, Dowlatshahi plantea los factores estratégicos críticos que una empresa debe tener en cuenta para implementar un sistema de logística inversa de manera efectiva. Los Factores Estratégicos consisten en los costos estratégicos, calidad general, servicio al cliente, asuntos ambientales y asuntos legislativos o legales. Dowlatshahi (2005), define cada uno de los factores estratégicos de la siguiente manera:

- **Costos estratégicos:** están asociados con el diseño general y la aplicación de un sistema de logística inversa. Los costos estratégicos son los no recurrentes incurridos en el diseño y ejecución de las operaciones de remanufactura o reciclaje en el contexto de la logística inversa. Gran parte de los costos adicionales deben ser invertidos para un logro mayor, a largo plazo de retorno de la inversión en un área que no existía anteriormente. Estos costos pueden incluir la adquisición de equipo adicional para reacondicionar los productos recuperados, los costos de emplear otros directores y trabajadores cualificados para procesar o para administrar el sistema de logística inversa, y el costo de adquisición de las instalaciones de almacenamiento adicionales. Estas inversiones de capital deben ser planificadas, controladas y reducidas al mínimo para una efectiva aplicación de la logística inversa. Por lo tanto, el éxito global de un sistema de logística inversa en términos de costos estratégicos está determinado en gran medida por la utilización eficaz de los recursos actuales con que cuenta la empresa. Esto también podría significar que los productos seleccionados para las

operaciones de sistema de logística inversa debe encajar, y ser compatibles con la estrategia global de productos de la empresa.

- **Calidad estratégica:** es una consideración importante para los productos remanufacturados. La calidad estratégica se centra en los parámetros generales y estratégicos de la calidad de los productos remanufacturados o reciclados. Aborda el grado de cumplimiento de las especificaciones de los productos remanufacturados o reciclados respecto a los de los productos vírgenes. También podría abordar el nivel global de la calidad deseada en los productos remanufacturados. En resumen, la calidad estratégica se centra en el diseño de las cuestiones de calidad para productos remanufacturados o reciclados. Thierry et al. (1995) citado en Dowlatshahi (2005, p. 3460), declaró que los objetivos estratégicos de calidad para los productos remanufacturados o reciclados deben ser, como mínimo, equivalentes a los productos vírgenes u originales. Los clientes suelen esperar el mismo nivel de calidad del fabricante, independientemente de la naturaleza del producto. La mala calidad de los productos remanufacturados o reciclados pueden afectar negativamente a la reputación y, posiblemente, las ventas de los productos originales de la empresa.
- **Servicio al cliente:** el servicio para clientes de logística inversa interesados en los productos remanufacturados o reciclados, podría ser tan importante como los productos remanufacturados o reciclados en sí mismos. Esta cuestión ha recibido considerable atención en la literatura de la logística inversa, sin embargo las discusiones al respecto han sido muy amplias y generales. Trebilcock (2002) citado en Dowlatshahi (2005, p. 3460), dice que la logística inversa no es una cuestión de logística, pero si es una cuestión de servicio al cliente. El autor explicó que las demandas de servicio al cliente están en aumento y el servicio al cliente para logística inversa debe ser tan importante como el servicio al cliente para la logística directa. Los recientes cambios en la conciencia de los consumidores han incrementado la importancia estratégica de la capitalización de los temas no económicos relacionados con servicio al cliente.
- **Asuntos ambientales:** el tema ambiental está inmerso en el debate de logística inversa. La comunidad y los clientes exigen que los fabricantes involucrados en la logística inversa se responsabilicen de los efectos ambientales de su producción, entrega, y disposición final de sus productos (Mason, 2002, citado en Dowlatshahi, 2005, p. 3460). A menudo los consumidores podrían estar dispuestos a pagar más por productos que benefician directamente a sus comunidades y el medio ambiente (Andel y Aichlmayr, 2002, citado en Dowlatshahi, 2005, p. 3461). Los beneficios y ventajas de un sistema de la logística inversa sirven como un incentivo para la gestión de impacto ambiental y sus consecuencias. Doherty (1996) citado en

Dowlatshahi (2005, p. 3461), sin embargo, declaró que la mayoría de los programas de logística inversa han sido reactivos (es decir, resultantes de las regulaciones gubernamentales o las presiones de grupos ambientalistas), en lugar de intentos proactivos para obtener beneficios económicos. Muchos autores discuten las implicaciones generales de logística inversa en el medio ambiente. El principio básico de estos artículos es que las empresas deben cumplir con la legislación ambiental vigente. Blumberg (1999) citado en Dowlatshahi (2005, p. 3461), argumentó que el aumento en la conciencia del consumidor ha acelerado la necesidad de implementar programas de logística inversa más eficaces, así como el manejo de los residuos y materiales peligrosos.

- **Asuntos Legales.** El impacto de las acciones política y jurídica de la logística inversa es otra consideración estratégica importante. Blumberg (1999) citado en Dowlatshahi (2005, p. 3461), declaró que debido a la legislación impuesta por varios gobiernos y la creación de productos respetuosos del medio ambiente, el nivel de concienciación de los clientes ha aumentado la necesidad de una logística inversa más eficaz y el manejo de los residuos y materiales peligrosos. Nagel y Meyer (1999) citados en Dowlatshahi (2005, p. 3461), ofrecieron una visión general de los requisitos legales y la responsabilidad de los fabricantes de productos para la disposición final de los mismos. Una parte influyente de la legislación fue la directiva de empaquetado de la Unión Europea. Desde que se firmó en vigor en diciembre de 1994, esta legislación ha tratado de armonizar las diversas directivas de envases en toda Europa.

Los mercados mundiales significan competencia global y regulaciones globales. Los mercados de Europa tienen estrictas normativas. La conciencia y el cumplimiento de los requisitos reglamentarios y de calidad con las normas ambientales ISO 14000 parecen ser el hilo conductor de la literatura en esta área (Mason, 2002, citado en Dowlatshahi, 2005, p. 3462). Finalmente, Thierry et al. (1995) citados en Dowlatshahi (2005, p. 3462), afirmaron que el cumplimiento con la rápida evolución de las regulaciones y los movimientos rápidos para cumplir las exigencias de los clientes pueden requerir un cambio fundamental en la manera como las empresas hacen negocios.

De acuerdo a la consulta bibliográfica anterior y con algunas reuniones realizadas con personal del área administrativa de la empresa, se discutieron y determinaron aquellos elementos de decisión que más se adaptaran a la situación de la empresa, ya que finalmente estos deben contener los intereses, beneficios y riesgos que se pueden presentar en la ejecución de un proyecto como lo es el programa de logística inversa. En la **Tabla 12** quedan representados los clúster y cada uno de los elementos de decisión a tener en cuenta para el desarrollo del modelo multicriterio.

Tabla 12. Clúster y elementos de decisión

Clúster	Elemento de decisión
Factor económico	Costo
	Inversión
	Rentabilidad
	Beneficios e incentivos tributarios
	Riesgo
	Gestión de control del producto
Factor ambiental	Impacto ambiental
	Normatividad ambiental
Factor tecnológico	infraestructura
	Vigilancia e inteligencia competitiva
Factor social	Empleos
Factor político legal	Normatividad de productos plásticos

Fuente: Elaboración propia

A continuación se describen los clúster y elementos de decisión tenidos en cuenta para la evaluación y valoración de las alternativas.

Clúster 1: Económico.

- **Costos:** son la suma de flujos en que incurre una persona física o moral para la adquisición de un bien o un servicio, con la intención de que genere ingresos en el futuro (Samuelson, 1992). Se pretende determinar todos los costos generales asociados a la implementación de un programa de logística inversa, como alquiler de quipos, costos de personal, maquinaria, entre otros.
- **Inversión:** corresponde al gasto monetario en la adquisición de capital fijo, capital circulante o flujo de producción encaminado a aumentar el capital fijo de la sociedad o el volumen de existencias (Samuelson, 1992). Tarrágo (1986) dice que *“la inversión consiste en la aplicación de recursos financieros a la creación, renovación, ampliación o mejora de la capacidad operativa de la empresa”* y Peumans (1967), afirma que *“la inversión es todo desembolso de recursos financieros para adquirir bienes concretos durables o instrumentos de producción, denominados bienes de equipo, y que la empresa utilizará durante varios años para cumplir su objeto social”*. Con base en lo anterior la inversión se verá reflejada en todas las necesidades de capital que requiera la empresa para la implementación del programa de logística inversa, como por ejemplo, compra de maquinaria, remodelaciones, adecuaciones en infraestructura, entre otros.

- Rentabilidad: de acuerdo con Baca (1987), “desde el punto de vista de la inversión de capital, la rentabilidad es la tasa mínima de ganancia que una persona o institución tiene en mente, sobre el monto de capital invertido en una empresa o proyecto”. Se pretende evaluar cada alternativa teniendo en cuenta factores como por ejemplo la inversión, costos y vida de servicio entre otros; para determinar el peso de cada alternativa en cuanto a la rentabilidad que pueda llegar a generar.
- Incentivos y beneficios tributarios: Existen acuerdos en los Estatutos Tributarios del país⁴, en donde la ejecución por parte del sector empresarial de ciertos proyectos que tengan un impacto positivo, bien sea controlando o evitando problemas ambientales podrán obtener ciertos beneficios económicos, como por ejemplo el pago de IVA de maquinaria importada destinada para el beneficios del medio ambiente, o deducción del valor de la renta aquellas inversiones realizadas en proyectos ambientales. Este elemento de decisión hace referencia al aprovechamiento o no, que pueda tener la empresa en la ejecución del programa de logística inversa.
- Riesgo: Dentro de un proyecto el riesgo y la incertidumbre son dos factores que se presentan con frecuencia, en donde existen riesgos cuando los posibles escenarios con sus resultados se conocen y existen antecedentes para estimar una distribución de frecuencia y hay incertidumbre cuando los escenarios o su distribución de frecuencia se desconocen. (Nassir, 2007).
Un riesgo es un evento o condición incierta que, si sucede, tiene un efecto en por lo menos unos de los objetivos del proyecto (los objetivos pueden incluir el alcance, el tiempo, el costo y la calidad); como también puede tener una o más causas, y si sucede, uno o más impactos (PMBOK, 2008). Un proyecto se puede ver inmerso en varios tipos de riesgos como el social, político legal, económico, ambiental, entre otros riesgos que pueden llegar influenciar en cualquiera de las fases de un proyecto.
- Gestión de control del producto: este elemento de decisión se asocia al control que tenga la empresa del producto a recuperar y el producto recuperado, permitiendo tener una mejor planeación de la producción con materia prima recuperada y virgen.

⁴ Estatutos Tributarios de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Artículo 424-5 numeral 4; Artículo 428; Artículo 158-2.

Clúster 2: Ambiental.

- Impacto ambiental: Este elemento de decisión se basa en el grado de contaminación y el impacto que los residuos plásticos post-consumo tienen en los ecosistemas.
- El impacto ambiental en la producción de materias primas y en la industria transformadora de resinas plásticas es poco significativo debido a factores tales como: la no utilización de combustibles fósiles, bajo consumo de energía eléctrica, poca demanda de agua, muy bajo nivel de emisiones atmosféricas y vertimientos y facilidad de reciclar los residuos sólidos industriales, en particular los termoplásticos, dentro de sus procesos o en los de otras industrias. Por su parte, la disposición final de los residuos plásticos si tiene un impacto ambiental en la medida en que los residuos sólidos sean eliminados en botaderos a cielo abierto; siendo ésta una práctica que predomina en la mayoría de los municipios de Colombia. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2004)
- Normatividad Ambiental: asociada a políticas, resoluciones normas, decretos, entre otros, relacionadas con el tema de la disposición de productos plásticos post-consumo, y que puedan tener influencia en la ejecución del programa de logística inversa.

Clúster 3: Tecnológico.

- Infraestructura: Este elemento de decisión hace referencia al espacio, elementos e instalaciones necesarias para la implementación del programa de logística inversa.
- Vigilancia e Inteligencia competitiva: Elemento de decisión asociado al sistema de gestión de la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) asociada al programa de logística inversa y que debe incluir el proceso de vigilancia e inteligencia competitiva.

Clúster 4: Social.

- Empleos: Elemento de decisión asociado a la generación de empleos por medio de la implementación del programa de logística inversa.

Clúster 5: Político-regulatorio.

- Normatividad para productos plásticos: asociada a políticas, resoluciones, normas, decretos, etc. relacionadas a la producción e inventario de productos plásticos, y que puedan tener influencia en la ejecución del programa de logística inversa desde el punto de vista regulatorio.

6.5 Determinación de influencias.

Teniendo en cuenta los elementos de decisión planteados y definidos entre la empresa caso de estudio y los autores de este trabajo de grado, se realiza la Matriz de Influencias. El objetivo de ésta, como su nombre lo indica, es determinar las influencias internas y externas entre los clúster y los elementos de decisión que conforman cada clúster. Por cuestiones de tamaño de la matriz se trabaja de manera abreviada los elementos de decisión como se puede observar en la **tabla 13**.

Tabla 13. Abreviatura de los elementos de decisión.

Elemento de decisión	Abreviación
Alternativa 1	A1
Alternativa 2	A2
Alternativa 3	A3
Costo	Co
Inversión	In
Rentabilidad	Rc
Incentivos y beneficios tributarios	Bt
Riesgo	Ri
Gestión de control de producto	Gc
Impacto ambiental	Ia
Normatividad ambiental	Na
Infraestructura	Inf
Vigilancia e inteligencia competitiva	Vic
Empleos	Em
Normatividad para productos plásticos	Nup

Fuente: Elaboración propia

Para determinar las influencias y sus descripciones, se contó con la participación de algunos trabajadores de la empresa, quienes ayudaron a consolidar éstas por medio del conocimiento que ellos tienen sobre cada elemento de decisión y con una ayuda de material bibliográfico que se brindó para esclarecer algunos

conceptos, logrando así, establecer unas influencias claras que se adaptaran al funcionamiento de la empresa y del sector.

Se determinó en conjunto con los expertos de la empresa que debido a las características del estudio que se está realizando, existe una influencia implícita entre todos los elementos de decisión y alternativas, y entre alternativas y elementos de decisión; permitiendo así, establecer matrices de solamente valor 1 indicando la influencia, y poder consolidarlas en la matriz de influencias como se muestra en la **figura 7**. En los óvalos verdes se ve representada la influencia entre alternativas y elementos de decisión y así mismo, en los óvalos de color azul se establece la relación entre los elementos de decisión y alternativas. Como se observa en el recuadro rojo de la **figura 7** se han consolidado las influencias en cada uno de los recuadros con valor de 1 en las comparaciones nombradas.

Figura 7. Ilustración de influencias existentes entre alternativas- elementos de decisión y elementos de decisión- alternativas.

Matriz de relaciones del modelo ANP																
Alternativa	Alternativa			Clúster 1: Factor Económico (Fe)					Clúster 2: Factor ambiental (Fa)			Clúster 3: Factor tecnológico (Ft)		Clúster 4: Factor social (Fs)	Clúster 5: Factor político/legal (FPL)	
	A	B	C	Co	In	Rc	Bt	Ri	Gc	Ia	Na	Inf	Vic	Em	Nup	
A	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
B	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
C	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Co	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	
In	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	
Rc	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Bt	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	
Ri	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Gc	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	
Ia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	
Na	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	
Inf	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	
Vic	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	
Em	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
Nup	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	

Fuente: Elaboración propia

En el caso de las influencias presentes entre Alternativas - Alternativas, las cuales se ven reflejadas en la **figura 8**; se determinó conjuntamente con personal de la empresa que la alternativa 1 y 2 son mutuamente excluyentes debido a que no contempla realizar ningún tipo de combinación entre las actividades que hacen parte de cada una, contrario a lo que sucede con la alternativa 3 la cual se consideró que debido a que contiene una combinación entre hacer el programa propio (alternativa 1) y subcontratarlo (alternativa 2), no se debían contemplar alguna relación o influencia en cuanto a la exclusión.

En la **tabla 14** se hace una descripción de la influencia existente entre las alternativas nombradas. Se precisa que en las tablas de influencias solo se van a nombrar y describir aquellas relaciones en las que en efecto exista una influencia.

Conjuntamente se establecieron las influencias entre los diferentes elementos de decisión, de esta manera se deben analizar cada uno de los elementos de decisión respecto a los otros 11 elementos de decisión restantes con el fin de establecer la existencia o no de influencia como se muestra en la **figura 9**. Debido a la cantidad de los elementos de decisión a tener en cuenta y por motivos de simplicidad en el informe, en la **tabla 15** se muestra como ejemplo solamente las influencias con el elemento de decisión Costo; las influencias que competen con los demás elementos de decisión se muestran en el **anexo 1**. La descripción de cada una de las tablas de influencias fue realizada con base a la experiencia del personal de la empresa, quienes gracias a su conocimiento de la empresa y del sector plástico ayudaron a consolidar una definición para cada influencia existente.

Figura 8. Ilustración de influencias existentes entre alternativas

Matriz de relaciones del modelo ANP																
Alternativa	Alternativa			Clúster 1: Factor Económico (Fe)						Clúster 2: Factor ambiental (Fa)		Clúster 3: Factor tecnológico (Ft)		Clúster 4: Factor social (Fs)	Clúster 5: Factor político legal (FPL)	
	A	B	C	Co	In	Rc	Bt	Ri	Gc	Ia	Na	Inf	Vic	Em	Nup	
Alternativa	A	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	B	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	C	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Clúster 1	Co	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	
	In	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	
	Rc	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	Bt	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	
	Ri	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Clúster 2	Gc	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	
	Ia	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	
Clúster 3	Na	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	
	Inf	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	
Clúster 4	Vic	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	
	Em	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	
Clúster 5	Nup	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Ilustración de influencias existentes entre los elementos de decisión.

Matriz de relaciones del modelo ANP																
Alternativa	Alternativa			Clúster 1: Factor Económico (Fe)						Clúster 2: Factor ambiental (Fa)		Clúster 3: Factor tecnológico (Ft)		Clúster 4: Factor social (Fs)	Clúster 5: Factor político legal (FPL)	
	A	B	C	Co	In	Rc	Bt	Ri	Gc	Ia	Na	Inf	Vic	Em	Nup	
Alternativa	A	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	B	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	C	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Clúster 1	Co	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	
	In	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	
	Rc	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	Bt	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	
	Ri	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Clúster 2	Gc	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	
	Ia	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	
Clúster 3	Na	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	
	Inf	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	
Clúster 4	Vic	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	
	Em	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	
Clúster 5	Nup	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Influencias existentes entre Alternativas

	Relación		Descripción
Alternativas	Alt A	Alt B	Si se realiza la alternativa A, la cual hace referencia a realizar el programa de logística inversa 100%, no se puede realizar la alternativa B que se relaciona con subcontratar el programa de logística inversa en su totalidad. Son dos alternativas mutuamente excluyentes.
	Alt B	Alt A	Si se realiza la alternativa B, la cual hace referencia a subcontratar el programa de logística inversa en su totalidad, no se puede realizar la alternativa A que hace referencia a realizar el programa de logística inversa 100%. Son dos alternativas mutuamente excluyentes.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Influencias entre el elemento de decisión costos y los demás elementos.

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Costos	Co	In	El costo es la pérdida de la posibilidad de un empleo diferente de los recursos escasos implicados. El grado de escasez de los recursos “considerados necesarios” importan la medida de la pérdida en que consiste el costo que, obviamente, tanto mayor será cuanto más escasos sean los recursos (GARCÍA, 2002). Dado lo anterior se puede considerar que por ejemplo unos costos altos de operación muy probablemente tienen un grado de relación con una escasez de recursos reflejados en la falta de inversión.
	Co	Rc	Se puede relacionar con que por ejemplo entre más sean los costos asociados al proyecto, menor será la rentabilidad que éste puede llegar a generar.
	Co	Ri	Entre más costos asociados, mayor va ser el riesgo implícito ya que entre algunas cosas, se podría ver afectado el margen de ganancia aumenta así por ejemplo el riesgo económico.
	Co	Inf	Dependiendo de los costos que pueda llegar a generar cierta infraestructura, por ejemplo costos de mantenimiento, costos de operación; sirve como factor a la hora de adquirir cierto tipo de infraestructura.
	Co	Em	Dependiendo de los costos se mira la posibilidad de crear empleos, los cuales generaran costos en el transcurso del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Se considera que un elemento de decisión no va a tener influencia con él mismo, de igual forma con las alternativas. Esto conduce a que la matriz de influencias se vea representada con una diagonal de ceros.

Teniendo en cuenta cada una de las influencias determinadas, se construye la Matriz de Influencias.

Figura 10. Matriz de Influencias.

Matriz de relaciones del modelo ANP																
Alternativa	Alternativa			Clúster 1: Factor Económico (Fe)						Clúster 2: Factor ambiental (Fa)		Clúster 3: Factor tecnológico (Ft)		Clúster 4: Factor social (Fs)	Clúster 5: Factor político legal (FPL)	
	A	B	C	Co	In	Rc	Bt	Ri	Gc	Ia	Na	Inf	Vic	Em	Nup	
Alternativa	A	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	B	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	C	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Clúster 1	Co	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
	In	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0
	Rc	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Bt	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0
	Ri	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gc	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0
Clúster 2	Ia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
	Na	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
Clúster 3	Inf	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
	Vic	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
Clúster 4	Em	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Clúster 5	Nup	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo que se puede observar en la **figura 10**, se tiene que la influencia es representada por un “1” y la no influencia por espacios en blanco. De esta forma se observa, por ejemplo, que el elemento Co, el cual es la abreviatura de Costos, tiene influencia sobre los elementos In (inversión) y Rc (rentabilidad), pero no tiene influencia sobre el elemento Bt (incentivos y beneficios tributarios).

6.6 Construcción del modelo

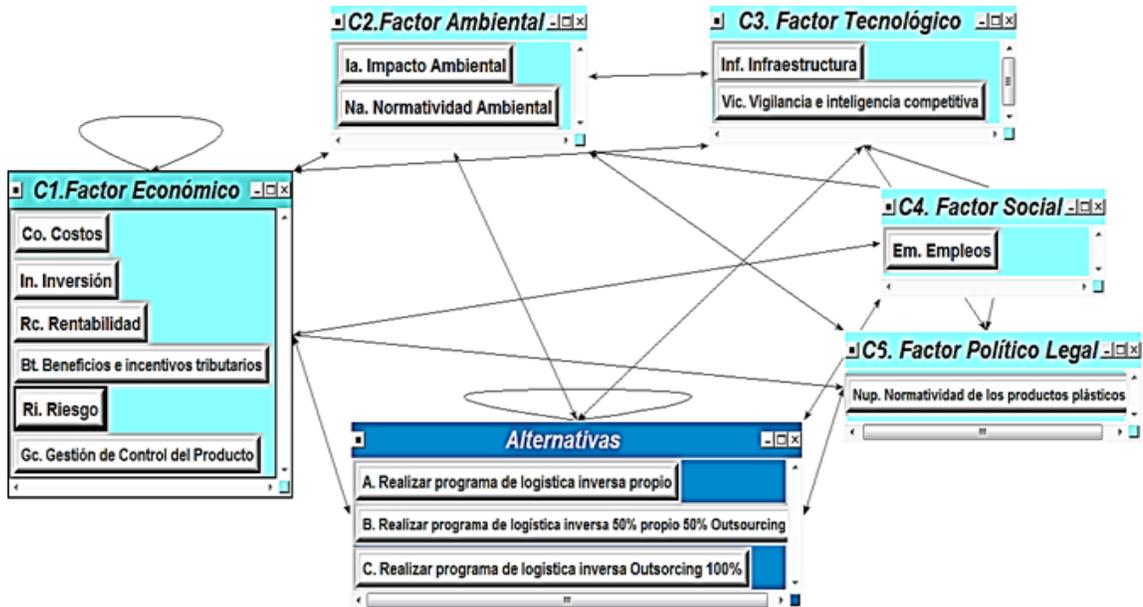
Teniendo en cuenta las relaciones establecidas en la matriz de influencias, se construye un modelo de relaciones con la ayuda del software *SuperDecisions* como se muestra en la **figura 11**, en donde se representa gráficamente cada relación existente entre clúster y elementos de decisión.

Con base en las encuestas realizadas por los 3 expertos, se determina el peso que tiene cada alternativa y elemento de decisión, además del comportamiento de

las interacciones que existen entre alternativas vs alternativas, alternativas vs elementos de decisión y entre elementos de decisión vs elementos de decisión.

En el desarrollo de la encuesta, los expertos calificaron cada relación que se estableció en la matriz de influencias por medio de una tabla de preferencias, en donde por ejemplo 1 representaba una preferencia igual y 9 una preferencia extrema como se muestra en la **tabla 16**. Esta tabla se construyó con base en la escala de preferencia de Saaty (Saaty, 1999), con el propósito de darle el peso a cada calificación otorgada por cada uno de los expertos para cada influencia existente en el modelo. La metodología realizada en la encuesta se muestra en el **anexo 2**.

Figura 11. Modelo de relaciones ANP



Fuente: Elaboración propia

Sucesivamente se escoge un elemento en cada columna de la matriz de influencia y se analiza la influencia que los elementos de los diferentes grupos ejercen sobre el elemento escogido. Este análisis se realiza mediante la comparación pareada y los valores de la influencia determinados por cada experto, en donde se determina un vector prioridad para cada matriz de comparación. Luego por medio de la media geométrica se realiza una nueva matriz en donde se tienen en cuenta las 3 calificaciones conjuntas de los expertos, se corrobora las consistencias de las matrices para poder establecer el vector prioridad, el cual determina los valores de la Supermatriz Original.

$$\bar{x} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} = \sqrt[n]{x_1 * x_2 \cdots x_n}$$

Ecuación 3. Ecuación de la media geométrica.

Como se muestra en la **Figura 12**, para la construcción de la Supermatriz Original, se reemplazan los valores dados por cada uno de los expertos en la matriz de influencias, ubicando el valor de la media geométrica en las casillas donde exista influencia, es decir, que tenga un “1” en la Matriz de Influencia, y un cero (0) donde no exista ninguna influencia.

Tabla 16. Tabla de preferencias

Valor	Tipo de preferencia
1	Preferencia igual
2	Preferencia igual a moderada
3	Preferencia moderada
4	Preferencia moderada a fuerte
5	Preferencia fuerte
6	Preferencia fuerte a muy fuerte
7	Preferencia muy fuerte
8	Preferencia muy fuerte a extrema
9	Preferencia extrema

Fuente: Basado en escala de preferencia de Saaty

Cuando ya se tiene la Supermatriz Original con todas las ponderaciones, normalmente no será una matriz estocástica o sea una matriz que todas sus columnas sumen uno. Para transformarla en estocástica se plantea una matriz de comparación pareada con los elementos de decisión y las alternativas correspondientes para determinar la ponderación de los mismos (Aznar, 2012). De esta forma como se evidencia en la **tabla 17**, según la valoración de los expertos, las alternativas y los elementos de decisión tendrán una preferencia igual.

Tabla 17. Priorización de las alternativas del modelo

	Alternativa	Clúster	Vector prioridad
Alternativa	1	1	50%
Clúster	1	1	50%
Σ	2	2	1

Fuente: Elaboración propia

Multiplicando los pesos de los elementos de decisión y las alternativas, por la ponderación obtenida en la **tabla 17**, la matriz pasa a ser estocástica o sea la suma de los elementos de cada columna es uno (Aznar, 2012). De esta forma se obtiene la Supermatriz Ponderada.

Una vez se obtiene la Supermatriz Ponderada, se calcula la Matriz Límite representada en la **figura 13**, elevando a potencias sucesivas la Supermatriz Ponderada hasta conseguir que todas las columnas sean iguales, representado la influencia de los diferentes elementos del sistema con relación al proceso de decisión.

Figura 12. Supermatriz Original

Supermatriz Original															
	Alternativa			Factor Económico (Fe)						Factor ambiental (Fa)		Factor tecnológico (Ft)		Factor social (Fs)	Factor político legal (FPL)
	A	B	C	Co	In	Rc	Bt	Re	Gc	la	Na	Inf	Vic	Em	Nup
A	0	1	0	0,27	0,07	0,11	0,59	0,08	0,73	0,46	0,31	0,08	0,71	0,65	0,51
B	1	0	0	0,57	0,69	0,66	0,16	0,68	0,07	0,24	0,36	0,69	0,09	0,11	0,19
C	0	0	0	0,17	0,24	0,23	0,25	0,23	0,20	0,30	0,33	0,23	0,20	0,25	0,30
Co	0,09	0,22	0,13	0	0,17	0,20	0	0,13	0	0	0	0,24	0	0,38	0
In	0,17	0,03	0,12	0,24	0	0,28	0,20	0,35	0	0,13	0	0,40	0,34	0,08	0
Rc	0,07	0,13	0,09	0	0	0	0	0,18	0	0	0	0	0	0	0
Bt	0,06	0,06	0,08	0	0,11	0,15	0	0,09	0	0,18	0	0,07	0,19	0	0
Re	0,23	0,03	0,15	0	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gc	0,09	0,22	0,10	0,10	0	0,04	0	0,03	0	0,09	0	0,08	0,08	0,16	0
la	0,02	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,34	0,04	0,08	0	0	0,04	0,11	0,04	0
Na	0,02	0,07	0,03	0,04	0,03	0,02	0,23	0,04	0	0,35	0	0,06	0,07	0,03	1
Inf	0,18	0,03	0,16	0,25	0,20	0,14	0,11	0,06	0,64	0,10	0	0	0,13	0,16	0
Vic	0,02	0,04	0,03	0,09	0,07	0,05	0,13	0,02	0	0,07	0	0,03	0	0,11	0
Em	0,02	0,03	0,02	0,19	0	0,05	0	0,03	0,27	0	0	0	0	0	0
Nup	0,03	0,09	0,05	0,05	0,04	0,03	0	0,04	0	0,06	0	0,07	0,08	0,04	0

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de los resultados obtenidos en la supermatriz límite, se realiza un análisis por separado de las alternativas y elementos de decisión. Para ello se normalizan por separado cada uno y se obtiene la prioridad entre alternativas y la prioridad entre los elementos de decisión como se muestra en las **tabla 18** y la **figura 15** respectivamente.

El modelo da como resultado que la **alternativa B**, la cual se refiere a subcontratar 100% el programa de logística inversa, con un 45,7% es la alternativa por la cual debería optar la empresa en el momento de tomar la decisión de implementar un programa de logística inversa. Muy cerca le sigue la alternativa A, la cual hace referencia realizar el programa de logística inversa 100% propio, la cual puede verse como una opción interesante, que en este caso no fue la de más peso muy

Figura 13. Supermatriz Ponderada

Supermatriz Ponderada																
	Alternativa			Factor Económico (Fe)						Factor ambiental (Fa)		Factor tecnológico (Ft)		Factor social (Fs)	Factor político legal (FPL)	
	A	B	C	Co	In	Rc	Bt	Re	Gc	Ia	Na	Inf	Vic	Em	Nup	
A	0,00	0,50	0,00	0,13	0,04	0,05	0,30	0,04	0,37	0,23	0,31	0,04	0,35	0,32	0,25	
B	0,50	0,00	0,00	0,28	0,34	0,33	0,08	0,34	0,03	0,12	0,36	0,35	0,05	0,05	0,10	
C	0,00	0,00	0,00	0,08	0,12	0,12	0,12	0,12	0,10	0,15	0,33	0,11	0,10	0,12	0,15	
Co	0,04	0,11	0,13	0,00	0,08	0,10	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,19	0,00	
In	0,08	0,01	0,12	0,12	0,00	0,14	0,10	0,17	0,00	0,07	0,00	0,20	0,17	0,04	0,00	
Rc	0,03	0,07	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Bt	0,03	0,03	0,08	0,00	0,06	0,08	0,00	0,04	0,00	0,09	0,00	0,03	0,09	0,00	0,00	
Re	0,11	0,02	0,15	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Gc	0,05	0,11	0,10	0,05	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,04	0,04	0,08	0,00	
Ia	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,17	0,02	0,04	0,00	0,00	0,02	0,06	0,02	0,00	
Na	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,11	0,02	0,00	0,18	0,00	0,03	0,03	0,02	0,50	
Inf	0,09	0,02	0,16	0,13	0,10	0,07	0,05	0,03	0,32	0,05	0,00	0,00	0,06	0,08	0,00	
Vic	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04	0,02	0,06	0,01	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00	
Em	0,01	0,01	0,02	0,09	0,00	0,03	0,00	0,02	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Nup	0,02	0,05	0,05	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,04	0,04	0,02	0,00	

Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Supermatriz Límite

Supermatriz Límite																
	Alternativa			Factor Económico (Fe)						Factor ambiental (Fa)		Factor tecnológico (Ft)		Factor social (Fs)	Factor político legal (FPL)	
	A	B	C	Co	In	Rc	Bt	Re	Gc	Ia	Na	Inf	Vic	Em	Nup	
A	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	
B	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
C	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
Co	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
In	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
Rc	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
Bt	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	
Re	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Gc	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
Ia	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Na	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
Inf	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
Vic	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Em	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Nup	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	

Fuente: Elaboración propia

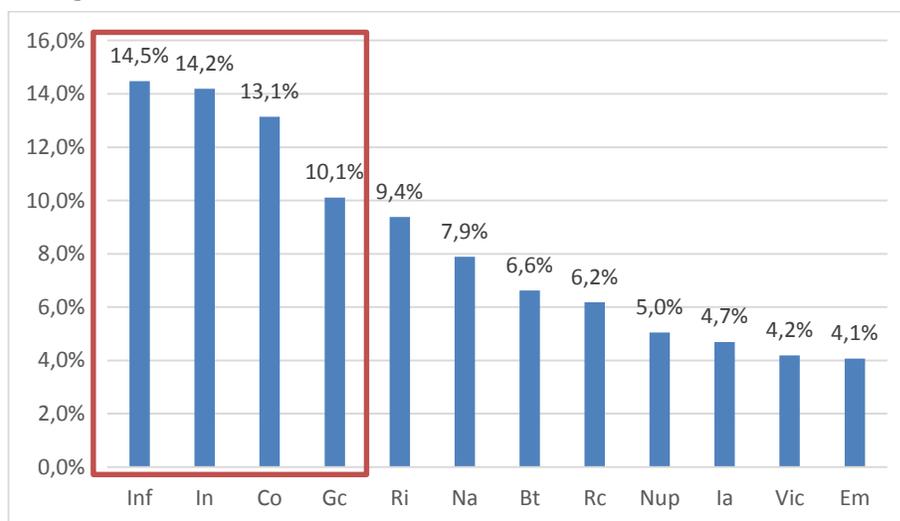
Tabla 18. Priorización de las alternativas del modelo.

Alternativas	Peso	Vector prioridad
A	0,20	40,6%
B	0,22	45,7%
C	0,07	13,8%
Σ	0,49	1

Fuente: Elaboración propia

probablemente por la influencia de algunos factores relacionados propiamente con la empresa en donde se realizó el estudio. La alternativa C, que se relaciona con desarrollar el programa 50% propio 50% subcontratado, no fue muy bien acogida por los expertos ya que obtuvo un peso del 13,8% el cual es muy inferior comparándolo con las otras alternativas.

Figura 15. Priorización de los elementos de decisión del modelo.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la priorización de los elementos de decisión, se observa que los que más influyeron en el modelo según los expertos fueron con un 14,5% la infraestructura (Inf), con un 14,2% la inversión (In) , seguidos de muy cerca por los costos con un 13,1%, además de la gestión del control del producto con un 10,1%. Entre estos 4 elementos representan más del 50% de los datos en comparación con los otros 8 elementos de decisión restantes.

Es interesante observar que dentro de los elementos de decisión el de más peso es la infraestructura por encima de los costos y la inversión que en un principio se

puede pensar que deberían de ser los de mayor influencia, tratándose de elementos del Clúster Económico. Este comportamiento se debe a circunstancias propias de la empresa en donde se realizó el trabajo de grado, ya que para los evaluadores que son trabajadores activos de la empresa con una gran experiencia en su labor y el sector, además de conocer muy bien el estado y situación de la empresa, se inclinaron a darle mucha importancia a la infraestructura de la empresa debido a que para ellos es un factor crítico el cual puede llegar a tener una influencia muy grande al momento de decidir realizar algún tipo de proyecto que implique ampliaciones o adecuaciones de la empresa. En el momento en que se realizó la encuesta se tuvo esta percepción en los 3 evaluadores cada vez que daban una calificación, lo cual se corrobora con los resultados del modelo.

7. CONCLUSIONES

- Es importante resaltar que este modelo puede llegar a representar el comportamiento de gran parte del sector plástico en cuanto a la gestión de los residuos sólidos, pero hay que tener cuidado al momento de tomar una decisión de manera general para una empresa en específico, ya que hay elementos de decisión cuyo peso difiere dependiendo de la empresa en donde se desee aplicar.
- Para las empresas del sector plástico resulta de vital importancia los programas de logística inversa, ya que les ofrece una alternativa de obtener materia prima a un bajo costo a partir de los residuos sólidos generados en el proceso productivo. Por esta razón, la alternativa de no implementar un programa de logística inversa en la empresa caso estudio no debe contemplarse, esto bajo el criterio y juicio de los expertos.
- La media geométrica resulta ser un buen conciliador entre las opiniones de los expertos, que bien pueden ser similares o diferir totalmente, unificando estos criterios en uno solo, permitiendo de esta forma estimar el peso de cada elemento de decisión y alternativa.
- Para obtener una calificación efectiva de los expertos es necesario un acompañamiento al momento de realizar la encuesta, ya que así se pueden aclarar las diferentes dudas que se presenten en el transcurso del desarrollo de la encuesta, además de contribuir a que las calificaciones sean fiables y consistentes.
- Es interesante que esta metodología ayuda a identificar cuáles son los elementos que aportan en mayor medida a la priorización de las alternativas, en este caso más del 50% del total de los datos estuvieron representados en 4 de las 12 elementos de decisión con las que se realizó el modelo, entre las cuales se encuentran infraestructura (inf), Inversión (In), Costos (Co) y gestión de control del producto (Gc).
- Según los resultados que arrojó el modelo, para la empresa el elemento de decisión de más influencia, fue la Infraestructura con un 14.5%, seguida muy de cerca por la inversión que tuvo un peso de 14. 2%. Esto se debe a que según lo expresado por los expertos y dada la situación de la empresa, es muy difícil considerar una ampliación o remodelación debido a que la empresa está situada en una bodega alquilada ubicada en un condominio industrial, en una esquina de ese sector; entonces por esta razón la infraestructura al igual que la inversión juegan un papel muy importante en la priorización de las alternativas como se evidencia en el modelo.
- El modelo dio como resultado que la alternativa 3 (realizar el programa 50% propio, 50% subcontratado) obtuvo un peso muy bajo en comparación a las otras alternativas debido a que según lo observado, los expertos veían en esta alternativa una opción en la que tenían que centrar sus fuerzas en dos frentes que por separados probablemente no lograrían obtener los mismos resultados. Concluían que debido a la complejidad del proceso no era

conveniente realizarlos por partes sino de una sola manera, ya que a lo mejor se podrían poner en conflicto algunas actividades.

- El ANP es una herramienta muy práctica a la hora de toma de decisiones ya que como valor agregado, se destaca que este modelo considera las interdependencias o influencias entre los diferentes elementos de decisión, fue muy interesante su aplicación en lo relacionado con la logística inversa direccionada en el sector plástico debido a lo extenso del tema, a todos los factores que se tienen en cuenta a la hora de hablar de logística inversa y el plástico, a las implicaciones que tiene cada uno y la manera en que puedan llegar a relacionarse.
- Los programas de logística inversa en el sector plástico de Colombia y del mundo resultan tener una gran aplicabilidad como una gran herramienta en la recuperación de desperdicios y productos finales para su uso posterior como materia prima en las cadenas productivas de las empresas pertenecientes a dicho sector, permitiendo obtener una ventaja competitiva y lograr consolidarse en un mercado cada vez más exigente y comprometido con el cuidado del medio ambiente.
- Al momento de implementar un modelo multicriterio resulta de vital importancia realizar una cuidadosa y exhaustiva selección de los elementos de decisión, ya que la influencia entre estos y la asignación de la importancia proporcionada por los expertos resultan fundamentales al momento de determinar la alternativa a seleccionar.
- Al momento de la evaluación de las alternativas es importante obtener el concepto de varios expertos, de tal forma que se presente un “debate” en el cual se obtengan los argumentos necesarios que permitan seleccionar una alternativa, objetivo fundamental de todo modelo multicriterio.

8. BIBLIOGRAFIA

- ACOPLASTICOS. Con base en archivos magnéticos DIAN, importaciones y exportaciones efectivas. 2002.
- AMINI, Retzlaff .Reverse logistics process reengineering: improving customer service quality. University of Memphis. Working Paper. 1999.
- ANAYA, J. La gestión operativa de la empresa. Un enfoque de logística integral. EISC ed. Madrid, 1998.
- ARQUER, M.I. Fiabilidad Humana: Métodos de Cuantificación, Juicio de Expertos. España: Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales de España. 2007.
- AZNAR, J. Dellver. Nuevos métodos de valoración. Modelos multicriterio segunda edición. Editorial Universidad Politécnica Valencia, 2012.
- BACA Urbina, Gabriel. Evaluación de Proyectos. Editorial McGraw-Hill, México, p. 179, 1987.
- BALLOU, R. Logística: Administración de la cadena de suministro. Prentice Hall, México, 2004.
- BARROS, A. I., Dekker, R. Scholten, V. A two-level network for recycling sand: a case study. European Journal of Operational Research 110, p 199-214., 1998.
- BUCKLEY, J.J. Fuzzy Hierarchical Analysis, Fuzzy sets and systems, Vol. 17, No. 3, p 233-247, 1985.
- CHANG, C., Wu, J., Lin, H. FAHP sensitivity analysis for measurement nonprofit organizational performance”, Quality and Quantity, 2008.
- CHENG, Yung-Hsiang. Outsourcing reverse logistics on high-tech manufacturing firms by using a systematic decision- making approach: TFT-LCD sector in Taiwan.2010.
- CURE, V. Logística inversa: Una herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones, Revista ingeniería y desarrollo, Universidad del norte, p 184-202, 2006.
- DANE, Encuesta Anual Manufacturera. Datos registrados para la agrupación CIIU 356, Sector Productos de Plásticos. 2000.
- DE BRITO, M. P. y Dekker, R. A Framework for Reverse Logistics. En: DEkker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K. y Wassenhove, L. N. (eds.) Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chain. Berlin-Germany: Springer-Verlag.2004.
- DEKKER, R. Reverse Logistics, impact, trends and issues. *1 st Reverse Logistic Pilot International Meeting*. Zaragoza, Spain, 2001.
- DÍAZ, B; Alvares, M; Gonzales, P. Logística inversa y medio ambiente: aspectos estratégicos y operativos, McGraw-Hill Book Company, 2004.

- DÍAZ, B., Adenso. Barriers to the implementation of Environmentally oriented Reverse Logistics: Evidence from the Automotive industry sector. 2010.
- DOWLATSHAHI, S. Developing a theory of reverse logistics. *Interfaces*, 30, (3), p 143-155, 2000.
- DOWLATSHAHI, S. A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics. En: *International Journal of Production Research*, Vol.43, No. 16, 2005.
- DOWLATSHAHI, S. A cost-benefit analysis for the design and implementation of reverse logistics systems: case studies approach. 2008.
- EPAM S.A. Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. Manual 2, 2008.
- FERREL, O.C, et al. *Introducción a los Negocios en un Mundo Cambiante*, Cuarta Edición, Mc Graw Hill, 2004
- FLEISCHMANN, M. Quantitative models for reverse logistics. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* 501, 2001.
- GARCÍA, Maria del Socorro. Tesis doctoral: métodos para la comparación de alternativas mediante un sistema de ayuda a la decisión (S.A.D) y “soft computing”, 2003.
- GARCÍA, Laura. El significado del costo. XXV congreso argentino de profesores universitarios de costos, universidad nacional del litoral, p9. 2002.
- HUANG, J. Contextualization of Closed-Loop Supply Chains for Sustainable Development in the Chinese Metal Industry. Tesis de Doctorado, University of Nottingham. Inglaterra, 2009.
- KLAUSNER, M. y Hendrickson, C. T. Reverse logistics strategy for product take-back". *Interfaces* 30 (3), p 156-165, 2000.
- KRIKKE, H. R., Kooki, E. J. Schuur, P. C. Network design in reverse logistics: A quantitative model. *New Trends in Distribution Logistics. Lectures in Economics and Mathematical Systems*, 480. Springer – Verlag, p 45-61, 1999.
- KROON, L. Vrijens, G. Returnable containers: an example of reverse logistics". *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 25 (2), 56-68, 1995.
- KUMAR, S. y PUTNAM, V. Cradle to cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors. En: *International Journal of Production Economics*, Vol. 115, No. 2, p.305-315, 2008.
- KWONG, C.K., Bai, H. Determining the important weights for the customer requirement in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach, p 619–626, 2003

- LOUWERS D., Kip, B. J., Peters, E., Souren, F. y Flapper, S. D. P. A facility location allocation for reusing carpet materials. *Computers & Industrial Engineering* 36, p 855-869, 1999.
- MAESO, E. Los servicios logísticos. Análisis estratégico del caso andaluz. Tesis doctoral Universidad de Málaga. SPICUM. Málaga, 2001.
- MERCADO H. L. Logística inversa. Universidad de Córdoba, 2003.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, vivienda y desarrollo territorial. Sector plásticos. Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. 2004.
- MONTERO, C. V.; Riascos, N.N. Modelo multicriterio para la evaluación de la aplicación de programas de logística reversiva caso aplicativo: empresa típica del Valle del Cauca. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad del valle, Facultad de ingenierías, programa de ingeniería industrial. 2012.
- MORILLAS, A. Introducción al análisis de datos difusos. Universidad de Málaga, España, 2008.
- MURPHY, P.R., Poist, R.F. y Braunschweig, C.D. Role and relevance of logistics to corporate environmentalism. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, p 5-19, 1995.
- NASSIR, Sapag. *Proyectos de Inversión. Formulación y evaluación.* Pearson, Prentice Hall. México, 2007.
- OSORIO, J.C. *et al.* Una aproximación multicriterio a la gestión integral de residuos sólidos en la cadena de suministro. Universidad del valle, 2013.
- PARADA, José López. Incorporación de la logística inversa en la cadena de suministro y su influencia en la estructura organizativa de las empresas, 2010.
- PEÑA, C.C. *et al.* La logística de reversa y su relación con la gestión integral y sostenible de residuos sólidos en sectores productivos. *Revista Entramado*, vol.9, No. 1, p 226-238, 2013.
- PEUMANS, H. Valoración de proyectos de inversión, p 21, 1967.
- PMBOK; Project Management Institute (PMI). *Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos.* 4ª edición. 2008.
- RAMÍREZ, M. Nuevos beneficios de la logística inversa para empresas europeas y colombianas, Universidad del Rosario, 2007.
- ROGERS, D.S. TIBBEN-LEMBKE R.S, *Going Backwards: Reverse logistics trends and practices*, Reverse Logistics Executive Council, 1999.
- ROGERS, D. *An examination of reverse logistics practices.* 2001.
- ROJAS, *et al.* *Logística integral, una propuesta práctica para su negocio*, Ediciones de la U, 2011.

- RUBIO, Sergio. Tesis Doctoral: El Diseño de la Función Inversa de la Logística: Aspectos Estratégicos, Tácticos y Operativos. Escuela de Ingenierías Industriales (Universidad de Extremadura), 2003.
- SAATY, T.L. How to make a decision. The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York. 1994.
- SAATY, T.L. Fundamentals of the analytic network process. Process of International Symposium on Analytical Hierarchy Process, Kobe, Japan. 1999.
- SAATY, T.L. Decision Making With Dependence And Feedback: The Analytic Network Process (New Edition), RWS Publications, 4922 Ellsworth Avenue, Pittsburgh. 2001.
- SAATY, T.L. Fundamentals of the analytic network process. Dependence and feedback in decision- making whit a single network. 2004.
- SAATY, T.L. Time dependent decision-making; dynamic priorities in the AHP/ANP: Generalizing from points to functions and from real to complex variables. Universidad de Pittsburgh. 2007.
- SAMUELSON, Paul A, William D. Nordhaus. "Economía" Ed. McGraw-Hill. México 1992.
- SHANKAR, Ravi, V. Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. 2005.
- SHANKAR, Ravi, V . Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. International Journal of Technological Forecasting & Social Change. Vol. 72, No. 8, p 1011-1029. 2005
- SHIH, L. S. Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. Resources Conservation and Recycling 32, p 55-72, 2001.
- SOTO, Juan Pablo. Cadenas de suministro de ciclo cerrado, 2007.
- SRIVASTAVA, K. Network design for reverse logistic. Omega, p 535-548, 2008.
- TARRÁGO S. Francisco. Fundamentos de economía de la empresa, p308, 1986.
- VEGO, Kucar – Dragicevic S. y Koprivanac N. Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. Waste Management, 2008.

9. ANEXOS

9.1 Anexo 1. Tablas de influencias.

Tabla 19. Influencias existentes entre el elemento de decisión Inversión y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Inversión	In	Co	Se relaciona con los costos en que incurre un sistema ya instalado o adquirido, durante su vida útil, con objeto de realizar los procesos de producción, se denominan costos de operación ⁵ .Dentro de este elemento de decisión se realizan una serie de actividades que podrían verse reflejados en los cotos de implementación (adecuaciones de espacios, arriendos, Mantenimiento de equipos entre otros)
	In	Rc	Las empresas invierten cuando esperan que la ejecución de un proyecto les reporte un beneficio, es decir, unos ingresos mayores que los costos de la inversión. Invierten en un proyecto que genere rentabilidad.
	In	Bt	Si las inversiones se hacen en cierto tipo de infraestructura que esté contemplada dentro de los beneficios que ofrece el ministerio de ambiente y desarrollo en los estatutos tributarios.
	In	Ri	Cuando se realiza un proyecto siempre se encuentra explícito un riesgo tanto positivo como negativo que influye en la ejecución del mismo.
	In	la	La inversión en el programa de logística busca la recuperación de residuos sólidos, plásticos, entre otros, disminuyendo así el impacto en el ambiente.
	In	Inf	Dependiendo de los recursos financieros con que se cuente, se podrá seleccionar cierto tipo de infraestructura (maquinaria , adecuación de espacio, entre otros)
	In	Vic	Dependiendo de las fuentes de financiación y el capital con que se cuenta, se podrán adquirir los recursos que le permitan a la empresa realizar vigilancia e inteligencia competitiva.
	In	Em	Realizar una inversión en un proyecto requiere cierta cantidad de mano de obra que permita llevar a cabo las actividades del mismo.

⁵ Evaluación de alternativas. Concepto de inversión y costos operativos. Disponible en internet: <http://www.ingenieria.unam.mx/~jkuri/Apunt_Planeacion_internet/TEMAVI.4.pdf >.

Tabla 20. Influencias existentes entre el elemento de decisión Rentabilidad y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Rentabilidad	Rc	Ri	Dado un nivel de rentabilidad muy bajo, se esperaría tener un nivel de riesgo muy alto en la ejecución del proyecto.

Tabla 21. Influencias existentes entre el elemento de decisión Beneficios e Incentivos Tributarios y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Beneficios e incentivos tributarios	Bt	In	Dados los incentivos y beneficios tributarios que ofrezca el ministerio de ambiente y desarrollo, se logran obtener ciertas ayudas que motiven la inversión.
	Bt	Rc	Debido a las deducciones tributarias, se podría llegar a generar una mejor rentabilidad en la ejecución del proyecto.
	Bt	Ri	Debido a las deducciones tributarias, se podría mitigar un poco el riesgo en cuanto a lo económico en la ejecución del proyecto.
	Bt	Ia	Busca disminuir el impacto ambiental creando incentivos económicos.
	Bt	Inf	Influencia en la selección de la maquinaria, por ejemplo maquinaria de importación exenta de impuestos
	Bt	Vic	Beneficios tributarios en importación de maquinaria, ó incentivando la investigación de nuevas tecnología en otros países, en empresas internacionales.

Tabla 22. Influencias existentes entre el elemento de decisión Riesgo y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Riesgo	Ri	In	Dado un nivel de riesgo se puede determinar la viabilidad y ejecución de un proyecto.

Tabla 23. Influencias existentes entre el elemento de decisión Gestión del Control de Productos y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Gestión del control de productos	Gc	Co	Si se tienen una gestión del control del producto se puede planificar cuanto se puede utilizar de material recuperado y virgen para cierta producción, lo cual tendría un efecto considerable en los costos de producción.
	Gc	Rc	Al tener un mayor control sobre los residuos del proceso y manejo de material recuperado, se puede llegar a obtener un mejor rendimiento en cuanto a la reducción de costos lo cual podría mejorar influenciar de manera positiva en la rentabilidad.
	Gc	Ri	Debido al control del producto, se podrían mitigar cierto tipos de riesgos como por ejemplo el económico, riesgos técnicos, de gestión entre otros.
	Gc	la	Si hay gestión del control del producto se puede garantizar un mayor control en la utilización de materia prima reciclada lo cual se vería reflejado en una disminución al impacto medioambiental.
	Gc	Inf	Permite estimar la capacidad requerida de maquinaria, espacio necesario para almacenamiento de material a recuperar y recuperado entre otros.
	Gc	Vic	Observar modelos de otras empresas en donde se pueda realizar posiblemente un benchmarking.
	Gc	Em	El recurso de personal necesario, se requiere de personal pendiente del inventario, organización, programación de la producción, entre otros.

Tabla 24. Influencias existentes entre el elemento de decisión Impacto Ambiental y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Impacto ambiental	la	Co	Se reducen los costos asociados a la disposición final de los desperdicios que ya no se envían a verteros sino que se recuperan.
	la	In	El impacto ambiental al ser determinado por la cantidad de desperdicio que se origina en el proceso productivo influye en la decisión de invertir o no en un programa de logística inversa.

	la	Rc	Se relaciona debido a los costos asociados que se puedan generar en el manejo adecuado que se le dé a las actividades relacionadas con el impacto ambiental.
	la	Bt	El impacto ambiental que genere puede llevar obtener ciertos beneficios tributarios.
	la	Ri	Se relaciona debido a que por ejemplo si se lleva un buen manejo de la parte ambiental, se pueden mitigar riesgos como el social y el económico.
	la	Gc	Si hay grandes cantidades de desperdicios se requiere una gestión de control más precisa-sofisticada.
	la	Na	Depende del impacto ambiental que se esté generando se va creando la reglamentación.
	la	Inf	Si se está generando un gran impacto ambiental se va a necesitar una infraestructura que requiere mucho más recursos.
	la	Vic	Se necesita una investigación acorde al impacto ambiental asociado.
	la	Em	De acuerdo al nivel de desperdicios que se genere se necesitará el personal responsable para el manejo y recuperación del mismo.
	la	Nup	Depende del impacto ambiental que se genera en cuanto a los alimentos, se crean las normas que llevan el control.

Tabla 25. Influencias existentes entre el elemento de decisión Normatividad Ambiental y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Normatividad ambiental	Na	Co	Para el cumplimiento de las normas se debe tener en cuenta ciertas prácticas que garantice su cumplimiento lo cual requiere recursos que generarán costos.
	Na	In	La normatividad lleva a la adquisición de ciertos activos que permitan el cumplimiento de la norma.
	Na	Rc	Se relaciona debido a los costos e inversiones asociadas lo cual influye en la rentabilidad del proyecto.
	Na	Bt	La normatividad ambiental por medio de los estatutos tributarios ofrece beneficios a las empresas que garanticen el cumplimiento de la norma y el cuidado del medio ambiente
	Na	Ri	Se relaciona mediante la mitigación del riesgo político regulatorio, el económico, el social, entre otros.

	Na	la	De acuerdo a la normatividad la empresa debe buscar la manera de reducir el impacto ambiental. Al aplicar la normatividad ambiental se puede llegar a reducir el impacto ambiental.
	Na	Inf	Exigen el uso de cierta infraestructura (tecnologías) que cumpla el objetivo del programa de logística inversa garantizando el cumplimiento de la normatividad.
	Na	Vic	La normatividad ambiental vigente en el país sirve como base para la búsqueda de elementos y/o tecnologías necesarias por medio de la Investigación y desarrollo.
	Na	Em	La normatividad exige el cumplimiento de requisitos que pueden llegar a necesitar el recurso humano
	Na	Nup	Están originadas con las normas ambientales con respecto a la disposición final que se le va dar a los residuos sólidos.

Tabla 26. Influencias existentes entre el elemento de decisión Infraestructura y demás elementos.

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Infraestructura	Inf	Co	Dependiendo de las adecuaciones en infraestructura se pueden incurrir en algunos costos por ejemplo de mantenimiento o mano de obra.
	Inf	In	Dado los requisitos de la normatividad, y en el desarrollo del programa de logística inversa se necesita adquirir cierta infraestructura que trae consigo una fuerte inversión.
	Inf	Rc	Se relaciona debido a los costos e inversiones relacionadas con la ejecución del proyecto.
	Inf	Bt	Depende de la selección de cierta tecnología amigable con el medio ambiente, el gobierno por medio de los estatutos tributarios ofrece beneficios.
	Inf	Ri	Tiene relación en cuanto a los riesgos económicos, sociales, ambientales, entre otros.
	Inf	Gc	Las adecuaciones en infraestructura pueden llegar a tener influencia en el buen manejo de la gestión del producto, debido a que se pueden asignar los recursos necesarios para estructurar adecuadamente este proceso.
	Inf	la	Las adecuaciones en infraestructura relacionadas con el programa de logística inversa, tiene como objetivo disminuir el impacto ambiental que genere la empresa.

	Inf	Vic	Se puede tener en cuenta algunas adecuaciones y obtención de recursos para facilitar la investigación y el manejo de posibles nuevas tecnologías.
	Inf	Em	Dentro de la infraestructura se debe de tener en cuenta el factor humano, es decir contrataciones y reubicación de personal además de la normatividad y seguridad industrial vigente.

Tabla 27. Influencias existentes entre el elemento de decisión Vigilancia e Inteligencia Competitiva y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
Vigilancia e inteligencia competitiva	Vic	Co	Se necesita contratar personal especializado que se encargue de hacer estudios y análisis.
	Vic	In	Se necesita adquirir recursos como por ejemplo software, que permitan realizar todos los estudios previos, viajes, capacitaciones, entre otros.
	Vic	Rc	Se relaciona debido a los costos e inversiones asociadas en la ejecución del proyecto.
	Vic	Bt	Tiene en cuenta factores que ayudan a tomar decisiones en cuanto a la selección cierta tecnología que garantice la obtención de beneficios tributarios.
	Vic	Ri	Se ve implícita en el riesgo económico, social, ambiental, político legal, entre otros.
	Vic	la	El objetivo de la vigilancia e inteligencia competitiva es obtener una tecnología integral que permita, entre otros, reducir los impactos ambientales.
	Vic	Inf	Se buscan constantemente nuevas tecnologías y métodos que requieren que se establezca una infraestructura adecuada.
	Vic	Em	Se debe contratar personal que se encargue de estudios y análisis.

Tabla 28. Influencias existentes entre el elemento de decisión Empleos y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
	Em	Co	
Empleos	Em	Co	El personal contratado se ve reflejado en los costos.
	Em	Rc	Se relaciona debido a los costos asociados al momento de contratar el personal.
	Em	Ri	Tiene relación con el riesgo social, político legal, económico, entre otros.
	Em	Gc	Se necesita contratar personal especialista para ayudar en la gestión del control del proceso.

Tabla 29. Influencias existentes entre el elemento de decisión Normatividad de los Productos Plásticos y demás elementos

Elemento de decisión	Relación		Descripción
	Nup	Co	
Normatividad de los productos plásticos	Nup	Co	Para la normatividad del uso del plástico se deben de seguir ciertos procedimientos que garanticen que el producto cumpla estándares por lo cual la empresa incurre en costos.
	Nup	In	Se debe de invertir en cierto tipo de infraestructura y adecuaciones de espacio que permitan cumplir la normativa vigente
	Nup	Rc	Se relaciona debido a los costos e inversiones asociadas que tienen relación directa con la rentabilidad.
	Nup	Ri	Se relaciona con el riesgo político regulatorio, económico, social, entre otros.
	Nup	la	Se establece manera en que se debe tratar este tipo de plásticos para poderlos recuperar y utilizarlos en productos alimenticios.
	Nup	Inf	La normatividad es clara cuando se especifica el inventario de producto a recuperar y el recuperado para determinado fin, es decir por ejemplo espacios no contaminados y limpios.
	Nup	Vic	La normatividad ambiental vigente en el país sirve como base para la búsqueda de nuevos elementos y tecnologías que permitan el mejoramiento continuo del proceso, con la ayuda de la Investigación y desarrollo.
	Nup	Em	La normatividad exige el cumplimiento de requisitos que pueden llegar a necesitar el recurso humano.

9.2 Anexo 2. Esquema de la encuesta.

Figura 16. Presentación de la encuesta.

BIENVENIDOS

Por favor digite su nombre: Andres fernando sierra

Por favor digite su cargo: Coordinador de logística



Usted esta a punto de iniciar una encuesta que involucra aspectos de la empresa HighTec Plásticos Ltda. cuyo objetivo es el desarrollo del trabajo de grado "MODELO MULTICRITERIO PARA EL SOPORTE A LA TOMA DE DECISIONES DE IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE LOGÍSTICA INVERSA EN UNA EMPRESA DE LA REGIÓN" desarrollado por los estudiantes Christian Julián Espinosa Gaviria y Luis Ángel Rodríguez Murillo de la escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle sede Cali.

Para el desarrollo de este trabajo se hace uso de la herramienta multicriterio de Proceso Analítico en Red (ANP), la cual en su metodología exige la evaluación de las alternativas y los elementos de decisión por parte de los gerentes de la empresa en carácter de expertos, por esta razón se plantea esta encuesta como forma de obtener dicha calificación por parte de ustedes.

Agradecemos el tiempo que ustedes destinan para el diligenciamientos de esta encuesta, vital para el desarrollo y culminación de este trabajo de grado.

Muchas Gracias.



Figura 17. Descripción de las alternativas

ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Ver Elemento de decisión 1

Ver Elemento de decisión 3

Ver Elemento de decisión 5

Ver Elemento de decisión 7

Ver Elemento de decisión 9

Ver Elemento de decisión 13

Alternativa 1. Implementación del programa de logística inversa por parte de la empresa: Esta alternativa hace referencia a la implementación 100% por parte de la empresa de plástico, es decir, es totalmente responsable de la gestión administrativa y operativa que conlleva el programa de logística inversa.

Alternativa 2. Subcontratar la Implementación del programa de logística inversa: Subcontratar el programa de logística inversa hace referencia a tercerizarlo, es decir, una empresa que presta servicios de recuperación de productos plásticos será la responsable de recoger en la puerta de la empresa los desperdicios plásticos del proceso, y de igual forma será la responsable de entregar dichos residuos en forma de materia prima apta para la elaboración de nuevos productos.

Alternativa 3. Implementar el programa de logística inversa mixto (50% empresa, 50% subcontratado): los procesos a realizar dentro del programa de logística inversa son recolección de desperdicios, clasificación de desperdicios, transformación de desperdicios en materia prima y entrega de materia prima recuperada. De acuerdo a lo anterior, se consideran los siguientes pesos teniendo en cuenta la importancia de cada proceso dentro del programa. • El proceso de transformación de desperdicios en materia prima, al requerir una maquinaria, infraestructura y mano de obra capacitada, tiene una ponderación del 50%, y se asigna a un tercero, es decir, se subcontrata.
• Los procesos de recolección de desperdicios y entrega de producto recuperado (transportes), y clasificación de desperdicios (siendo de interés el polietileno de baja densidad transparente y el polietileno de alta densidad blanco) tienen todos estos procesos una ponderación del 50%, y serán realizadas por la empresa.

Ver Elemento de decisión 2

Ver Elemento de decisión 4

Ver Elemento de decisión 6

Ver Elemento de decisión 8

Ver Elemento de decisión 10

Ver Elemento de decisión 11

Ver evaluación de elementos



Figura 18. Instrucciones de la encuesta.

¿CÓMO EMPEZAR?

Por favor inicie con la calificación de los elementos de decisión (13 en total), los cuales se encuentran en esta hoja en ambos lados representados por medio de unos recuadros de color verde. Para finalizar realice la evaluación de elementos (recuadro al lado derecho de color morado).

¿Cómo diligenciar la encuesta de comparación de alternativas?

1. Establecer el par de alternativas que usted desea calificar.
2. Usted debe calificar, de acuerdo a la tabla de preferencias que se muestra en la parte inferior de esta hoja (lado derecho y color naranja) solo una de las alternativas del par a consideración. Es decir, usted debe establecer, según su criterio, cuál de las dos alternativas comparadas es más importante según el elemento de decisión descrito anteriormente. Si para usted es más importante la alternativa de la izquierda (color azul) sobre la alternativa de la derecha (color verde) debe entonces prepararse para seleccionar **ÚNICAMENTE** una de las calificaciones de la alternativa de color azul. En caso contrario, si para usted la alternativa de la derecha (color verde) sobre la alternativa de la izquierda (color azul) usted debe **ÚNICAMENTE** calificar la alternativa de color verde.
3. Seleccionar **ÚNICAMENTE** uno de los recuadros (checkbox) de calificación, según su criterio, y teniendo en cuenta la Tabla de Preferencias (color naranja) presentada en esta misma hoja.
4. Repetir este procedimiento para cada par de alternativas.
5. Recuerde guardar los cambios realizados en este documento de EXCEL.

Figura 19. Ejemplo de diligenciamiento de la encuesta. Comparación de Alternativas.

EJEMPLO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Elemento de decisión 1(COSTOS)	Elemento de decisión 2(INVERSIÓN)																																																
<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%; background-color: #ADD8E6;"> Alternativa 1 Implementación programa de LI por parte de la empresa </td> <td style="width: 50%; background-color: #90EE90;"> Alternativa 2 Subcontratar la implementación programa de LI </td> </tr> <tr> <td> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table> </td> <td> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table> </td> </tr> </table>	Alternativa 1 Implementación programa de LI por parte de la empresa	Alternativa 2 Subcontratar la implementación programa de LI	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9		<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9		<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%; background-color: #ADD8E6;"> Alternativa 1 Implementación programa de LI por parte de la empresa </td> <td style="width: 50%; background-color: #90EE90;"> Alternativa 2 Subcontratar la implementación programa de LI </td> </tr> <tr> <td> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table> </td> <td> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table> </td> </tr> </table>	Alternativa 1 Implementación programa de LI por parte de la empresa	Alternativa 2 Subcontratar la implementación programa de LI	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9		<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Alternativa 1 Implementación programa de LI por parte de la empresa	Alternativa 2 Subcontratar la implementación programa de LI																																																
<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9		<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9																													
1	2	3	4	5																																													
6	7	8	9																																														
1	2	3	4	5																																													
6	7	8	9																																														
Alternativa 1 Implementación programa de LI por parte de la empresa	Alternativa 2 Subcontratar la implementación programa de LI																																																
<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9		<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8	9																													
1	2	3	4	5																																													
6	7	8	9																																														
1	2	3	4	5																																													
6	7	8	9																																														
<p>En este caso se está comparando la Alternativa 1 vs la Alternativa 2 con respecto al elemento de decisión 1 referente a los costos. Se escogió el checkbox 3 de la alternativa 1 (fue al azar, es solo por cuestiones del ejemplo), lo que quiere decir que hay una preferencia moderada de la alternativa 1 con respecto a la alternativa 2 en relación a los costos.</p>	<p>En este caso se está comparando la Alternativa 1 vs la Alternativa 2 con respecto al elemento de decisión 2 referente a la inversión. Se escogió el checkbox 7 de la alternativa 2 (fue al azar, es solo por cuestiones del ejemplo), lo que quiere decir que hay una preferencia muy fuerte de la alternativa 2 con respecto a la alternativa 1 en relación a la inversión.</p>																																																

Tabla de preferencias	
1. Preferencia igual	
2. Preferencia igual a moderada.	
3. Preferencia moderada	
4. Preferencia moderada a fuerte	
5. Preferencia fuerte.	
6. Preferencia fuerte a muy fuerte.	
7. Preferencia muy fuerte.	
8. Preferencia muy fuerte a	
9. Preferencia extrema.	