

DISEÑO DE UN MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA RECOLECCIÓN
Y DISPOSICIÓN FINAL DE LAS BANDEJAS DE CARNE DE POLLO

JEHIMY DANIELA LESMES CORREA

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
TUNJA
2020

DISEÑO DE UN MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA RECOLECCIÓN
Y DISPOSICIÓN FINAL DE LAS BANDEJAS DE CARNE DE POLLO

JEHIMY DANIELA LESMES CORREA

PROPUESTA DE TESIS DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO SEDE TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
TUNJA
2020

AGRADECIMIENTOS

El autor se complace en agradecer inicialmente a Dios por acompañarme en todo momento y brindarme el conocimiento necesario para poder cumplir con el objetivo de terminar mi carrera, a mis seres queridos que me están acompañando desde su partida en el cielo, a mis padres que, con su apoyo, su ejemplo y esmero me enseñaron a no rendirme a salir adelante, a mis hermanos que me acompañan siempre en las buenas y en las malas.

Por otra parte, al Ing. Julián Silva e Ing. Eduardo Moreno, que gracias a su hábito, dedicación y paciencia orientaron la ejecución del vigente trabajo para que fuera exitoso.

Asimismo, agradecer a la empresa pollos el dorado, quien me apoyo, brindo su confianza y suministro información importante sobre la misma, para poder desarrollar el proyecto.

En general agradezco a todas los docentes y personas que con su contribución apoyaron a lograr el objetivo de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2. OBJETIVOS	14
2.1. OBJETIVO GENERAL	14
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. ESTADO DEL ARTE	17
4.1. INVESTIGACIÓN EN LOGÍSTICA INVERSA	17
4.2. LOGÍSTICA INVERSA EN MATERIALES FUERA DE USO	17
4.3. INVESTIGACIÓN EN EL USO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO O ICOPOR.....	18
5. MARCO REFERENCIAL	20
5.1. MARCO TEÓRICO	20
5.1.1. Logística inversa	20
5.1.2. Factores más importantes de la logística inversa	22
5.1.3. Antecedentes y orígenes del poliestireno expandido o icopor	23
5.1.4 Recolección y disposición final de residuos solidos	24
5.1.5 Proceso de recogida de los residuos	25
5.1.6 Reutilización de los residuos.....	26
5.1.7. Riesgos para el medio ambiente	26
5.1.8. Riesgos para la salud.....	27
5.2. MARCO CONCEPTUAL	28
5.3. MARCO GEOGRÁFICO.....	30
5.4. MARCO LEGAL	31
6. DISEÑO METODOLÓGICO	36
6.1. LINEA DE INVESTIGACIÓN	36
6.2. ALCANCE Y ENFONQUE	36
6.2.1. Tipo de investigación.....	36
6.3. ESTRUCTURA METODOLÓGICA	36

6.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS.....	37
6.4.1. Fuente de información primarias:	37
6.4.2. Fuente de información secundarias:	38
7. RESULTADOS	40
7.1. CAPÍTULO I: DIAGNOSTICAR EL PROCESO DE RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL QUE SE LLEVA A CABO PARA LAS BANDEJAS DE CARNE DE POLLO.....	40
7.1.1. Proceso de recolección de las bandejas de carne de pollo	40
7.1.1. Planteamiento de alternativas de recolección de las bandejas .	41
7.1.2. Tratamiento de las bandejas a base de icopor.....	42
7.1.3. Disposición final de las bandejas de carne de pollo	44
7.2. CAPÍTULO II: DETERMINAR UN MODELO MATEMÁTICO QUE REPRESENTE LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA PARA EL RESIDUO BAJO ESTUDIO.....	48
7.2.1. Caracterización del sistema actual	48
7.2.2. Formulación del modelo matemático	50
7.2.3. Parámetros del modelo.....	51
7.2.4. Paramentros de este modelo	51
7.2.5. Costos	52
7.2.6. Variables del modelo.....	52
7.2.7. Variables de decisión.....	52
7.2.8. Función objetivo del modelo	53
7.2.9. Ecuación minimización costos.....	53
7.2.10. Restricciones del modelo.....	54
7.3. CAPÍTULO III: VALIDAR EL MODELO MATEMÁTICO Y EVALUAR POSIBLES ESCENARIOS DE MEJORAS FRENTE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	55
7.3.1. Recolección de datos.....	55
7.3.2. Solución del modelo	55
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Actividades de la logística inversa.....	22
Ilustración 2.Mapa Ciudad de Tunja Boyaca	30
Ilustración 3.Proceso de recolección	41
Ilustración 4.Porcentaje de hogares según el número de personas	42
Ilustración 5.Ciclo de vida del EPS	44
Ilustración 6.Proceso de alistamiento	46
Ilustración 7.Proceso de logística inversa	47
Ilustración 8.Logística directa y logística inversa	49
Ilustración 9.Estructura del modelo matemático	56
Ilustración 10.Ganancia Diaria/Volumen	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Logística inversa en la reutilización de carne de pollo	19
Tabla 2. Referentes Normativos	31
Tabla 3. Empresas Colombianas dedicadas a reciclar el icopor	43
Tabla 5. Alternativas de tratamiento de material.....	45
Tabla 6. Ganancia Diaria	57

RESUMEN

Este documento muestra las deducciones finales de una búsqueda elaborada para la recolección y disposición final de las bandejas de carne de pollo de la empresa Pollos el dorado, el cual enfrenta una problemática en su reutilización y contaminación al medio ambiente, debido al empaque que utiliza para sus productos, ya que es un alto contaminante en la salud humana y a su entorno. Debido a lo anterior, se diseñó un modelo de logística inversa, el cual incluye la recaudación de datos, recolección, tratamiento y disposición final.

Principalmente se realizó un diagnóstico del procedimiento que se lleva a cabo para el acopio y disposición final de las bandejas de carne de pollo; posteriormente se estructura el modelo matemático por medio de la programación lineal entera mixta y finalmente se desarrolla el mismo presentando la validación teórica y evaluando posibles escenarios de mejora.

PALABRAS CLAVE: Programación Lineal, Logística inversa, Recolección, Disposición final.

ABSTRACT

This document samples the final deductions from a search carried out on the collection and final disposal of the chicken meat trays of the Pollos el dorado company, which faces a problem in its reuse and contamination to the environment, due to the packaging it uses for its products, since it is a high pollutant on human health and its environment. Due to the above, a reverse logistics model was designed, which includes data collection, collection, treatment and final disposal.

Mainly, a diagnosis was made of the procedure carried out for the collection and final disposal of the chicken meat trays; Subsequently, the mathematical model is structured through mixed integer linear programming and finally it is developed, presenting the theoretical validation and evaluating possible improvement scenarios.

KEY WORDS: Linear programming, Reverse logistics, Collection, Final disposal.

INTRODUCCIÓN

Habitualmente las actividades de la Logística inversa inician con una técnica de gestión en el último eslabón de la cadena, su consumidor final, pues es la salida del material invertido en la cadena de suministro, expresando las necesidades de las organizaciones de poder recuperar, reciclar las bandejas, cestas, residuos peligrosos, reembolso de cantidades de almacenamiento, reemplazos de consumidores, mercados antiguos y descripciones temporales.

La gestión de la logística inversa es uno de los contenidos que cada día recauda más valor dentro del ambiente industrial, dada su notabilidad, disposición y crecimiento de los puntos industriales. Razón por la cual, hoy en día las compañías requieren ser formadas por sus consumidores o compradores. El dominio de esta composición incurre sobre su capacidad para reutilizar y dar un nuevo uso a sus productos interactuando con los clientes, ayudando a recuperar materiales y así poder llevarlos a una nueva vida útil, previniendo el daño ambiental.

Por otra parte, será primordial oficiar perfectamente cada fase del proceso de reembolsos, indagando como recurso vital minimizar las medidas de pérdida o impureza. Por eso es elemental instituir, tácticas de procesos de recuperación, devolución, reciclado y transformación que permitan minimizar el impacto total en la renta de la organización, todo esto al menor costo posible y dentro de un marco de calidad.

Por medio del diseño de una red de logística inversa se logra verificar la manera de recolección y disposición final que se debe llevar a cabo para las bandejas de carne de pollo de la empresa Pollos el Dorado, garantizando que se logre minimizar las cantidades generadas que van a los rellenos sanitarios logrando así darle una mejor reutilización.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: en el capítulo I, se diagnostica el proceso de recolección, tratamiento y disposición final que se lleva a cabo para las bandejas de carne de pollo, en el capítulo II se determina el modelo matemático que representara la cadena de suministro inversa para el residuo. Por ultimo en el capítulo III se realiza la validación del modelo y se evidencia los diferentes escenarios de mejora planteados para el sistema vigente.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, de acuerdo con los estudios ejecutados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019), se calculó que el 60% de la contaminación es por parte del poliestireno expandido (EPS) conocido comúnmente como icopor, ya que es una de las complicaciones ambientales de gran inquietud para los colombianos, por los impactos provocados en la salud y su entorno, cuyo tiempo de degradación dura más de 1000 años.

Asimismo, se utiliza en la fabricación de recipientes para almacenar comestibles, el cual fue forzosamente disputado en los últimos años debido a los peligros que constituye en el medio ambiente y la salud humana, ya que según la organización Clean Water (2019), el material tiene un compuesto llamado estireno, pues se ha revelado como cancerígeno en los animales, lo que se supone que sea posible en las personas.

Por consiguiente, las empresas Pollo el Dorado, Macpollo y Campollo ubicadas en el departamento de Boyacá, quienes son industrias dedicadas a la cría, procesamiento y comercialización de carne de pollo, utilizan el 28.3% de las bandejas para almacenar sus productos, los cuales están hechos de poliestireno expandido o icopor, lo que generó un consumo per cápita de 32.4 kilogramos al año. Asimismo, Pollo el Dorado (2019) genera por día más de 600 bandejas para empacar los productos, donde se evidenció que de esas 600 bandejas 500 de ellas son realmente usadas mientras que las otras 100 son depositadas a los rellenos sanitarios, lo cual provocó un impacto ambiental de más de 700 años.

De igual manera, la forma en que se reutiliza el recurso no es óptima, ya que el 45% (428 ton) de los desperdicios generados por cada empresa van a los rellenos sanitarios y las zonas urbanas, terminando allí su ciclo de vida (Universidad nacional de Colombia, 2018).

Sin embargo, pudimos observar que, en la ciudad de Tunja, se cuenta con una población de 154.096 habitantes según el DANE (2018), donde el 83% de los clientes ya sean microempresarios o familias consumieron carne de pollo para sus locales y hogares, esto lo afirmó la federación avícola (2017) en donde se evidenció la alta contaminación, ya que su reutilización y disposición no fue la adecuada lo que generó graves inconvenientes para el medio ambiente y la salud humana. En las zonas urbanas, donde se realizaron acciones de forma extensiva, los habitantes de dichas zonas e inclusive las mismas empresas fueron afectadas por los desechos de las bandejas de carne de pollo, ya que frecuentemente dejan

abandonados estos residuos en los alrededores de zonas, los cuales van a parar a los rellenos sanitarios.

Al mismo tiempo se evidencio la falta de conciencia ambiental acerca de la reutilización y el tratamiento de las bandejas de carne de pollo fuera de uso, pues trajo como consecuencia para la ciudad de Tunja, altos niveles de contaminación ambiental, enfermedades en el ser humano y animales, ya que según el congreso de la republica (2017) dice que el EPS o icopor lleva toxinas como Bisfenol A, Estireno y Ftalatos, pues pueden desprender o solubilizar al tener acercamiento con líquidos calientes como el café y aromáticas, pues esto daña la salud del ser humano, alimentos y medio ambiente, dado que es un material de alta cantidad contaminante, pues demora más de mil años en biodegradarse.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Diseño de una red de logística inversa que garantiza la óptima recolección y disposición final de las bandejas de carne de pollo de la industria Pollos el Dorado, generados en la ciudad de Tunja- Boyacá?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de logística inversa para la recolección y disposición final de las bandejas de carne de pollo generadas en la ciudad de Tunja.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el proceso de recolección, tratamiento y disposición final que se lleva a cabo para las bandejas de carne de pollo.
- Determinar un modelo matemático que represente la cadena de suministro inversa para el residuo bajo estudio.
- Validar el modelo matemático y evaluar posibles escenarios de mejoras frente a los resultados obtenidos.

3. JUSTIFICACIÓN

En Colombia el manejo de los residuos sólidos ha tomado un horizonte dinámico de organización y legislación, la cual está sujeta a un marco normativo que pretende dar protección a la integridad del ser humano y del medio ambiente (Florián, 2018). Sin embargo, en la ciudad de Tunja, se vio reflejando que las personas, por falta de conocimiento en los procesos o por ignorancia, hicieron un mal uso de estas bandejas de carne pollo, ocasionando un suceso de problemas el medio ambiente y salud.

De esta manera se pretendió concientizar a los habitantes de la ciudad de Tunja, con el propósito de dar un adecuado manejo y disposición de estas bandejas, para así poder mitigar la contaminación reduciendo un 50% los montos de residuos que son mandados a los rellenos sanitarios (Florián 2018).

A mi modo de ver las bandejas de carne de pollo hechas a base de EPS o icopor, generaron una alta contaminación por lo que se quiso mitigar el riesgo para la salud humana y el medio ambiente. El recordatorio que dieron los especialistas es que se deben remplazar estas bandejas que contienen un químico llamado estireno, a cambiarlo por compuestos naturales y reciclables como es el cartón o el aluminio, ya que la fábrica del plástico ha luchado cruelmente remediando su denominación como producto carcinógeno humano. De modo que el resultado de uso del poliestireno sigue siendo muy utilizado en los mercados.

Asimismo, se entendió que la inadecuada utilización puede generar problemas graves e incluso causar la muerte. Según la Fundación Verde Natura (2018) el 90% del EPS o icopor se ha destinado a finales productivos, mientras que el 10% ha sido empleado en su totalidad para la fabricación de vasos, platos, recipientes, envases, entre otros.

A partir de lo anterior, y de acuerdo con esta situación la organización Fundación Verde Natura (2018), se ha encargado de tratar y reutilizar el EPS o icopor, pues es la única organización colombiana que se destina exclusivamente a esta actividad. De tal manera que se disminuya el problema del volumen depositado de las bandejas de carne de pollo en los rellenos sanitarios.

A través del diseño de una red de Logística inversa se observó la distribución y recolección de las bandejas de carne de pollo, lo que garantizó la recolección de los residuos generados por las familias o microempresarios en la ciudad de Tunja y así poder favorecer con la disminución del impacto ambiental por el mal uso y método de estos desechos.

Por otra parte, se garantizó la recolección de dichos residuos los cuales fueron utilizados para fines como uso doméstico, disminución del ruido generado en las obras de construcción, para los techos, carpas, entre otros. También se redujo los riesgos que estos residuos están presentando en la salud humana y el medio ambiente. Además, no existía un estudio que diseñara una red de logística inversa para los residuos de las bandejas de carne de pollo de las empresas Pollos el Dorado, Campollo y Macpollo de la ciudad de Tunja.

Finalmente, con la realización de esta investigación se quiso comprender más contenidos aplicados en la Ingeniería Industrial, mejorando la carrera como una de las más sustanciales en diversos ámbitos profesionales. Igualmente, este proyecto ayudó para estimar los aprendizajes obtenidos en el transcurso de formación universitaria, utilizando conocimientos contemplativos y aptos cursados. Estas ideas fueron aplicadas en el progreso del objetivo, revelando la magnitud que tiene el Profesional para dar soluciones aptas y eficaces a los inconvenientes que se demostraron en la sección productiva día tras día investigando el beneficio de la sociedad.

4. ESTADO DEL ARTE

Se realizó un estudio de la literatura en cuanto a las exposiciones de la percepción de Logística Inversa planteada por significativos autores en los últimos años, igualmente varios artículos ejecutados referente a este tema, lo que permitió exponer el beneficio logrado en la implementación del sistema de Logística Inversa, principalmente en la reparación de productos al final de su vida útil, como es el caso de las bandejas de carne de pollo hechas de EPS o icopor, buscando un esquema de las instalaciones para cumplir dicha recuperación y reutilización de dicho material. Finalmente, se presentó un estudio más profundo de ciertos artículos y temas de estudio adecuados para la indagación presente.

4.1. INVESTIGACIÓN EN LOGÍSTICA INVERSA

Varios autores han realizado sus investigaciones con el fin de lograr una definición de logística inversa, según (Lambert, Stock & Ellram, 2018) afirmaban que “La logística inversa se encargaba de la gestión de la planeación operacional, del control y disposición final segura y efectiva de todos los desperdicios, residuos y desechos (DRD), lo cual generaba un sistema productivo de bienes o servicios. Algunos autores extienden esta definición hasta considerar los procesos de reciclaje, reusó y reproceso que se dan a los DRD. Debido a lo anterior, (Thierry, Salomón, Van Nunen & Van Wassenhove,2017) definían el concepto de Logística Inversa como “gestión de productos recuperados”, cuyo objetivo era “recuperar tanto valor económico y ecológico como sea posible, reduciendo de esta forma las cantidades finales de residuos”. Estos autores defendieron la idea de que las empresas debían desarrollar una política efectiva para la gestión de productos recuperados, sin que esto afectara significativamente a su estructura de costos. (Fleischmann, Bloemhof-Ruwaard, Dekker, Van der Laan, Van Nunen & Van Wassenhove,2018), recopilaron un conjunto de modelos cuantitativos diseñados para el análisis de la función inversa de la logística, agrupándolos en tres categorías: sistemas de distribución, gestión de inventarios y modelos de planificación de la producción.

4.2. LOGÍSTICA INVERSA EN MATERIALES FUERA DE USO

A raíz de los efectos de las indagaciones explicadas en Logística inversa para residuos sólidos, nacieron otras investigaciones con el propósito de diseñar redes de Logística inversa, pero en este caso para diferentes productos fuera de uso. Uno de los sectores que tuvo mayor atracción por los investigadores de Logística inversa fue el mal uso del poliestireno expandido o icopor. Según (Oliveira, 2019) se

describió el desarrollo de modelos de planificación integrada para operaciones de reciclaje en donde se utilizó un análisis simplificado de la operación de reciclaje en dos etapas para ilustrar la importancia de los diseños de productos intermedios.

4.3. INVESTIGACIÓN EN EL USO DEL POLIESTIRENO EXPANDIDO O ICOPOR

Barros, (2018), propuso el diseño de una red de logística inversa para la recuperación y el reciclaje del poliestireno expandido o icopor ya que representaba uno de las complicaciones logísticas más grandes de la región, donde se buscó calcular diferentes técnicas de reciclaje y opciones de reutilización que conllevaron a la designación de la mejor alternativa para el material en cuestión, aparte de los costos de recolección y los ingresos que se esperaban conseguir con la aplicación de las opciones. Sin embargo, se difirió en aspectos como fue por ejemplo el monto de mecanismos del módulo que se quiso recuperar, ya que según (Paydar, 2019) estaban combinados por un compuesto de materiales y por esto debían ser sometidos a unas actividades de destrucción y cada componente obtenido tendría diferentes opciones de reutilización sometidos a otros costos y conceptos de ingresos.

La Tabla 1 presenta una descripción general de la investigación sobre los efectos de Logística inversa en la reutilización de las bandejas de carne de pollo elaboradas por icopor.

Tabla 1. Logística inversa en la reutilización de carne de pollo

Titulo	Autor (es)	Metodología de la investigación	Objetivo de la investigación
Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse logistics towards circular economy	Carla Tognato de Oliveira Mônica MM M. Luna Lucila ms campos Life Cycle Assessment Research Group (CICLOG) (2019)	El problema logístico se enfocó en dos aspectos: (a) alto costo de transporte debido a la densidad de materiales y la dispersión de los residuos de EPS post-consumo en varias regiones del país con un número centralizado de instalaciones de reciclaje.	Investigaron la cadena de suministro y los canales inversos de la conexión de envasado de poliestireno expandido en Brasil y sus roles para discutir los principales desafíos para la economía circular.
Designing and solving a reverse logistics network for polyethylene terephthalate bottles	Mohammad Mahdi Paydar, Marjan Olfati (2018)	Se utilizó un modelo MILP de cuatro niveles que contiene usuarios finales, centros de recopilación (CC), centros de Re-manufactura y mercados para determinar el número óptimo y la ubicación de las instalaciones.	El objetivo fue considerar el proceso de recolección y remanufacturado de botellas de tereftalato de polietileno diseñando un modelo de programación lineal de enteros mixtos para una red de logística inversa.
Reverse logistics of municipal solid waste – towards zero waste citie	AgataMesjasz-Lech (2019)	La clasificación de las provincias polacas utilizo las siguientes características de diagnóstico: residuos municipales recogidos de acuerdo con las operaciones de tratamiento, Los residuos municipales recolectados por fracciones, los residuos municipales mixtos recolectados, el vertido de residuos municipales por áreas urbanas, la desgasificación de los vertederos se agregó a la investigación.	Identificaron las tendencias en el tamaño de los flujos de desechos municipales. Las tendencias en las ciudades, que son el objeto principal de la logística inversa de los residuos municipales y el concepto de ciudades de cero residuos, se miden por separado.
Reverse logistics network redesign under uncertainty for wood waste in the CRD industry	<u>Julien Trochu</u> <u>Amin Chaabane</u> <u>Mustapha Ouhimu</u> (2018)	Se utilizo un enfoque basado en escenarios para analizar el efecto de la incertidumbre en la red.	Determinaron la ubicación y las capacidades de las instalaciones de clasificación para garantizar el cumplimiento de la nueva regulación y evitar que la madera se deposite de forma masiva.
Integrated planning for design and production in two-stage recycling operations	Jiyoun C. Changa, Stephen C. Graves, Randolph E. Kirchainc, Elsa A. Olivetti (2019)	En el campo de la investigación de operaciones, el reciclaje de materiales fue discutido como parte de la planificación de las operaciones de Re-manufactura (Galbreth y Blackburn, 2006; Jayaraman, 2006). Las decisiones sobre el reciclado de materiales en Re manufacturan generalmente se limitan a determinar qué fracción de un conjunto de componentes no recuperables debe reciclarse (Galbreth y Blackburn, 2006; Johnson y Wang, 1995).	El objetivo de este estudio fue comprender la importancia de diseñar mezclas intermedias y los beneficios de ampliar el alcance de las decisiones de planificación para cubrir más ampliamente las operaciones de reciclaje en dos etapas.

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión de los artículos mencionados anteriormente, (2020).

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO TEÓRICO

5.1.1. Logística inversa

El Consejo Ejecutivo de Logística Inversa definió a la misma como “El proceso de planificación, implantación y control eficiente del flujo efectivo de costes y almacenaje de materiales, inventarios en curso y productos terminados, así como de la información relacionada, desde el punto de consumo al punto de origen, con el fin de recuperar valor o asegurar su correcta eliminación” (Galle, s.f).

Rogers y Tibben-Lembke en 1999 la definen como “El proceso de planificación, implantación y control eficiente del flujo efectivo de costos y almacenaje de materiales, inventarios en curso y productos terminados, así como de la información relacionada, desde el punto de consumo al punto de origen, con el fin de recuperar valor o su correcta disposición” (Ramírez, s.f.).

Por otro parte “La logística reversa comprende todas las operaciones relacionadas con la reutilización de productos y materiales, Se refiere a todas las actividades logísticas de recolección, desensámblame y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sostenida” (Morales, s.f.). También es definida como “todos los procesos y actividades necesarias para gestionar el retorno y reciclaje de las mercancías en la cadena de suministro. La logística inversa engloba operaciones de distribución, recuperación y reciclaje de los productos” (Morales, s.f.).

5.1.1.1. Logística inversa roja

Es la actividad espontánea que está agrupada al retorno de las materias primas, los productos en proceso, las partes o los bienes elaborados hacia su punto de origen por causas como el descarte-retrabajo, las devoluciones-roturas, los decomisos-residuos o sobre órdenes vencimientos. El propósito de este tipo de gestión de retorno es precisamente el desempeño de valor total o parcial de la eliminación final de un modo no contaminante (Aeronautico, s.f).

5.1.1.2. Logística reversa verde

Es el conjunto de métodos que se encuentran asociados con ciertas habilidades de embalaje y transportes, envases y otros manuales auxiliares que retornan de forma proyectada conservando el valor, así como para disminuir o minimizar el impacto al medio ambiental de las actividades logísticas, señalando la evolución integral de las estrategias y los sistemas que utiliza la Logística para generar procedimientos logísticos que sean ambientalmente procedentes y sin perder su eficacia (Aeronautico, s.f).

5.1.1.3. Objetivos de la logística inversa

- **Compras responsables:** Implica procurar el crecimiento de vendedores y la ganancia de materias primas, componentes, materiales para recipientes, empaques, cestas y unidades de manejo que sean “partidarias con el medio ambiente.
- **Disminución de materias vírgenes:** El propósito de valorar actividades de reutilización de materias excesivos, designar materiales directos de reciclado, elegir contenedores, embalajes, unidades de manejo, empaques, envases reutilizables y reciclables.
- **Reciclado:** Según el libro de logística inversa, es preciso ampliar políticas de reciclado respetando el trabajo o pautas del producto; manejar materiales directos reciclados, examinar innovaciones tecnológicas que aprueban estudios para reducir el uso de materias vírgenes.
- **Sustitución de materiales:** El aumento de la tasa de creación en técnicas de reciclado deben promover la renovación de materiales, en específico de los más pesados por otros más ligeros con igual o superior manejo (como es el caso en la industria automotriz, donde los plásticos están reemplazando partes de metal y vidrio en los automóviles, así como el aluminio o los materiales compuestos).

Ilustración 1. Actividades de la logística inversa

Material	Actividades de la logística inversa
Productos	Devolución al proveedor
	Reventa
	Reacondicionamiento
	Restauración
	Reprocesamiento
	Reciclaje
	Vertedero
Envase y embalaje	Reutilización
	Restauración
	Reciclaje

Fuente: Actividades de la Logística Inversa, (2020).

5.1.2. Factores más importantes de la logística inversa

Entre los factores más importantes que se pudieron relacionar de la logística inversa se tiene:

Cadena de suministros logística inversa: Según el documento de la Universidad de Sevilla “Sistemas de Logística de Retorno” (s.f.). La logística inversa incluye únicamente el envío del producto consumido desde el usuario final al productor, sino también la alternativa de los productos retomados en aprovechables (Colombia, sf).

Las acciones adjuntas en la cadena logística inversa son:

- La acumulación de los productos deteriorados con el fin de dirigirse de nuevo a una cadena de valor.
- La segregación de los regresos en mecanismos o materiales directos.
- La codificación/congregación consiente en reclutar un volumen significativo para que la carga trascienda ahorrativamente eficaz.

- El transporte de los movimientos de procedimiento intermedio o retratamiento.
- El procedimiento intermedio, se puede definir como un compuesto de movimientos (lavado, granulado, filtración) que arreglan los activos para las actividades de retratamiento.
- El retratamiento son las acciones que conforman al activo para regresar a ser reutilizado (reparación, reciclaje, reacondicionamiento).

5.1.3. Antecedentes y orígenes del poliestireno expandido o icopor

El poliestireno expandido fue inventado en 1941 por el científico estadounidense Otis Ray Mclinter. Su elaboración reside con la combinación de vapor en pequeños recuentos del polímero poliestireno con productos sintéticos para que aumenten un espesor único alrededor de 50 veces. A manera de ver el poliestireno proviene del petróleo. Por su economía y consistencia, pues este componente es empleado en otros servicios cuyo uso es seguido en la vida diaria.

Según la Fundación Verde Natura (2019), el 90% del poliestireno expandido que se produce se designa a fines industriales, mientras que el resto es utilizado para la fabricación de vasos, platos, recipientes, envases, entre otros, en el marco del desarrollo de actividades de distribución de alimentos.

El poliestireno fue esquematizado por primera vez a nivel industrial en el año 1930. Hacia fines de la década del 50, la firma BASF (Alemania) por iniciativa del Dr. F. Stastny, adelanto la elaboración de un nuevo producto: poliestireno expandible, bajo la marca Styropor. Ese mismo año fue trabajado como aislante en una construcción dentro de la misma planta de BASF donde se plasmó el descubrimiento. Al cabo de 45 años frente a escribanos y técnicos de distintos institutos europeos, se incrementó parte de ese material, y se sometió a todas las pruebas y controles posibles. La terminación fue que el material después de 45 años de utilizado conservaba todas y cada una de sus propiedades intactas (Arboricultura y Medioambiente, 2020).

- Percibimos el plástico como un "corcho blanco" cuando en realidad es espuma de poliestireno expandido EPS. Este material fue confeccionado con benceno, un reconocido elemento cancerígeno de la lista N. °1. Pues una vez transformado en estireno se le suministran gases (pentano) para expandirlo en forma de espuma.

- El corcho blanco no es biodegradable: No caduca nunca. Pues dentro de 600 años, las bandejas de carne de pollo que obtuviste en la mañana en el supermercado seguirán en cualquier parte de nuestro planeta si no se recicla.
- El EPS es irrevocable para la vida marina: Flota en la superficie del océano, lo que provoca que se descomponga en bolitas que parecen comestibles y los animales las consumen. Las tortugas de mar, por ejemplo, pierden su capacidad de sumergirse y mueren de hambre.

El poliestireno expandible consta de perlas esféricas de poliestireno termoplástico que tienen típicamente entre 0,25 y 2,0 mm de diámetro. El EPS abarca entre un 3 y 8% del peso de un agente expansor volátil e inflamable, típicamente pentano. Pues a su vez desencadena grados ULTRA LOWTM, los cuales comprenden aproximadamente un 3% o menos de pentano, provocando tres tipos generales de resina de EPS: Regular, modificada y de especialidad (NOVA CHEMICALS, 2018).

El EPS regular es una resina EPS para fines generales. El EPS modificado que contiene un retardante de llama especialmente formulado. Si se inflaman, los productos de espuma apropiadamente deteriorados con estas perlas modificadas de acuerdo con unas buenas prácticas de fabricación y sin el uso de aditivos o lubricantes adicionales dejarán de quemarse, una vez que haya sido completamente eliminada la fuente de ignición, antes que si no se hubiera incorporado este aditivo especialmente formulado en las perlas (NOVA CHEMICALS, 2018).

En la distribución de espuma fabricada con estas perlas modificadas, no debe realizarse ninguna alegación, más allá de lo que se indica más arriba, con relación a cualquier ventaja derivada de la incorporación de este aditivo especialmente formulado. El EPS especial incluye un rendimiento superior y de calidad para envases, productos de pentano “low” y ULTRA LOWTM (NOVA CHEMICALS, 2018).

5.1.4 Recolección y disposición final de residuos solidos

Conjunto de actividades que tuvo como apertura centralizar explícitos mecanismos o elementos de los residuos sólidos para ser manipulados de forma especial, durante la recolección, tratamiento y destino final, ya sea reutilizando (material reciclable) o disponiendo de su vida útil (material deteriorado) según pertenezca.

Beneficios de Efectuar un Esquema de Mando Selectivo de desechos:

- Desarrollo de una educación de reciclaje.
- Campos, caminos y conductos más limpios.
- Disminución de precio en el manejo integral de residuos.
- Incremento de la calidad de vida de los segregadores.
- Disminución de puntos críticos de acopio de residuos.
- Valorización de los residuos al no combinar unos con otros, previniendo la contaminación por residuos peligrosos (López, 2018).

5.1.5 Proceso de recogida de los residuos

La fase operativa habitualmente de recogida de residuos en la empresa se hará de dos formas:

- Los generados por los trabajadores se recogerán mediante contenedores en lugares específicos del lay-out de la planta.
- Los procedentes del proceso de producción son implantados en moderadores adecuados a cada condición de residuo, situados en los puestos de trabajo. Cuando el contenedor se encuentra completo o a final de jornada se trasladan a una línea de depósito que tiene que acondicionarse (a cada tipo de recurso según la normativa vigente) para aprobar el acopio temporal y la recogida de los residuos por parte de los recogedores o gestores de residuos autorizados, quienes tomarán a partir de este momento la titularidad de estos (López, 2018).

Dentro de la gestión de la logística inversa de la compañía los residuos tienen gran importancia ya que deben considerar:

- Los puntos de acopio dentro del lay-out de las instalaciones siempre deben estar anexos al lugar donde se producen, y en una posición estratégica de forma que suministren la clasificación y el depósito de los materiales eliminados.
- Definir las operaciones de retroceso o vaciado de forma periódica de los contenedores, y el traslado de los residuos hasta las zonas de depósito temporal hasta su recogida final por los gestores. En el caso de contenedores que han tenido residuos peligrosos, deben actuar con su respectiva limpieza previa antes de volver a ser reutilizados (López, 2018).

5.1.6 Reutilización de los residuos

La salvación y reutilización de productos fue una medida que debió tomar cada empresa, dentro de su estrategia, y que tuvo una gran incidencia en la:

- Productividad.
- Imagen de la propia organización.

Decimos que un material se reutiliza si se:

- Torna como materia prima o producto intermedio en la transformación de un bien final.
- Dispone como producto suplementario o de consumo en la organización (López, 2018).

5.1.7. Riesgos para el medio ambiente

Los ambientalistas han determinado enérgicas críticas en contra del poliestireno expandido a causa de los peligrosos daños que este genera al ingresar a ecosistemas marinos. Douglas McCauley (2019), profesor de Biología Marina en la Universidad de California, afirmó en una entrevista ante la BBC que el poliestireno genera dos clases de problemas en la fauna marina: mecánicos y biológicos. Los primeros representan los aislamientos digestivos que compone el material en los animales marinos, los cuales pueden llegar a ser letales, mientras que los segundos se relacionan con las pertenencias atrayentes del poliestireno:

“Esencialmente, el poliestireno actúa como una pequeña esponja, recogiendo y concentrando algunos de los contaminantes más dañinos que hay en el océano (...) Luego, la ve una tortuga marina y se la come pensando que es una medusa (...) Es muy preocupante que algunos de estos peces que se alimentan de plásticos acaben en nuestro plato” (BBC MUNDO , 2015).

Por otra parte, el enorme problema de reutilización del poliestireno expandido se instituye como otro de los choques ambientales desfavorables. Según Joe Biernacki, (2019), profesor de ingeniería química en la Universidad de Tennessee, afirma que es casi improbable convertir un recipiente hecho de poliestireno en otra forma, pues sus partículas ya se han dilatado.

5.1.8. Riesgos para la salud

Los científicos han resuelto afanosas críticas en contra del poliestireno expandido a causa de los graves perjuicios que este genera para el ser humano ya que tiene un compuesto denominado estireno, hidrocarburo aromático derivado del petróleo aplicado en la transformación de plásticos, el cual ya es considerado oficialmente como agente cancerígeno.

Por otra parte, el estireno se emplea para crear el burbujeo de poliestireno y otros plásticos. Este derivado es muy común en la industria, pues se destina para el aislamiento de construcciones y electrodomésticos como los refrigeradores, en tapices, y sobre todo en recipientes, como vasos y platos de plástico de utilizar y tirar hueveras, bandejas desechables, etc.

El peligro del estireno habita cuando se muestra el material (normalmente el envase) a temperaturas altas, ya que se redime dioxinas, que disciernen en alimentos y bebidas; en cambio es inofensivo a bajas temperaturas. El estireno está catalogado como posible patente carcinógeno humano por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) (Conciencia ECO, 2017).

5.2. MARCO CONCEPTUAL

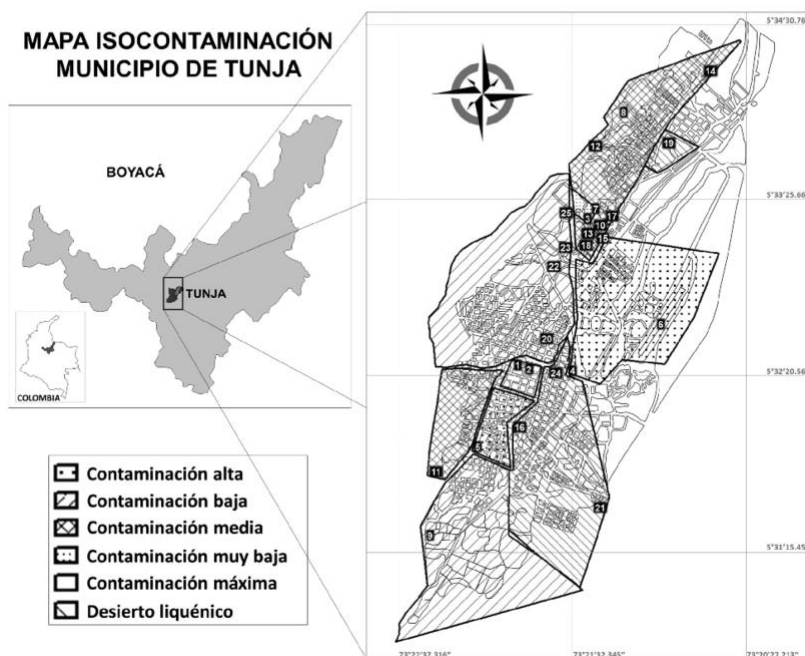
- **BANDEJAS:** Recipiente poco profundo, de fondo plano y bordes de poca altura que sirve para llevar, servir o presentar cosas, en especial alimentos (Definición ABC, 2018).
- **CADENA DE ABASTECIMIENTO:** Incluye todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes y productos, desde la etapa de materia prima hasta el consumo por el usuario final (Jimdo, 2018).
- **CONTAMINACIÓN:** Es la alteración del medio ambiente, por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de afectar la calidad de vida de las personas, atentando contra los recursos naturales, la flora, la fauna y los recursos de la nación o de los particulares (Documental, s.f).
- **CADENA DE VALOR:** La cadena valor es una herramienta de gestión que permite realizar un análisis interno de una empresa, a través de su desagregación en sus principales actividades generadoras de valor (las cuales forman un proceso básicamente compuesto por el diseño, producción, promoción, venta y distribución del producto), que van añadiendo valor al producto a medida que éste pasa por cada una de éstas (Riquelme, 2019).
- **ICOPOR:** Es un material plástico espumado, tiene diversos usos tales como el producir envases, aditamentos de construcción o tablas de surf accesibles de bajo costo (Arboricultura y Medioambiente, 2020).
- **LOGÍSTICA INVERSA:** Proceso de planificación, ejecución y control eficiente y rentable del flujo de materias primas, inventario en proceso, productos terminados relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen con el fin de recuperar valor o realizar una correcta eliminación (EAE BUSINESS, 2017).
- **MODELO MATEMÁTICO:** Un sistema donde todos los comportamientos u opciones se pueden simular por medio de ecuaciones matemáticas cuyas variables están previamente establecidas de acuerdo con lo que se quiere contemplar (ACADEMIA, 2018).
- **POLIESTIRENO EXPANDIDO O ICOPOR:** Es un material plástico espumado, tiene diversos usos tales como el producir envases, aditamentos de construcción o tablas de surf accesibles de bajo costo (Arboricultura y Medioambiente, 2020).

- **RELLENO SANITARIO:** La obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos ubicados en sitios adecuados al ordenamiento ecológico, mediante el cual los residuos sólidos se depositan y compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con material natural o sintético para prevenir y minimizar la generación de contaminantes al ambiente y reducir los riesgos a la salud (Gardey, 2015).
- **REUTILIZACIÓN:** Prolongación y adecuación de la vida útil de los residuos sólidos recuperados que mediante procesos, operaciones o técnicas devuelven a los materiales su posibilidad de utilización en su función original o en alguna relacionada, sin que para ello requieran procesos adicionales de transformación (Educalingo, 2019).
- **RESIDUO NO APROVECHABLE:** Es todo material o sustancia de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. Son residuos que no tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y, por lo tanto, generan costos de disposición (López, 2018).
- **RECICLAJE:** Es la recuperación de materiales para ser de nuevo utilizados como materia prima en otro proceso de fabricación. El reciclaje de materiales ocasiona generalmente cierta pérdida a causa de la mezcla de materiales o a la degradación de las propiedades de éstos (López, 2018).
- **RESIDUO:** Es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o de pósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula (López, 2018).

5.3. MARCO GEOGRÁFICO

La investigación se desarrolló en el departamento de Boyacá en la ciudad de Tunja, ubicada sobre la cordillera oriental de los Andes a 115 km al noreste de Bogotá. Es la ciudad capital más alta del país, La extensión territorial del municipio de Tunja es de 121,4 km² de los cuales el 87% pertenece al área rural y el 13% al área urbana. Está situada en las coordenadas 5°32'7"N 73°22'04"O y su longitud en relación con Bogotá es de 0 grados, 43 minutos y 0 segundos.

Ilustración 2. Mapa Ciudad de Tunja Boyaca



Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Mapa-de-isocontaminacion-de-la-ciudad-de-Tunja-con-la-ubicacion-de-las-25_fig3_274884257

5.4. MARCO LEGAL

A continuación se relacionan los diferentes marcos legales acerca de la reutilización, prohibición, medidas sanitarias y prevención de los residuos sólidos referentes al uso del poliestireno expandido conocido como icopor.

Tabla 2. Referentes Normativos

Norma	Año	Tema	Ente emisor	Contenido que aplica	Descripción
Proyecto de ley numero 5	2017	Prohibición de la utilización del poliestireno expandido (icopor)	Congreso de la republica	Todo	Por medio de la cual se prohíbe la utilización del poliestireno expandido (icopor) en actividades de comercialización de alimentos, se ordena la implementación de un Plan Nacional de Reciclaje del Icopor de uso industrial y se dictan otras disposiciones.

Decreto 4741	2005	Prevenir la generación de residuos sólidos	Secretaría distrital	Todo	En el marco de la gestión integral, el presente decreto tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.
Ley 430	1998	Normas prohibitivas referente a los desechos	Legislación colombiana	Todo	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones
Ley 09	1979	Medidas sanitarias para manejo de los residuos	Ministerio de salud	Todo	Medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos.
Decreto 605	1996	Manejo, transporte y disposición final de los residuos	Observatorio ambiental	Ley 142 de 1994	Reglamenta la ley 142 de 1994. En cuanto al manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos.

Resolución n 2309	1986	Planes de cumplimiento, tratamiento y registro de los residuos	Ministerio de salud	Todo	Define los residuos especiales, los criterios de identificación, tratamiento y registro. Establece planes de cumplimiento vigilancia y seguridad.
Decreto 1713	2002	Prestación de servicio de aseo	Ministerio de ambiente	Ley 142 de 1994, la ley 632 de 2000, la ley 689 de 2001, ley 2811 de 1974 y la ley 99 de 1993.	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial "Por el cual se reglamenta la ley 142 de 1994, la ley 632 de 2000 y la ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el decreto ley 2811 de 1974 y la ley 99 de 1993 en relación con la gestión integral de residuos sólidos.
Decreto 948	1995	Prevención y control de la contaminación atmosférica	Ministerio de ambiente	Ley 23 de 1973, los artículos 33,74,75, Ley 2811 de 1974 articulo 41,42,43,44,45,48 y 49	"Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de

					<p>1993”, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire”. Así mismo reconoce en su Artículo 22. Materiales de Desecho en Zonas Públicas. Prohíbese a los particulares, depositar o almacenar en las vías públicas o en zonas de uso público, materiales de construcción, demolición o desecho, que puedan originar emisiones de partículas al aire.</p>
--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión de las normas y leyes mencionados anteriormente, (2020).

- **PROYECTO DE LEY NÚMERO 05 DE 2017 SENADO:** Por medio de la cual se prohíbe la utilización del poliestireno expandido (icopor) en actividades de comercialización de alimentos, se ordena la implementación de un Plan Nacional de Reciclaje del Icopor de uso industrial y se dictan otras disposiciones.
- **DECRETO 4741 DE 2005:** En el marco de la gestión integral, el presente decreto tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.
- **LEY 430 DE 1998:** Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- **LEY 09 DE 1979:** Medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos.
- **DECRETO 605 DE 1996:** Reglamenta la ley 142 de 1994. En cuanto al manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos.
- **RESOLUCIÓN 2309 DE 1986:** Define los residuos especiales, los criterios de identificación, tratamiento y registro. Establece planes de cumplimiento vigilancia y seguridad.
- **DECRETO 1713 DE 2002:** Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial “Por el cual se reglamenta la ley 142 de 1994, la ley 632 de 2000 y la ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el decreto ley 2811 de 1974 y la ley 99 de 1993 en relación con la gestión integral de residuos sólidos.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1. LINEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación utilizada durante el desarrollo de este proyecto fue enfocada en la Productividad, competitividad e innovación.

6.2. ALCANCE Y ENFOQUE

6.2.1. Tipo de investigación

Los procedimientos metodológicos que se utilizó durante el desarrollo de este proyecto incluyó investigación bibliográfica, descriptiva y experimental. La investigación bibliográfica se recolectó información de estudios realizados en diferentes países e industrias colombianas, conceptos tomados de libros, recursos electrónicos de la base de datos de la Universidad Antonio Nariño y en sitios de internet en lo que se hizo énfasis al mal uso de los envases y empaques de las bandejas de carne de pollo hechas a base EPS o icopor. De igual manera en la parte descriptiva se evidenció los problemas que trae el EPS o icopor para el medio ambiente y la salud del ser humano en donde se pretendió diseñar una red de logística inversa para la reutilización de las bandejas de carne de pollo para dar mejoramiento a los procesos y respecto a la parte experimental se realizó un modelo matemático donde se mejoró la recolección de los empaques y envases de carne de pollo de las empresas pollos el dorado, Campollo y Macpollo.

6.3. ESTRUCTURA METODOLÓGICA

Para el desarrollo del proyecto se siguió la metodología expuesta por TAHA (2004) la cual consta de las siguientes fases:

FASE 1. Diagnóstico: En esta fase se realizó un diagnóstico del proceso que se desarrolló en la sección de riego para la recolección y acopio de las bandejas de carne de pollo.

FASE 2. Construcción del Modelo: Se ejecutó la construcción del modelo matemático. En primer lugar, plasmando una categorización de las variables y los

parámetros, con el fin de abastecer la formación del modelo. Primero se estableció la función objetivo de acuerdo con la intención definida. Posteriormente se determinó las restricciones del modelo de pactando las situaciones y limitaciones actuales del proceso de recolección y acopio de las bandejas de carne de pollo. Para la construcción del modelo se utilizó una herramienta matemática de Investigación de Operaciones.

FASE 3. Solución del Modelo: Se tomaron datos necesarios sobre las cantidades generadas de contaminación de las bandejas de carne de pollo para su reutilización. Posteriormente, a través de los consumidores y las empresas que utilizan el EPS o icopor se recolectaron información de las cantidades vendidas, con el propósito de reutilizar y darle un mejor uso. Finalmente, con la búsqueda constituida se efectuó el modelo para solucionarlo a través del software especializado de Investigación de Operaciones lingo.

6.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS

6.4.1. Fuente de información primarias:

Antecedentes de investigaciones ya realizadas a acerca del mal uso del icopor como tesis, artículos.

- url: Osorio, L. (2015). Investigación de Mercados Aplicada a la Gestión de poliestireno expandido en la ciudad de Pereira, año 2015. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5894/65883C764.pdf;jsessionid=54A5B27EC2067A49C5202860EC76390F?sequence=1>
- Oliveira, C. T. (2019). Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain . *Journal of Cleaner Production*, 13
- Asociación Nacional de poliestireno expandido. (2018). *El poliestireno expandido y el medio ambiente*. Obtenido de <http://www.anape.es/pdf/EI%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=EI%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>
- Carla Tognato de Oliveira, M. M. (2018). Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse. *Journal of Cleaner Production*, 30.

- A.I. Barros, R. D. (2018). A two-level network for recycling sand: A case study. *European Journal of operational research, Erasmus University Rotterdam*, 30.

Información y datos suministrados por sitios web y de las empresas.

- avicola, f. (2017). Obtenido de <https://fenavi.org/documentos/habitos-de-consumo-de-pollo-informe-final-exploratorio-de-la-categoria/>
- Paydar, M. M. (2019). Designing and solving a reverse logistics network for polyethylene. *Journal of Cleaner Production*, 18.
- pollos el dorado. (2016). *DISEÑO Y ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA POLLO DORADO*. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2016/01/01/Orozco-Beberly.pdf>

6.4.2. Fuente de información secundarias:

Como fuentes secundarias se contó con las bases de datos de la universidad, allí se encontró gran variedad de artículos, tesis y publicaciones de carácter científico. Además, las leyes y normas existentes que se aplicaron a la investigación y los diferentes libros de la biblioteca virtual que ofreció la universidad.

- url: congreso de la republica. (2017). *PROYECTO DE LEY No. _____ DE 2017*. Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/PL%20005-17%20Prohibicion%20del%20Icopor_636540265379054429.pdf
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá - CORPOBOYACÁ. (2019). *Metas de carga global contaminante*. Obtenido de <https://www.corpoboyaca.gov.co/>
- Escobar, G. (05 de 06 de 2018). *Calentamiento global en Colombia*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/1/gonzaloduqueescobar.201138.pdf>
- FLORIÁN, J. A. (2016). *LOGÍSTICA INVERSA, APLICADA AL MANEJO DE RESIDUOS PLÁSTICOS*, Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/14529/MURCIA%20FLORIAN%20JONATHAN%20ALEXANDER%202016.pdf;jsessionid=575E0C605DD6EF67DF1F57A01305E2A7?sequence=3>

- Fundación verde natura. (02 de 07 de 2018). *Gestión recuperación Icopor*. Obtenido de <https://fundacionverdenatura.org/Programas.html10-20190408.pdf>
- HOYOS, J. E. (2017). *MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL MULTIOBJETIVO*. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0066454.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (30 de 06 de 2019). *Min ambiente revela cifras del estado ambiental de 128 áreas urbanas de Colombia*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2106-el-ministerio-de-ambiente-y-el-instituto-humboldt-lanzan-la-campana-naturaleza-en-edicion-limitada-2>

7. RESULTADOS

7.1. CAPÍTULO I: DIAGNOSTICAR EL PROCESO DE RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL QUE SE LLEVA A CABO PARA LAS BANDEJAS DE CARNE DE POLLO

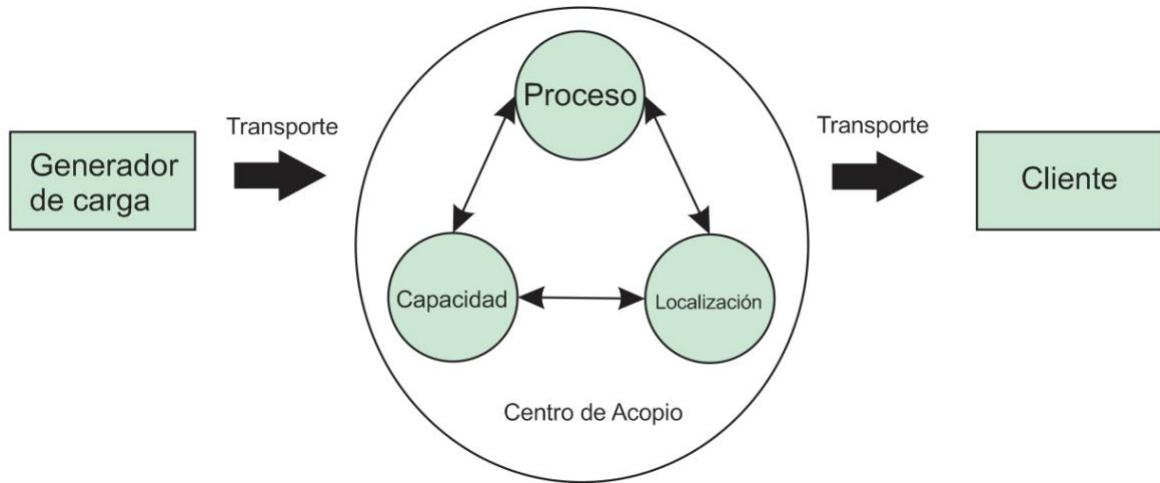
Esta etapa se realizó con el fin de realizar un diagnóstico inicial de la situación en cuanto al proceso de recolección y disposición final para las bandejas de carne de pollo

7.1.1. Proceso de recolección de las bandejas de carne de pollo

Se presentan cuatro puntos importantes para su recolección

1. Productores de carga: Son los productores del residuo que tienen las bandejas los cuales fueron creados especulando en la necesidad de reciclaje, lo cual favorece a las familias y al medio ambiente. Adicional a ello, diferentes estrategias industriales que ofrecen el recogimiento adecuado para aprovechar al máximo su reciclaje. Fundamento lo anterior, los productores de carga a discutir en este estudio son los clientes externos e internos vinculados a la empresa pollos el dorado en la ciudad de Tunja. Asimismo, se busco hallar como será viable depositar el volumen generado en las residencias y establecimientos, pero teniendo como fuente la empresa pollos el dorado para su recolección.
2. Transporte: Medio por el cual lograra que el residuo valla desde los generadores hacia su destino, donde se centrara en un eje de recogida en la ciudad de Tunja.
3. Centro de Acopio: Sector en donde llegará el restante y reclutamiento de este para poder ser entregado al consumidor final. El centro de acopio tendrá que adquirir una fase provechosa, magnitud de obtención procedente de los rasgos del trascurso y orientación trascendental que permita llevar a cabo el proceso en las mejores condiciones.
4. Cliente: Son puntos de adaptación del material, donde se localizan en los importantes municipios del país.

Ilustración 3. Proceso de recolección



Fuente:

http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/10926/Rediseño_proceso_reciclaje.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7.1.1. Planteamiento de alternativas de recolección de las bandejas

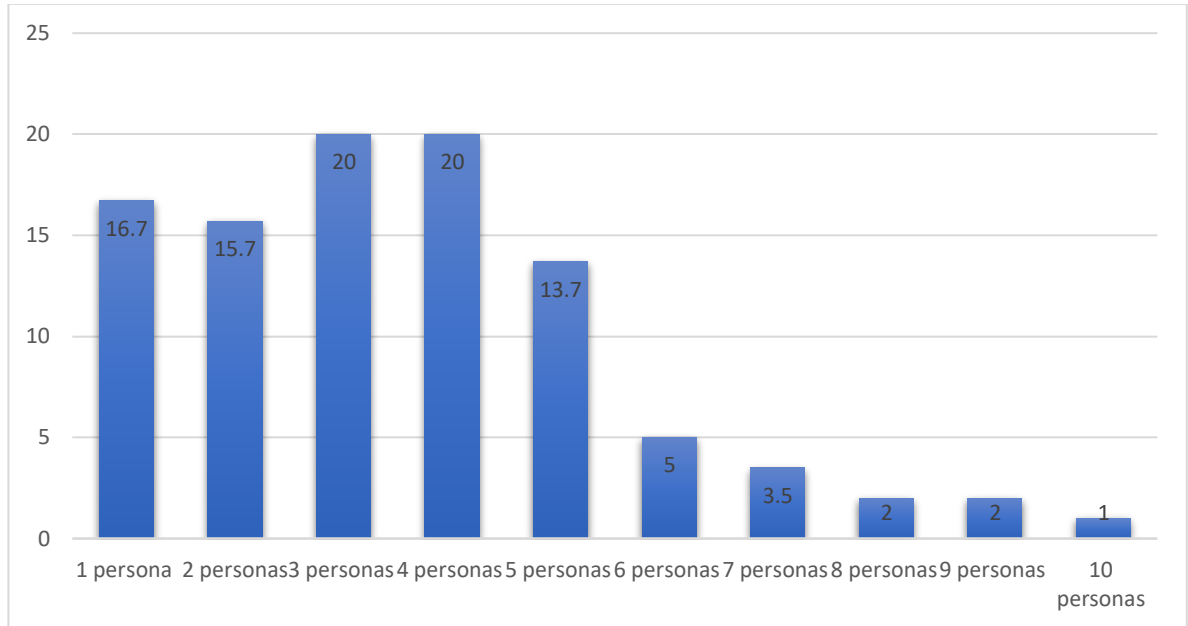
Dado que los generadores de carga son los clientes externos e internos de la ciudad de Tunja, se trataron opciones de acopio considerándose como foco primordial la recuperación de estas bandejas. Para ello se requirió originalmente indagar las capacidades aproximadas de fabricación de este tipo de residuo en la empresa Pollos el Dorado de la ciudad de Duitama y su manera de como será suministrado por los generadores.

Partiendo que las residencias tienen significativos generadores de residuo, según la averiguación proporcionada en la empresa Pollos el Dorado (2020), se buscó estudiar los bultos cercanos de desperdicio en los hogares de las familias de la ciudad de Tunja, para establecer las alternativas planeadas, el medio de recolectar en las cadenas de supermercado más cercanas para ser llevados a la empresa Pollos el Dorado.

Para esto optamos por la realización de un censo el cual tiene como objeto de estudio la empresa Pollos el Dorado, donde tomamos como muestra familias Tunjanas para hacer el respectivo acopio de las bandejas y si contaban con conocimiento sobre el buen manejo de reciclaje y recolección de las bandejas.

Se consulta la cantidad de familias en la ciudad de Tunja, donde según el DANE (2020), la cantidad de hogares arrojó que el 72,3% de la población tunjana corresponde a familias de menos de 4 personas.

Ilustración 4. Porcentaje de hogares según el número de personas



Fuente: Elaboración propia con datos tomados del DANE, (2019)

7.1.2. Tratamiento de las bandejas a base de icopor

Una vez recolectadas las bandejas en las diferentes cadenas de supermercados se opta por llevarlos a la empresa pollos el dorado, donde una vez recolectado el material se opta por mandar a las empresas de Colombia para su respectivo reciclaje.

¿Cómo se recicla? El icopor se puede reciclar mecánica o químicamente. Aquí solo nos referiremos a las diversas formas de reciclaje mecánico.

- Una forma es molerlo o picarlo, combinarlo con poliestireno virgen y volver a fabricar bloques de icopor.
- Otra forma es densificarlo. Este proceso consiste en agregar calor para derretirlo de manera controlada y convertirlo en torta. Gracias a esto, se vuelve de nuevo en poliestireno para ser aplicado en distintos

productos, como reglas, muñecos, aislamiento para la construcción, recipientes, apartados de oficina, etc.

Tabla 3. Empresas Colombianas dedicadas a reciclar el icopor

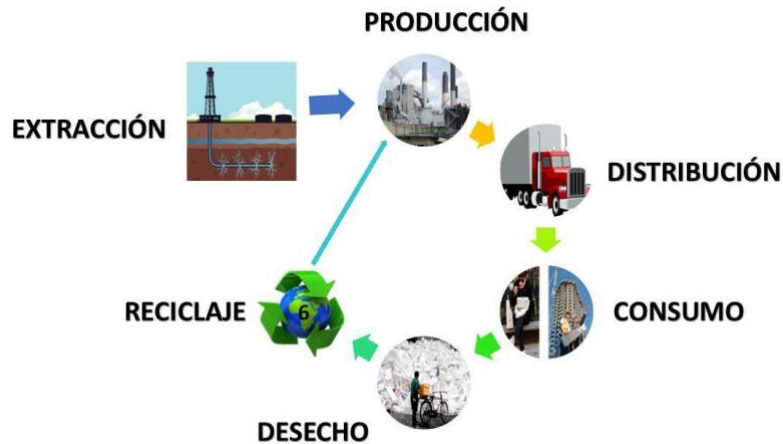
Descripción de la empresa	Logo
La empresa Thermopor S.A.S. ubicada en el norte de Cali (barrio El Porvenir) produce y comercializa neveras y tanques para conservación de productos a temperatura constante y para transporte y almacenamiento de alimentos y medicamentos. [17]	
La empresa Macropor Induyorjac S.A.S. ubicada en Jamundí (Valle) produce y comercializa materiales de EPS para el sector construcción. Entre los productos que fabrican: láminas aislantes, cielos rasos, casetones nuevos y reciclados. Es una de las pocas empresas que recupera productos de EPS para reintegrarlo al proceso productivo. [18]	
La empresa Ikoportex Ltda. ubicada en Bogotá produce materiales de EPS para obras civiles. También recupera EPS utilizado para procesarlo con EPS nuevo. [19]	
La empresa Armadillo S.A. (anteriormente Industrias Tecnopor S.A.) tiene sedes en Medellín, Cali y Bogotá. Fabrican láminas, bloques y molduras para uso en obras civiles, láminas más finas para papelería y neveras para uso comercial.	
Fundación Verde Natura , es la única organización dedicada a la recolección y al reciclaje del EPS para producir materiales escolares con el fin de disminuir impactos negativos al medio ambiente. [20]	
La empresa Palmipor S.A.S. ubicada en Palmira (Valle) produce y comercializa EPS para los sectores comercial (para manualidades), de construcción (casetones), industrial (aislantes térmicos y acústicos) y decoración (piñatas y otros). [21]	
Darnel , produce desechables y empaques para alimentos como vasos, contenedores y productos para envolver entre otros. Sus plantas de producción se encuentran estratégicamente ubicadas en Estados Unidos, España, Turquía, Israel, Uruguay, Brasil y Colombia. [22]	

Fuente:

http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/10926/Redisenio_proceso_reciclaje.pdf?sequence=1&isAllowed=y

A continuación, se muestra el ciclo de vida del icopor incluyendo la etapa de reciclaje siendo esta la que cierra el ciclo.

Ilustración 5. Ciclo de vida del EPS



Fuente:

http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/10926/Redisenio_proceso_reciclaje.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7.1.3. Disposición final de las bandejas de carne de pollo

Para precisar el proceso lucrativo de disposición del material en el foco de recolección, se consulta con Pollos el Dorado la manera como las plantas de adaptación aguardan recoger el material.

Pollos el dorado comunica que el material se alberga en las plantas en dos demostraciones: Suelto embolsado o en paquetes de material compactado, concurriendo con que la segunda forma es correcta para la entrega, pues si se trata de grandes volúmenes, se requerirá remitir a localidades extrañas donde se encuentra la planta de reutilización, su material incorpora mayor necesidad de área de acaparamiento y precio de envío.

Adicionalmente, Pollos el Dorado comunico que el precio superior de obtención del material proveniente de las plantas de disposición es de \$300 por kg adquirido en

sus instalaciones, monto que permitió comprobar la posibilidad monetaria del proceso.

anteriormente, se examinó un diseño habitual de las dos opciones para optar una de ellas como la manera más apropiada de liquidación del material a las plantas destino tal como se evidencia a continuación en la tabla.

Tabla 4. Alternativas de tratamiento de material

PRESENTACIÓN	COMPACTADO	EMPACADO
Descripción	El material se compacta en módulos de máximo 25 kg y se asegura con amarras plásticas.	El material no tiene ninguna alteración, solamente se incluye y se embolsa.
Recursos requeridos en proceso	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Equipo equipado. <input type="checkbox"/> Personal para manejo de compactadora. <input type="checkbox"/> Amarras o zunchos. <input type="checkbox"/> Equipos para apilar los bloques compactados. 	Personal para empaque de recipientes en bolsas o sacos.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Se optimiza el volumen de residuo a transportar. <input type="checkbox"/> Permite un almacenamiento adecuado y optimizado. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Proceso de alistamiento simple. <input type="checkbox"/> Poco personal y equipos requeridos.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Costo de obtención de compactadora. <input type="checkbox"/> Mayor costo de generación de energía requerida para el funcionamiento de la compactadora. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Utilización de espacios de almacenamiento. <input type="checkbox"/> Bajo volumen transportado por viaje aumentando. El costo por kg, puesto en destino.

Fuente: Elaboración propia tomando como base la información propuesta anteriormente, (2020).

Dicho anterior, se busco un proceso que consistiera en un mayor rendimiento y entrega conforme a las necesidades del consumidor final, pues se supuso que la forma más apropiada de reclutamiento del producto es compactada, dado que el área de acopio y carga corresponden a mejorar al máximo, por lo cual se opto el diseño de un proceso productivo para el producto final.

La fase de reclutamiento es plasmada en cuatro ciclos que permitirán adquirir el material compactado y dispuesto a ser trasladado a las plantas destino para su utilización.

Ilustración 6. Proceso de alistamiento



Fuente: Elaboración propia basada en lo mencionado anteriormente, (2020).

En consiguiente, se muestra el proceso de logística inversa el cual aborda una fase de reconocimiento del entorno, en donde se presenta lo que se recogerá para la devolución del producto por parte de un cliente interno o externo. Inmediatamente, se realiza el rescate o repartimiento inversa del producto, transportándolo concretamente a un lugar donde la compañía puede disponer de el; se procede a la fase de examen del producto donde se decide qué hacer con el, teniendo en cuenta los factores codificados y fijados, de manera que aporte para la realización de las actividades partiendo de la deducción de la notación de destinos de la mercancía y la agrupación de los productos para averiguar el optimo destino. Entre las

elecciones de decisión se nombran: prefabricación, renovación, reutilización, reciclaje, eliminación y reingeniería (Bolívar, 2020).

Ilustración 7. Proceso de logística inversa



Fuente: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0069850.pdf>

7.2. CAPÍTULO II: DETERMINAR UN MODELO MATEMÁTICO QUE REPRESENTA LA CADENA DE SUMINISTRO INVERSA PARA EL RESIDUO BAJO ESTUDIO

7.2.1. Caracterización del sistema actual

Para el funcionamiento de la red de logística inversa, se hace una identificación de los actores involucrados en la cadena para así realizar una integración de estos actores y se da la construcción de la cadena para conocer su funcionamiento.

El punto inicial en la ciudad de Tunja parte desde los distribuidores, actualmente en la ciudad no se cuenta con ninguna empresa dedicada a la fabricación de bandejas de carne, es por esto que llegan bandejas de carne de diferentes partes del mundo y de todas las marcas, para esto se hace una clasificación de los diferentes distribuidores que existe en la ciudad, estos eslabones de la cadena se encargan de surtir a todo el parque automotor de la ciudad de bandejas de carne una vez requieran cambio. En el segundo eslabón de la cadena solo alguno de los distribuidores hacen parte de la recolección y manipulación de bandejas de carne usadas, tales como lo son los monta bandejas de carne, solo en los tres tipos de localización mencionados anteriormente se hace referencia a las bandejas de carne usadas, en estos establecimientos es donde se lleva a cabo el cambio de las bandejas de carne usadas por las nuevas, por lo tanto son los que tienen la manipulación de las bandejas de carne usadas, es decir son el punto generador de bandejas de carne usadas en la cadena.

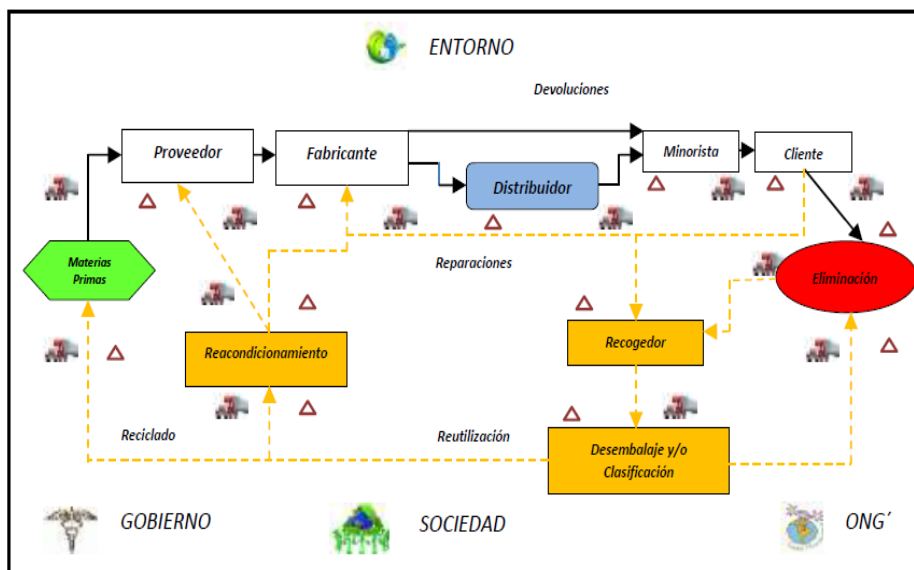
Es importante señalar que no es necesario separar estos lugares por la clasificación de tipo de bandejas de carne generadas o por cual sea su especializada, como estos generadores de bandejas de carne están ubicados en diferentes puntos geográficos de la ciudad, así mismo el manejo de bandejas de carne será diferente, en los que están cerca de las zonas rurales, tendrán mayor volumen de bandejas de carne usadas de vehículos de carga pesada y buses, que los localizados en los barrios residenciales de la ciudad. No es necesario hacer una clasificación de tipo de bandejas de carne usadas, para la disposición final no importa el tamaño ni desgaste de la llanta, porque a la final todas serán trituradas y quedarán como partículas de poliestireno granulado. Una vez las bandejas de carne terminan su vida útil y son desechadas por los consumidores, estos por hacer parte de la cadena, tienen la responsabilidad de hacer un uso adecuado de estas bandejas de carne usadas y colocarlas a disposición de personas o de lugares encargados del manejo de estas, en este caso ubicarlo en el centro de acopio o deposito más cercano. Por lo tanto, el siguiente actor que participa en la cadena, son los puntos de recolección o centros de acopio (deposito), será importante que todas las bandejas de carne usadas lleguen a estos centros de acopio, para que una vez sean

agrupadas permita una mayor facilidad en el transporte de estas para ser trasladadas a los centros de disposición final, explicados anteriormente.

Las tareas mencionadas anteriormente tienen como finalidad tener los elementos necesarios para diseñar la red de ruta a seguir (ruteo), dependiendo de la ubicación de cada uno de estos lugares (nodos) se diseñará una ruta óptima para la recogida de estos residuos y optimizar recursos para la empresa. Es importante aclarar que en el trabajo no se analizara la ruta óptima en cuanto a recursos económicos, sino que por medio de una serie de algoritmos y comparación entre los diferentes resultados se recomendara para el diseño del modelo matemático, la red que más optimice tiempo y distancia.

Finalmente se entrevistaron los menores generadores de bandejas de poliestireno usadas en toda la cadena, las vulcanizadoras y monta bandejas de poliestireno de barrio; los cuales fueron seleccionados aleatoriamente utilizando una técnica de recorrido de los diferentes barrios de la ciudad de Tunja, técnica que permitía ubicar fácilmente estos establecimientos a lo largo de toda la ciudad y de esta misma manera se iban entrevistando para tabular los datos simultáneamente. Los 206 puntos generadores de bandejas de poliestireno utilizadas seleccionados como muestra para el desarrollo de la problemática en estudio, en el cual se puede observar la dirección del establecimiento, nombre y cantidad de bandejas de poliestireno generadas por mes.

Ilustración 8. Logística directa y logística inversa



Fuente: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0069850.pdf>

7.2.2. Formulación del modelo matemático

Teniendo en cuenta el problema de esta investigación, se realizó un análisis de los diferentes modelos de programación entera mixta disponibles en la literatura actual y a partir de ello, se diseñó un modelo que se ajuste a las necesidades y condiciones de este proyecto para la construcción de una red de logística inversa que optimice la recolección de bandejas de poliestireno expandido en la ciudad de Tunja, los cuales deben ser recolectados en la ubicación del cliente y transportados en camiones con capacidad homogénea. Una vez finalizado el recorrido por cada cliente, el material es llevado a dichos centros de recolección/inspección los cuales cuentan con una capacidad limitada donde se realiza el descargue del material recolectado y una inspección de calidad para valorar, clasificar y seleccionar dicho material en envases recuperables y envases desechados, de esta manera se espera evitar el transporte excesivo de material devuelto y enviarlo directamente a las instalaciones adecuadas.

Dado lo anterior, el objetivo de esquema de esta red de logística inversa de dos niveles incluye clientes, centros de recolección/inspección, centros de Remanufactura y centros de eliminación o disposición final, consiste en establecer la ubicación y el número de centros de recolección/inspección necesarios para representar la centralización de la red y determinar la cantidad de flujo entre las instalaciones de esta. En el modelo planteado se busca minimizar los costos totales, incluyendo los costos fijos para observar los centros de recolección/inspección y los costos de transporte. Con el fin de delimitar el alcance de la investigación, se han planteado los siguientes supuestos para la formulación del modelo matemático de la siguiente manera:

- Cada cliente es totalmente atendido cuando es visitado, por lo tanto, todas las bandejas de poliestireno expandido devueltos por los clientes deben ser recogidos.
- Las ubicaciones de los clientes son fijas y preestablecidas. De antemano se conocen la cantidad de instalaciones, establecimientos y medidas de los centros de recuperación y disposición final o eliminación.
- La demanda no se considera dentro de la función objetivo dado que la capacidad volumétrica del camión es la principal restricción de carga en términos del peso de las bandejas de poliestireno expandido. A continuación, se hace la aproximación matemática que explica este supuesto.

De acuerdo con lo anterior, establecemos las siguientes variables para modelar

Pv: precio de venta de las bandejas
Cr: Costo de recolección
Cd: Costo de desmantelamiento y limpieza
G: ganancia neta

Que se relacionan de este modo

$$G = Pv - Cr - Cd$$

De acuerdo con el trabajo de campo se estima que el Costo de recolección mensual sería \$470.000. Por su parte, el precio de Venta 600 bandejas se estima en \$14.400.

Subíndices

i = tipo de proveedor $i = 1, 2, \dots, i$.

j = tipo de locales de recolección $j = 1, 2, \dots, j$.

k = tipo de planta de procesamiento $k = 1, 2, \dots, k$.

l = tipo de cliente $l = 1, 2, \dots, l$.

m = tipo de transporte $m = 1, 2, \dots, m$.

p = tipo de producto $p = 1, 2, \dots, p$.

7.2.3. Parámetros del modelo

Las medidas del modelo hacen reseña a los datos que son indispensables y direccionan para valorar o estimar las condiciones que se muestran en el modelo y simbolizan los valores destacados del sistema que se pueden controlar.

7.2.4. Paramentros de este modelo

G_{ip} = Cantidad de producto tipo *p* del proveedor tipo *i* generado en el periodo.

CT_{mp} = Capacidad de transporte tipo *m* para transportar el producto tipo *p*.

C_{kp} = Capacidad de transporte tipo *m* para transportar el producto tipo *p*.

C_{kp} = Capacidad de la planta tipo *k* para procesar el producto tipo *p*.

D_{lp} = Demanda de cada cliente tipo *l* del producto tipo *p*.

NV_m = Cantidad de viajes en un periodo para el medio de transporte tipo *m*.

7.2.5. Costos

$$CUR_{jp}$$

= Costo unitario de producto tipo p en el centro de recolección tipo j en $\frac{\$}{\text{unidad}}$.

$$CUP_{kp} = \text{Costo unitario de producto tipo } p \text{ en la planta tipo } k \text{ en } \frac{\$}{\text{unidad}}.$$

$$CUT_m = \text{Costo variable en km del transporte tipo } m \text{ en } \frac{\$}{\text{km}}.$$

$$CFR_j = \text{Costo fijo a utilizar en el centro de recolección tipo } j \text{ en } \frac{\$}{\text{periodo}}.$$

$$CFR_k = \text{Costo fijo a utilizar de la planta tipo } k \text{ en } \frac{\$}{\text{periodo}}.$$

$$CFT_m = \text{Costo fijo a utilizar en el transporte tipo } m \text{ con un viaje en } \frac{\$}{\text{viaje}}.$$

7.2.6. Variables del modelo

Es primordial predominar que las variables de decisión del modelo son las interrogaciones cuyo monto se explora con la solución del modelo.

7.2.7. Variables de decisión

$$QSR_{ijmp}$$

= Cantidad de producto tipo p entre proveedor tipo i y los locales de recolección tipo j transportados en el transporte tipo m .

$$QRP_{jkmp}$$

= Cantidad de productos tipo p entre local de recolección tipo j y la planta tipo k transportados en el medio tipo m .

$$QPC_{klmp}$$

= Cantidad de producto tipo p entre la planta tipo i y los locales de recolección tipo j transportados en el medio tipo m .

$$VSR_{ijm}$$

= Cantidad de viajes entre el proveedor tipo i y los locales de recolección tipo j transportados en el medio tipo m .

VRP_{jkm}

= Cantidad de viajes entre los locales de recolección tipo j y la planta tipo k transportados en el camión tipo m .

VPC_{klm}

= Cantidad de viajes entre la planta tipo k y el cliente tipo l transportados en el camión tipo m .

7.2.8. Función objetivo del modelo

La función objetivo es ciertamente la proporción matemática que se da entre las variables de decisión, los parámetros y una cantidad que constituye el objetivo mismo del sistema. En otras palabras, se toma que la función objetivo lo que pretende hacer es medir que tan cierto es el modelo que se formuló en función de las variables que se determinaron y estipula lo que se va a optimizar (Maximización o minimización).

7.2.9. Ecuación minimización costos

Se estima la ecuación de la operación del sistema para minimizar los costos de operación, en donde la función Objetivo será expresada como f_1 , la cual, por sus oportunas particularidades se busca llevarla a su mínimo nivel posible en el modelo:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } f_1(QSP_{ijmp}, QSR_{ijmp}, VSP_{ijmp}, VPC_{klm}, P_k, R_j) \\
 = \sum CFT_M \left(\sum \sum VSR_{ijm} \right. \\
 + \sum \sum VRP_{jkm} \\
 + \sum \sum VPC_{klm} \left. \right) mijjkkkl \\
 + \sum CUT_m \left(\sum \sum VSR_{ijm} * d_{ijm}^{SR} + \sum \sum VRP_{jkm} * d_{jk}^{RP} \right. \\
 + \sum \sum VPC_{klm} * d_{ij}^{PC} \left. \right) mijjkkkl + \sum CFP_k P_K \\
 + \sum \sum CUP_{kp} \sum \sum QPC_{klmp} + \sum CFR_j R_j kkpmlmj \\
 + \sum \sum CUR_{jp} \sum \sum QRP_{jkmp} kpkm
 \end{aligned}$$

7.2.10. Restricciones del modelo

Las restricciones son relaciones que se obtienen entre los recursos de lo que se dispone y sus variables de decisión; ellas son las que restringen el valor de la variable de decisión y efectivamente forman los recursos disponibles para ser definidos.

Las restricciones de el modelo quedarán sujetas a:

$$\sum \sum QSR_{ijmp} \leq G_{ip}, \forall i, p, jm$$

$$\sum \sum QRP_{jkmp} \leq \sum \sum QRS_{ijmp}, \forall k, km, im$$

$$\sum \sum QPC_{klmp} \leq \sum \sum QRP_{jkmp}, \forall k, p, lm, jm$$

$$\sum \sum QPC_{klmp} \leq C_{kp}, \forall k, p, lm$$

$$\sum \sum QPC_{klmp} \leq D_{lp}, \forall l, p, km$$

$$\sum QSR_{ijmp} + HSR_{ijm} = VSR_{ijm}, \forall i, j, m, p, CT_{mp}$$

$$\sum QRP_{jkmp} + HRP_{ijm} = VRP_{jkm}, \forall j, k, m, p, CT_{mp}$$

$$\sum QPC_{jkmp} + HPC_{klm} = VPC_{klm}, \forall k, l, m, p, CT_{mp}$$

$$VSR_{ijm} + HSR_{ijm} \geq 0 \quad VRP_{jkm} + HRP_{ijm} \geq 0 \quad \forall j, k, m - 1 < HRP_{ijm} < 1$$

$$VPC_{klm} + HPC_{klm} \geq 0 \quad \forall j, k, m - 1 < HPC_{klm} < 1$$

$$\sum \sum VSR_{ijm} + \sum \sum VRP_{jkm} + \sum \sum VPC_{klm} \leq Nv_m, \forall m, ijkkkl$$

$$\sum \sum \sum QRP_{jkmp} = R_j \sum \sum \sum QRP_{jkmp} \quad kmp \quad kmp$$

$$\sum \sum \sum QPC_{klmp} = R_j \sum \sum \sum QPC_{klmp} \quad lmp \quad lmp$$

$$QSR_{ijmp}, QRP_{jkmp}, QPC_{klmp}, VSP_{jkm}, VPC_{klm} \geq 0$$

7.3. CAPÍTULO III: VALIDAR EL MODELO MATEMÁTICO Y EVALUAR POSIBLES ESCENARIOS DE MEJORAS FRENTE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

7.3.1. Recolección de datos

En conclusión, con el modelo matemático diseñado, se realizó una fase de recolección de averiguación tomando las medidas determinadas para dicho modelo. Dado a lo anterior se obtuvo en cuenta la ubicación de los Cedi para la distribución de los insumos de bandejas de carne de pollo hacia los clientes que se encuentran en los diferentes municipios que comprenden el departamento de Boyacá.

7.3.2. Solución del modelo

Para realizar el modelo se utilizó un programa de computador especialista en investigación de operaciones Lingo, el cual produjo una recopilación de los subíndices a manejar en el modelo, posterior se determinaron los parámetros y variables convenientes según la referencia de los subíndices establecidos.

Consecutivamente, en un libro de Excel se logró la base de datos de los parámetros determinados con el fin de importar dichos datos hacia lingo, En definitiva, se desarrolló la coordinación precisa para la entrada de la función objetivo como de las restricciones anteriormente explicadas. En la ilustración se indica la síntesis de la corrida del modelo en el software.

Ilustración 9. Estructura del modelo matemático

```
SETS:
i/PRV1..PRV32/; !(a);
j/CEDI1 CEDI2/:CA,W; !(b);
k/CL1..CL10/; !(c);
l/PRT1..PRT218/:PV,CT; !(d);
m/MES1..MES12/; !(e);
n/VAR1..VAR12/; !(f);
ijlm(i,j,l,m):X;
jklm(j,k,l,m):Y;
jln(j,l,n):IF;
il(i,l):CC;
jn(j,n):CALM,CAPALM;
jk(j,k):DT;
ilm(i,l,m):CAPPV;
klm(k,l,m):DEM;
jm(j,m):CAPV;
kl(k,l);
jlm(j,l,m);
END SETS
DATA:
PV,CC,CALM,CT,DT,CA,CAPPV,CAPALM,DEM,CAPV=@OLE('Cadena de
Suministro.xlsx');
@OLE('Cadena de Suministro.xlsx')=X,IF;
END DATA
MAX=@SUM(jklm(b,c,d,e):PV(d)*Y(b,c,d,e))-
@SUM(ijlm(a,b,d,e):CC(a,d)*X(a,b,d,e))
-@SUM(jln(b,d,f):CALM(b,f)*IF(b,d,f))-
@SUM(jklm(b,c,d,e):CT(d)*DT(b,c)*Y(b,c,d,e))-@SUM(j(b):CA(b)*W(b));

@FOR(ilm(a,d,e):[CAP_PROVEEDOR]@SUM(j(b):X(a,b,d,e))<=CAPPV(a,d,e));

@FOR(jn(b,f):[CAP_INVENTARIO]@SUM(l(d):IF(b,d,f))<=(CAPALM(b,f)*W(b)));

@FOR(klm(c,d,e):[DEMANDA]@SUM(j(b):Y(b,c,d,e))=DEM(c,d,e));

@FOR(jln(b,d,f):[INVENTARIO]IF(b,d,f)=@SUM(ijlm(a,b,d,e)|e#LE#f:X(a,b,d,e))
)-@SUM(klm(c,d,e)|e#LE#f:DEM(c,d,e));

@FOR(jlm(b,d,e):@SUM(i(a):X(a,b,d,e))>=@SUM(k(c):Y(b,c,d,e)));

@FOR(jm(b,e):[CAP_VEHICULO]@SUM(kl(c,d):Y(b,c,d,e))<=CAPV(b,e));

@FOR(j(b):@BIN(W(b)));
```

Fuente: Software lingo

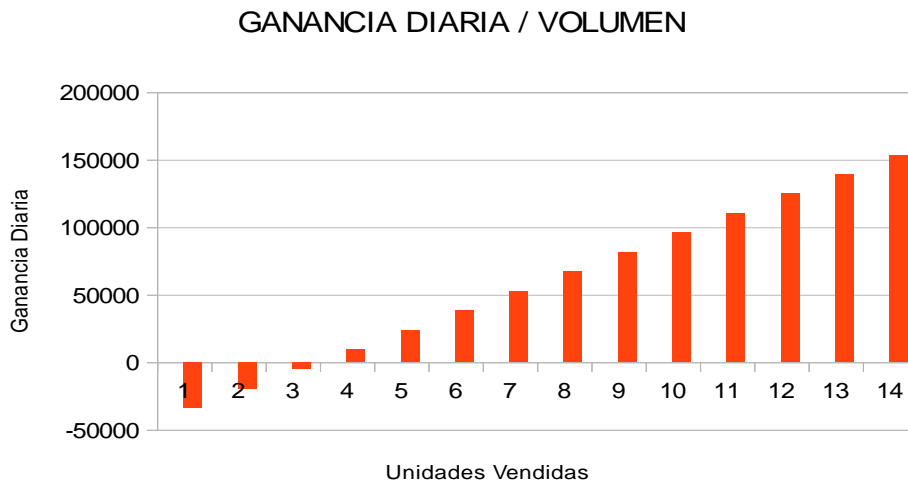
El modelo de venta ofrece el siguiente resultado considerando que 1 unidad representa la venta de 600 bandejas. En la siguiente tabla aparece la ganancia diaria en términos de las unidades que se consigan vender durante un día.

Tabla 5. Ganancia Diaria

Volumen Unidades	G diaria	G Mensual
1	-33933,32	
2	-19533,32	
3	-5133,32	
4	9266,68	278000,4
5	23666,68	710000,4
6	38066,68	1142000,4
7	52466,68	1574000,4
8	66866,68	2006000,4
9	81266,68	2438000,4
10	95666,68	2870000,4

Fuente: Elaboración propia con base a las unidades que se venden durante el día

Ilustración 10. Ganancia Diaria/Volume



Fuente: Elaboración propia.

Claramente, este modelo establece que las ventas arrojan ganancia mensual a partir de la venta de 4 unidades (2400 bandejas). Sin embargo, el propósito es alcanzar la producción de 10 o más unidades.

Para validar el modelo planteado es necesario definir la siguiente instancia. La red de logística inversa para la recolección de bandejas que se espera diseñar cuenta con tres potenciales centros de recolección/inspección, con un área de 1.550 m² por centro y una capacidad de almacenamiento para aproximadamente 175 toneladas de material. A su vez, se dispone de un vehículo con capacidad homogénea para aprox. 2 toneladas de envases. La cantidad promedio de toneladas devueltas transferidas desde cada centro de clientes hasta el centro de recolección/inspección es 11.3 toneladas por día, lo que equivale a una demanda mensual de 338,8 toneladas, demanda caracterizada.

Asimismo, la red cuenta con centros de recuperación o re manufactura los cuales se encargan de transformar el residuo para luego reintroducirlo en la cadena de abastecimiento, convirtiéndolo en materia prima para las industrias que utilizan esta resina reciclada en sus procesos productivos o para aquellas que fabrican nuevos envases. De esta manera, logran contribuir con la reducción en los costos operativos y garantizar el cuidado y la protección del medio ambiente. Por otra parte, la red cuenta con centros de disposición final, los cuales se encargan de garantizar el manejo adecuado y la correcta eliminación de todo el residuo (envase) que no cumple con las características adecuadas para su recuperación y reciclaje.

CONCLUSIONES

La logística inversa es de gran utilidad para las diferentes organizaciones dado que es una estrategia operativa que agrega valor a los procesos productivos mediante el aprovechamiento de los productos al final de su ciclo de vida, la minimización de costos y una reducción del impacto ambiental, lo que permite lograr cadenas de abastecimiento más sostenibles y operaciones económicas más competitivas.

Se logró identificar algunas problemáticas y un modelo de logística inversa asociado a procesos de recolección y disposición de las bandejas a base de icopor, donde a partir de ello se desarrolló un modelo matemático basado en programación lineal entera que respondiera al problema planteado en esta investigación, sin embargo, este modelo tiene una particularidad frente a los demás al no considerar la demanda dentro de la función objetivo, dado que no es un factor determinante para calcular los costos operativos pues se toma como complemento de la cantidad de bandejas generadas por día, además se tuvo en cuenta que la capacidad de los vehículos es superior al peso generado por las bandejas, es decir, mientras el vehículo tiene una capacidad de 16.6 toneladas, este al ser ocupado en su totalidad con las bandejas de carne de pollo, no supera las 2 toneladas.

Utilizar los software de modelamiento matemático como lingo son de gran utilidad para buscar una solución óptima a problemas de decisión en el diseño de redes de logística inversa de gran magnitud y complejidad, sin embargo, a medida que aumentan las dimensiones del problema, es necesario utilizar métodos que permitan realizar una búsqueda de soluciones más eficientes y confiables como las técnicas meta heurísticas, las cuales son comúnmente empleadas para abordar problemas de optimización combinatoria de naturaleza NP y ofrecen soluciones cercanas al óptimo en menos tiempo computacional. A través del análisis de los resultados se logró concluir qué centros de recolección/inspección se deben configurar para obtener la mejor solución al problema de decisión al que se enfrenta esta investigación y cómo calcular de forma eficiente los costos operativos asociados al diseño óptimo de redes de recolección, dado que es una de las principales preocupaciones de los operadores logísticos para lograr una adecuada estrategia operativa y una reducción en la emisión de gases contaminantes durante el transporte de los las bandejas de carne de pollo entre los clientes y cada una de las instalaciones que componen la red.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones a tener en cuenta para futuras investigaciones o mejoras del modelo propuesto en este documento, se puede sugerir lo siguiente: Se recomienda considerar los algoritmos genéticos, dado que la mayoría de los investigadores acuden a este método como técnica predilecta para dar solución a estas problemáticas, y de esta manera, realizar comparativos con software de alto nivel para medir el rendimiento y la eficiencia de la herramienta y del algoritmo propuesto de acuerdo a la complejidad del problema.

Asimismo, es posible ampliar el modelo y de esta manera considerar múltiples funciones objetivo, VRP (enrutamiento de vehículos), frecuencias de servicio, ventanas de tiempo entre otras. El problema de ruteo de vehículos permite establecer rutas de distribución eficiente; a través del ajuste de algoritmos o heurísticas, ofreciendo soporte y apoyo al campo de la logística.

Se establecieron 206 puntos o nodos generadores de bandejas usadas en la ciudad de Tunja, donde se estableció un centro de almacenamiento o acopio temporal, el cual se determinó como un punto intermedio entre los nodos y la planta final de recuperación. Se desarrolló una metodología de solución de dos fases para el enrutamiento de vehículos basada en la implementación de la heurística y el agrupamiento para la generación de las bandejas; para dar solución a la ruta.

Se consiguió expresar un modelo de ruteo de vehículos que caracteriza el proceso de recolección de las bandejas usadas, el cual arroja una ruta factible (si bien no óptima, se aproxima a ella), en términos económicos, mediante la minimización de costos de trayectos y la cobertura de los nodos o puntos generadores. En el modelo se obtuvo la red de logística inversa, la cual cuenta con una capacidad de atender al 100% los 206 nodos generadores, es decir atender una demanda de 32357 bandejas usadas; donde incluso es posible atender una demanda máxima de 40560, lo que indica que la red se usa al 80% de su capacidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Oliveira, C. T. (2019). Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain . *Journal of Cleaner Production*, 13.
- A.I. Barros, R. D. (2018). A two-level network for recycling sand: A case study. *European Journal of operational research, Erasmus University Rotterdam*, 30.
- Paydar, M. M. (2019). Designing and solving a reverse logistics network for polyethylene. *Journal of Cleaner Production*, 18.
- BBC MUNDO . (2015). *¿Por qué cada vez más ciudades prohíben el poliestireno?* Obtenido de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150701_poliestireno_prohibicion_lp
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (30 de 06 de 2019). *Minambiente revela cifras del estado ambiental de 128 áreas urbanas de Colombia*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2106-el-ministerio-de-ambiente-y-el-instituto-humboldt-lanzan-la-campana-naturaleza-en-edicion-limitada-2>
- Asociacion Nacional de poliestireno expandido. (2018). *El poliestireno expandido y el medio ambiente*. Obtenido de <http://www.anape.es/pdf/EI%20EPS%20en%20el%20Medioambiente.pdf?publicacion=EI%20Poliestireno%20Expandido%20y%20el%20Medioambiente>
- Osorio, L. (2015). Investigación de Mercados Aplicada a la Gestión de poliestireno expandido en la ciudad de Pereira, año 2015. Colombia : Universidad Tecnológica de Pereira . Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5894/65883C764.pdf;jsessionid=54A5B27EC2067A49C5202860EC76390F?sequence=1>
- Corporación Autónoma Regional de Boyacá - CORPOBOYACÁ. (2019). *Metas de carga global contaminante*. Obtenido de <https://www.corpoboyaca.gov.co/>
- Fundacion verde natura. (02 de 07 de 2018). *Gestión recuperación Icopor*. Obtenido de <https://fundacionverdenatura.org/Programas.html10-20190408.pdf>
- Rodríguez, C. (2016). Diagnóstico del manejo actual de residuos sólidos (empaques) en la Universidad El Bosque. *Producción + Limpia*, 8(1), 80-90. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v8n1/v8n1a06.pdf>

- Escobar, G. (05 de 06 de 2018). *Calentamiento global en Colombia*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/3673/1/gonzaloduqueescobar.201138.pdf>
- FLORIÁN, J. A. (2018). *LOGÍSTICA INVERSA, APLICADA AL MANEJO DE RESIDUOS PLÁSTICOS,*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/14529/MURCIA%20FLORIAN%20JONATHAN%20ALEXANDER%202016.pdf;jsessionid=575E0C605DD6EF67DF1F57A01305E2A7?sequence=3>
- pollos el dorado . (2017). *DISEÑO Y ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA POLLO DORADO.* Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2016/01/01/Orozco-Beberly.pdf>
- Carla Tognato de Oliveira, M. M. (2018). Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse. *Journal of Cleaner Production*, 30.
- HOYOS, J. E. (2016). *MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL MULTI OBJETIVO PARA LA*. Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0066454.pdf>
- congreso de la republica . (2017). *PROYECTO DE LEY No. _____ DE 2017.* Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/PL%20005-17%20Prohibicion%20del%20Icopor_636540265379054429.pdf
- avicola, f. (2017). Obtenido de <https://fenavi.org/documentos/habitos-de-consumo-de-pollo-informe-final-exploratorio-de-la-categoria/>
- PANEQUE, R. J. (2015). *Metodología de la Investigación. Elementos básicos para la investigación clínica.* Obtenido de http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/bioestadistica/metodologia_de_la_investigacion_1998.pdf
- TAHA. (2004). *investigacion de operaciones.* Obtenido de <https://archive.org/details/InvestigacionDeOperaciones7maEdicionHamdyA.Taha/page/n5>
- Colombia, U. P. (sf). Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002864.pdf>
- 2020, f. . (s.f.).
- propia, f. (s.f.). *hogares segun el numero de personas .*
- Bolivar, u. t. (2020). Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0069850.pdf>

Documental, G. d. (s.f). Obtenido de
https://www.unidadvictimas.gov.co/sites/procesos_caracterizados/9.%20Procedimiento%20Manejo%20de%20Residuos%20Solidos%20v1.pdf

Aeronautico, I. U. (s.f). Obtenido de
<https://rdu.iua.edu.ar/bitstream/123456789/568/1/logistica%20inversa.pdf>

Aeronautico, I. U. (s.f). Obtenido de
<https://rdu.iua.edu.ar/bitstream/123456789/568/1/logistica%20inversa.pdf>