

**INICIATIVAS NACIONALES PARA EL RECICLAJE DE LLANTAS USADAS EN
COLOMBIA**

MANUELA VALENTINA VEGA DUEÑAS

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020**

**INICIATIVAS NACIONALES PARA EL RECICLAJE DE LLANTAS USADAS EN
COLOMBIA**

MANUELA VALENTINA VEGA DUEÑAS

**Monografía para optar el título de Especialista en
Gestión ambiental**

Orientador(a):

**JIMMY EDGARD ÁLVAREZ DÍAZ
Biólogo**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director de la Especialización

Firma del calificador

Bogotá D.C., marzo de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Dra. Ana Josefía Herrera Vargas

Secretario General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suárez

Director Especialización en Gerencia de la Calidad

Dr. Emerson Mahecha Roa

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por iluminar mi camino y darme la inteligencia que necesité para culminar este proceso.

A mis padres por apoyarme siempre sin importar las circunstancias y a pesar de estar lejos de mí.

Al profesor Jimmy por orientar este proyecto correctamente, a pesar de los restos en cuanto a vacíos informativos.

Por último a todas aquellas personas que me acompañaron en estos dos años, mis amigos y compañeros de especialización, por sus conocimientos y su paciencia.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	18
MARCO CONCEPTUAL	19
1.1 MATERIALES QUE COMPONEN LAS LLANTAS	20
1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LLANTAS	22
1.3 MERCADO DE LLANTAS EN COLOMBIA	23
1.4 LOGÍSTICA INVERSA DE LAS LLANTAS	24
1.5 GESTIÓN DE LLANTAS USADAS EN COLOMBIA	25
1.6 APROVECHAMIENTO DE LLANTAS	27
1.6.1 Reciclaje de llantas	27
1.6.2 Reciclaje de llantas en Colombia	27
1.7 ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LOS NEUMÁTICOS DE UN SOLO USO	29
1.7.1 Principios de la economía circular	29
2 MARCO LEGAL	30
2.1 PROGRAMA POST CONSUMO DE LLANTAS USADAS EN COLOMBIA	30
3. ESTADO ACTUAL DEL RECICLAJE DE LLANTAS EN COLOMBIA	32
3.1 SECTOR LLANTERO EN COLOMBIA	32
3.2 ESTADÍSTICAS DE GENERACIÓN RESIDUOS PROVENIENTES DE NEUMÁTICOS EN COLOMBIA	35
3.2.1 Estadísticas de llantas desechadas	35
3.2.2 Estadísticas de llantas recicladas y comercializadas	36
3.3 ESTIMACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL RECICLAJE EN COLOMBIA	36
4. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECICLAJE DE LLANTAS A TRAVÉS DEL ESTABLECIMIENTO DE LOS CRITERIOS OBTENIDOS DE TENDENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES	38
4.1 TENDENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES DE RECICLAJE DE LLANTAS	38
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECICLAJE DE LLANTAS	40
4.2.1 Trituración	41
4.2.1.1 Trituración mecánica	42
4.2.1.2 Trituración criogénica	42
4.2.2 Termólisis	45
4.2.3 Pirólisis	46

4.2.4 Incineración	47
4.2.5 Mezcla	49
4.2.6 Regeneración	49
5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS: PROCESOS Y PRODUCTOS	51
5.1 METODOLOGÍA P5	51
5.3 ARGUMENTACIÓN: SUB CATEGORÍA TRANSPORTE	56
5.3.1 Comunicación digital	56
5.4 ARGUMENTACIÓN: SUB CATEGORÍA ENERGÍA	56
5.4.1 Energía usada	56
5.4.2 Emisiones/co2 por energía usada	57
5.5.1 Reciclaje	58
5.5.3 Energía incorporada	58
5.5.4 Residuos	59
6. CONCLUSIONES	60
7. RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	68

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Composición de neumáticos	20
Cuadro 2. Proceso de fabricación de llantas	22
Cuadro 3. Sitios adecuados y no adecuados para recolección de llantas usadas según el ministerio de ambiente de Colombia	30
Cuadro 4 . Distribución del aprovechamiento de llantas usadas en la cadena de gestión (% en Ton)	37
Cuadro 5. Caracterización del proceso de reciclaje, etapas y algunos productos que se obtienen	41
Cuadro 6. Regeneración de caucho reciclado	50
Cuadro 7. Metodología P5	52
Cuadro 8. Metodología P5: Medio Ambiente	53

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura de una llanta	19
Figura 2. Logística inversa de llantas usadas en Colombia	26
Figura 3. Principios de la economía circular	29
Figura 4. Proceso de trituración mecánica	43
Figura 5. Proceso de trituración criogénica	44
Figura 6. Termólisis de neumáticos.	45
Figura 7. Rendimiento del proceso de Termólisis	46
Figura 8. Proceso de pirolisis	47
Figura 9. Incineración de neumáticos	48

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición química de los Neumáticos de las llantas (Específica)	21
Tabla 2. Segmentos de llantas importadas en Colombia. Enero- Septiembre de 2019	33
Tabla 3. Principales importadores de llantas en Colombia por segmentos	34
Tabla 4. Principales países proveedores de llantas en Colombia	34
Tabla 5. Valoración matriz P5	53
Tabla 6a. Matriz P5	54
Tabla 6b. Matriz P5	55

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO B Estadísticas de llantas desechadas: Noticias y datos	69
ANEXO B. Estadísticas de llantas recicladas y comercializadas: Noticias y datos	71

RESUMEN

Las llantas usadas son un problema ambiental que crece con el pasar de los meses, estas provienen de los carros, buses, camiones, etc. Con un residuo que ocasiona problemas ambientales de gran magnitud si no se gestiona correctamente. Las llantas almacenadas ocupan grandes espacios y además, con el tiempo comienzan a albergar vectores como ratas, que pueden ocasionar daños a la salud. Se han implementado alternativas como el reencauche, donde se alarga la vida del material, pero a la final sigue convirtiéndose en un residuo.

En la búsqueda de alternativas que permitan lograr una correcta gestión de este residuo se han encontrado procesos como el reciclaje, el cual permite tratar el residuo para obtener nuevos materiales que aparte de generar ganancias, también se logra incorporar la cultura del reciclaje en la comunidad.

La presente monografía, además de mostrar la situación actual a nivel nacional y mundial en cuanto a la gestión de neumáticos fuera de uso, retomó los procesos de reciclaje que más se han incorporado en la actualidad: trituración, termólisis, pirólisis, incineración, mezcla con otros materiales y regeneración del material del neumático.

Con ayuda de la metodología P5, se evaluó la sostenibilidad de cada uno de estos procesos y se determinó que según el caso Colombia, los procesos que deberían incorporarse para permitir una correcta gestión de los neumáticos deben ser los relacionados con trituración mecánica y mezcla con otros materiales. Estos dos procesos de reciclaje permiten incorporar el residuo de nuevo en la cadena de suministro a un costo bajo, sin generar un alto impacto en el medio ambiente y además, generando ingresos económicos y creando cultura de reciclaje en el país.

Palabras clave: Reciclaje, llantas, desarrollo sostenible, gestión ambiental, residuos sólidos.

ABSTRACT

Used tires are an environmental problem that grows with the passing of the months, these come from cars, buses, trucks, etc. With a residue that causes environmental problems of great magnitude if not managed correctly. The stored tires occupy large spaces and also, over time they begin to house vectors such as rats, which can cause damage to health. Alternatives have been implemented such as retreading, where the life of the material is extended, but in the end it continues to become a waste.

In the search for alternatives that allow for the correct management of this waste, processes such as recycling have been found, which allows the waste to be treated to obtain new materials that, apart from generating profits, can also incorporate the culture of recycling into the community.

This monograph, in addition to showing the current situation at national and global level in terms of the management of tires out of use, resumed the recycling processes that have been incorporated most today: crushing, thermolysis, pyrolysis, incineration, mixing with other materials and tire material regeneration.

With the help of the P5 methodology, the sustainability of each of these processes was evaluated and it was determined that according to the Colombia case, the processes that should be incorporated to allow proper tire management should be those related to mechanical crushing and mixing with others materials. These two recycling processes allow the waste to be incorporated back into the supply chain at a low cost, without generating a high impact on the environment and also generating economic income and creating a recycling culture in the country.

Keywords: Recycling, tires, sustainable development, environmental management, solid waste.

GLOSARIO

LLANTA: “La palabra 'llanta' hace referencia al 'neumático', 'cubierta exterior' o 'cubierta de goma', mientras que para referirse a la pieza central y metálica de una rueda y se utiliza término 'rin'”¹.

NEUMÁTICO: Para la Cámara de Comercio de Bogotá² se conceptualiza como pieza fabricada con compuestos químicos, principalmente caucho que se coloca alrededor de la pieza metálica o rin (con altas características de adherencia) del vehículo para permitir su movilidad.

RECICLAJE: Según Zarin³. Es la recuperación un residuo por medio de procesos fisicoquímicos con el fin de darle alguna utilidad, logrando incorporarlo en la cadena de comercialización; para esto se utilizan diversas técnicas y tecnologías eficientes y económicas.

LOGISTICA INVERSA: “Es el proceso de mover bienes de su destino final típico a otro punto, con el propósito de capturar valor que de otra manera no estaría disponible, para la disposición apropiada de los productos”⁴.

ECONOMÍA CIRCULAR: “Se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción, la reutilización y el reciclaje de los elementos”⁵.

DESARROLLO SOSTENIBLE: “El desarrollo de la generación actual se lleva a cabo sin afectar el desarrollo de las generaciones futuras”⁶.

¹ SIGNIFICADOS. Llanta. En tecnología e Innovación. [Sitio Web] Abril. 2014 [Consultado 19, Septiembre, 2019]. Disponible en: <https://www.significados.com/llanta/>

² CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Guía para el manejo de llantas usadas. [Sitio Web]. Primera edición. Septiembre de 2006. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en[-: <https://drive.google.com/file/d/1hJnzA88pOg-ZsWFiUKhO717Z-AneGjjG/view>

³ ZARIN, Andrés. Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 1. [Consultado: 19 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: Repositorio Educativo digital ITBA: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/507>

⁴ GARCÍA, OLIVARES, Arnulfo Arturo. Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa: estudio de caso en la industria del reciclaje, B - EUMED, 2006. ProQuestEbookCentral, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3199832>.

⁵ FUNDACION ELLEN MACARTHUR. Economía Circular. [Sitio Web]. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>

⁶ Green Project Management. Estándar P5 de GPM Global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. [Sitio Web]. Estados Unidos. 2014. Versión: 1. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en: greenprojectmanagement.org

INTRODUCCIÓN

En Colombia, según la Asociación Nacional de Movilidad Sostenible ANDEMOS, “para el año 2019 el mercado de vehículos inició con una variación del -2,9% frente al 2018”⁷. A pesar de que hubo una disminución marcada en la cantidad de vehículos vendidos, persiste un problema creciente y acumulativo relacionado con los vehículos que entran en circulación, que le suman a los que actualmente están circulando. Además, está relacionado con la disposición final de las llantas de los automotores que al finalizar el tiempo de su vida útil simplemente son desechados.

Durante los últimos años, las llantas usadas se han convertido en tema de gran divulgación debido a los riesgos a la seguridad y salud pública durante su disposición y almacenamiento que no se ha efectuado de una forma segura y transparente especialmente en los últimos años en la ciudad de Bogotá, por ejemplo. Según el periódico El Tiempo “la situación es cada vez más crítica, pues en la capital cifras oficiales indican que tres de cada 10 llantas –750.000 de 2’500.000 que cumplen su vida útil por año– terminan en andenes, separadores, parques, humedales e incluso frente a las casas”⁸. La acumulación de estos materiales, su inadecuado almacenamiento y equivocada disposición, han ocasionado problemas ambientales para los que desde hace varios años se ha buscado darles una completa solución, pero hasta el momento no se ha encontrado una alternativa óptima.

“El tratamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos se ha convertido en una oportunidad para lograr que diferentes materiales sean reincorporados a procesos productivos, alargando de esta manera la vida útil y disminuyendo los impactos ambientales negativos generados por los diferentes productos y materiales”⁹.

Igualmente, se ha evaluado la posibilidad de reciclar las llantas teniendo en cuenta que, por su composición, pueden aprovecharse para otros usos. Existe una gran cantidad de procesos ya desarrollados para el reciclaje de llantas, los cuales dependen del uso que se le dará al material que se obtenga luego de reciclar la llanta.

⁷ ASOCIACION NACIONAL DE MOVILIDAD SOSTENIBLE. Sector Automotor arranca con 15.965 unidades matriculadas. [Sitio Web]. Bogotá D.C.CO. Sec. Movilidad. Publicaciones. Enero 2019: [Consultado 2, Agosto, 2019]. Disponible en: <https://www.andemos.org/index.php/2019/02/01/enero-2019-sector-automotor-arranca-con-15-965-un-matriculadas/>

⁸ GUEVARA. Carlos. El problema de la llantas en Bogotá. En: El Tiempo. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Archivo. 28 de Febrero de 2015. [Consultado: 19 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15317455>

⁹ CARDONA, L. y SÁNCHEZ, L. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos [Repositorio Digital UDEM]. Tesis para obtener especialización en PML. Medellín. Universidad de Medellín. p. 11. 2011 [Consultado: 19 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/375/Aprovechamiento%20de%20llantas%20usadas%20para%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20pisos%20decorativos.pdf?sequence=1>

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el propósito de esta monografía es disminuir los impactos ambientales generados por la mala gestión de los residuos provenientes de las llantas usadas. La documentación sobre todas las iniciativas que a nivel nacional e internacional se vienen desarrollando servirá como base para buscar solución a esta problemática ambiental. Se buscarán procesos que permitan manufacturar las llantas usadas, de tal forma que pueda seguirse utilizando de forma sostenible. Así que se buscará contribuir a encontrar soluciones a este problema que se ha generado a escala nacional, regional y local. De la misma manera, el análisis de los procesos que se llevan a cabo para reciclar las llantas permitirá proponer tecnologías eficaces sopesando sus ventajas y desventajas, teniendo en cuenta el contexto actual colombiano.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Establecer la alternativa más sostenible para el proceso de reciclaje de llantas a partir de los criterios obtenidos de las tendencias nacionales e internacionales más destacadas.

OBJETIVO ESPECIFICOS

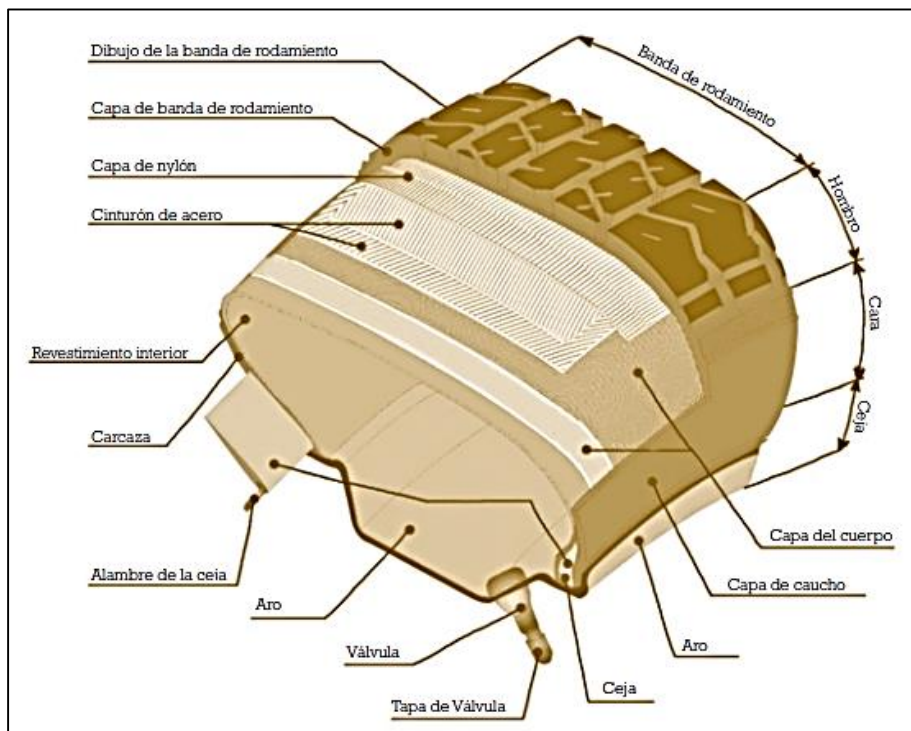
- Identificar el estado actual del reciclaje de llantas en Colombia y su relación con las tendencias internacionales más destacadas.
- Caracterizar el proceso de reciclaje de llantas a través del establecimiento de los criterios obtenidos de tendencias nacionales e internacionales.
- Evaluar las diferentes alternativas encontradas para el reciclaje de llantas a nivel nacional e internacional para la selección de la mejor alternativa que se adecúe a las condiciones del país.

MARCO CONCEPTUAL

Una llanta es una pieza circular de metal, situada en el centro de una rueda, alrededor de ella se coloca un neumático y este conjunto va unido al eje del vehículo. “En muchos países de América Latina como México o Colombia la palabra 'llanta' hace referencia al 'neumático', 'cubierta exterior' o 'cubierta de goma', mientras que para referirse a la pieza central y metálica de una rueda y se utiliza término 'rin'¹⁰. Así pues, las llantas son un conjunto de neumático-metal que se une a los vehículos para darles estabilidad y movilidad.

La llanta es un producto de alta ingeniería y está hecha de mucho más que caucho, también contiene fibras reforzantes, telas y cables de acero son algunos de los componentes que integran el revestimiento interior, el revestimiento externo está hecho de las capas de cuerpo, los cinturones, las caras y la banda de rodamiento. En la figura 1 se muestran las partes de una llanta.

Figura 1. Estructura de una llanta



Fuente: CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Guía para el manejo de llantas usadas. [Sitio Web]. Primera edición. Bogotá D.C. septiembre de 2006. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1hJnzA88pOg-ZsWFiUKhO717Z-AneGjjG/view>

¹⁰ SIGNIFICADOS. Op. Cit., p1

1.1 MATERIALES QUE COMPONEN LAS LLANTAS

Cuadro 1. Composición de neumáticos

Componentes	Tipo vehiculo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
Cauchos	48	45	Estructural – deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1,2	2,1	Catalizador
Materia textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización
Otros	12		Juventud

Fuente: CASTRO, Guillermo. Materiales y compuestos para la industria del neumático [Sitio Web]. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A. 2008. [Consultado: 24 de Octubre de 2019]. Disponible en internet: Repositorio Educativo DigitalUB A:https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf

Las llantas se componen de una parte metálica, una parte neumática y un refuerzo textil. En cuanto a la composición del neumático, de acuerdo con Zarin¹¹ el 25% de la formulación corresponde a cauchos naturales, el 15% a cauchos sintéticos, el 14%, agentes químicos como las sustancias acelerantes; el 13% corresponde a refuerzos metálicos y el 5% son refuerzos textiles. El 25% corresponde a las cargas de refuerzo, que contienen negro de carbono y sílice. La proporción de cada compuesto se muestra en la tabla 1.

La formulación del neumático de la llanta se asemeja a una receta de cocina, cada compuesto es un “ingrediente” que dependiendo de las proporción añadida le confiere ciertas características al producto final. De acuerdo con Castro¹². La formulación del neumático está compuesta de siete materiales: Rellenos

¹¹ ZARIN. Op. Cit., p10

¹² CASTRO, G. Materiales y compuestos para la industria del neumático [Repositorio Digital]. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A. p.1-57. 2008. [Consultado 24, Octubre, 2019]. Disponible en internet: Repositorio Educativo Digital UBA: https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf

reforzantes, fibras reforzantes, plastificantes, agentes vulcanizantes, retardantes y otros componentes.

El negro de humo actúa como relleno reforzante, este le aporta al neumático una alta tenacidad y resistencia al desgaste, resistencia a tracción y torsión. Las fibras textiles le brindan resistencia al neumático. Los plastificantes (generalmente derivados del petróleo) se añaden para facilitar la homogenización de los demás componentes a través de la modificación de la viscosidad. Para promover la reacción de vulcanización (entrecruzamiento de las cadenas del caucho) se utiliza como agente el azufre. Para acelerar la reacción de utilizan compuestos como el óxido de zinc y ácido esteárico. Los retardantes son compuestos que se añaden para evitar la pre vulcanización del caucho, para las llantas se utiliza N-nitroso difenil amina. Se añaden otros componentes como Antioxidantes o antiozonizantes, adhesivos que inhiben otros procesos que perjudican el material.

La composición química de los neumáticos varía dependiendo del país y del uso al que estén destinados, a continuación en la tabla1, se muestra la composición elemental:

Tabla 1. Composición química de los Neumáticos de las llantas (Específica)

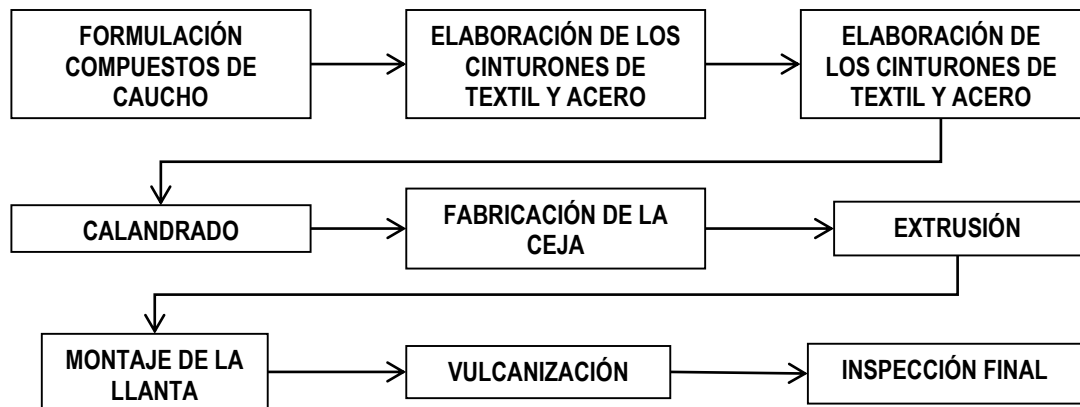
Elemento	Porcentaje
Carbono (C)	70
Hidrogeno (H)	7
Azufre (S)	1..3
Cloro (Cl)	0,2...0,6
Hierro (Fe)	15
Oxido de Zinc (ZnO)	2
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5
Cromo (Cr)	97-ppm
Níquel (Ni)	77-ppm
Plomo (Pb)	60-760ppm
Cadmio	5-10ppm
Talio	0,2-0,3ppm

Fuente: ZARIN, Andrés. Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 1. [Consultado: 19 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: Repositorio Educativo digital ITBA: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/507>

1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LLANTAS

El proceso de fabricación de llantas, teniendo en cuenta las materias primas, requiere de equipos de altas tecnologías y una mano de obra calificada, el proceso comprende nueve etapas, las cuales se muestran a continuación en el cuadro 2:

Cuadro 2. Proceso de fabricación de llantas



Fuente. Elaboración Propia basada en CAMARA DE COMERIO DE BOGOTÁ. Guía para el manejo de llantas usadas. [Sitio Web]. Primera edición. Bogotá D.C. septiembre de 2006. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1hJnzA88pOg-ZsWFiUKhO717Z-AneGjjG/view>

De acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente¹³ y observando el cuadro 2, en primer lugar se define la formulación, es decir, teniendo en cuenta lo que aporta cada componente se estima la cantidad que se debe añadir, dependiendo de las características que se quieren obtener en el producto final. En segundo lugar, se elaboran los cinturones de textil y acero, los cuales actúan como refuerzo. En tercer lugar se fabrica la “ceja” que es el elemento que une el neumático con la llanta (parte metálica) y no permite que este se deslice, esto se lleva a cabo por extrusión y está compuesta por el caucho más duro. Posteriormente, se unen los materiales en moldes y se lleva el conjunto a la etapa de vulcanización; (300 grados por 12-25 minutos) en esta etapa ocurre la reacción química que permita la formación de entrecruzamiento de enlaces del caucho. Finalmente, se hacen las pruebas de calidad al producto final.

Las materias primas utilizadas en la formulación son químicas que luego de la vulcanización, le brindan al neumático una alta resistencia a la degradación física,

¹³ CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Op. Cit., p10

química y biológica (debido a la reacción de vulcanización). Lo que dificulta su reciclaje y posterior procesamiento. En búsqueda de una solución rápida para este problema, en algunos lugares se quemaban las llantas, lo que desencadenaba un problema mayor y de cierta forma invisible puesto que el neumático, al ser quemado, emite al ambiente sustancias altamente contaminantes.

1.3 MERCADO DE LLANTAS EN COLOMBIA

La llegada de productos extranjeros a Colombia, gracias a los tratados de libre comercio también ha afectado el sector llantero de acuerdo con la revista Motor¹⁴ La producción de llantas en Colombia ha pasado una serie de picos en los últimos años, este mercado lo lidera la empresa Icollantas, cuya producción ha disminuido en los últimos años debido al producto proveniente de otros países cuyo precio es menor, pero a la vez, la calidad es demasiado baja. La producción últimamente ha disminuido a tal punto que no resulta rentable en algunos casos seguir produciendo llantas en el país, como es el caso de la empresa Michelin y en otro caso Goodyear, continúa con su planta en Yumbo pero a la fecha cerró algunas líneas de producción, centrándose solamente en fabricación de llantas para buses y camiones.

Los efectos en el mercado por la llegada de otras marcas han sido altamente notorios, “En la actualidad más de 180 marcas se comercializan en el país, en donde el consumidor tiene mucho para escoger. Pero por la misma razón, debe mejorar sus hábitos de compra porque no todo lo que se ofrece es de la mejor calidad”¹⁵. El mercado de llantas está en decrecimiento para las grandes empresas, pero eso no significa que la cantidad de llantas residuales en el mundo es menor; los picos de producción, se han trasladado a las empresas que ofrecen llantas más económicas pero a la vez de menor calidad, como es el caso de las industrias llanteras provenientes de países como China.

El Centro virtual de negocios CVN¹⁶, afirma que para el año 2018 las importaciones de llantas presentaban una tasa de crecimiento exponencial con un aumento de 15,4% con respecto al año 2017. A esto se añade el giro en las características del

¹⁴ CASA EDITORIAL EL TIEMPO. Vistazo al mercado de llantas en Colombia. En: Revista Motor. [Sitio Web]. Bogotá D.C.CO. Sec. Actualidad. 31 de Mayo de 2019. [Consultado el 15 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.motor.com.co/actualidad/industria/funciona-mercado-llantas-colombia-panorama/32387>

¹⁵ Ibíd.

¹⁶ CENTRO VIRTUAL DE NEGOCIOS CVN. Llantas económicas conquistan el mercado colombiano en el 2018. [Sitio Web]. 15 de Marzo de 2019. [Consultado el 15 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/llantas/>

producto ya que se pasó de un producto de mayor precio y mayor valor a uno de bajos precios y menor valor.

Según la revista Dinero¹⁷ en el año 2016 los cálculos del parque automotor arrojaron 12,5 millones de vehículos al cierre del año pasado, de los que 5,2 millones son vehículos particulares, 370.000 son camiones, tracto mulas y carros de servicio público y 7,1 millones son motos, por otro lado y para este mismo año las ventas de llantas fueron de 10 millones de unidades. 10 millones de unidades que en unos años serán una montaña de residuos si no se implementan acciones de gestión ambiental.

A pesar de que el parque automotor en Colombia ha tenido una disminución en los últimos años, el problema de los neumáticos fuera de uso sigue creciendo. Se han buscado varias alternativas para gestionar correctamente este residuo que presenta un problema de contaminación ambiental, para poder analizar alternativas y profundizar en el reciclaje, es necesario entender dos conceptos que engloba la gestión ambiental como logística inversa y economía circular, estos juegan un papel importante en la búsqueda de soluciones para el problema de los neumáticos que en primera estancia es mayormente ambiental.

La generación de residuos provenientes de neumáticos de un solo uso ha sido un problema ambiental con el que se ha cargado mundialmente desde hace décadas, en el caso Colombia este residuo se genera diariamente y contempla cifras de millones de residuos para los que actualmente no se lleva a cabo una correcta gestión. En contraste con Colombia, en el mundo, la cifra es mucho mayor pero a la vez, se descubren nuevas tendencias, prácticas y actividades en búsqueda de la no generación del residuo.

1.4 LOGÍSTICA INVERSA DE LAS LLANTAS

El concepto de logística inversa se relaciona íntimamente con la gestión de residuos sólidos, en este caso con el manejo ambiental de los neumáticos fuera de uso. La logística Inversa es un concepto nombrado dentro de los programas de gestión de residuos sólidos. De acuerdo con García Olivares¹⁸, La logística inversa se centra en la etapa en la que un producto se convierte en un residuo, son las actividades que mueven el producto de su destino final (que en el caso de las llantas sería un relleno sanitario) a otro punto dentro, ya sea dentro del ciclo de vida de la llanta

¹⁷ REVISTA DINERO. El promisorio futuro del negocio de las llantas en Colombia. [Sitio Web]. Bogotá .C. CO. Sec. Autopartes. 27 de Abril de 2017. . [Consultado el 15 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/cifras-del-mercado-de-las-llantas-en-colombia-2017/24454>

¹⁸ GARCÍA. Op. Cit., p7

misma o en otros procesos, esto con el fin de eliminar el “residuo” o en otras palabras, no dejar que aparezca y adicional a esto capturando valor a través de la correcta incorporación del producto dentro de la cadena de abastecimiento. Complementando lo anterior y de acuerdo con Bali¹⁹, la logística inversa efectúa la correcta gestión de “residuos”, devoluciones, productos defectuosos, etc. con el objeto de darles utilidad.

La logística inversa se relaciona íntimamente con la economía circular, tal y como se menciona a continuación: “Idealmente una cadena de este tipo (logística inversa) también es llamada una cadena de suministro circular (ya que el flujo inverso cierra el ciclo) mejora el aprovisionamiento de los productos, servicios e información mejor de lo que lo haría una cadena de suministro tradicional ya que reduce costos a la vez que reduce el impacto ambiental”²⁰. Es necesario destacar que la logística inversa junto con el enfoque de ciclo de vida, genera que se tengan en cuenta las actividades que se realizan con los productos luego de que estos cumplen con sus funciones y se convierten en un “residuo”: Los llamados programas post consumo.

El enfoque de ciclo de vida que actualmente se busca implementar en las organizaciones tiene en cuenta la gestión ambiental de los productos “de la cuna a la cuna” es decir, se consideran todos los procesos, desde los relacionados con las materias primas, hasta la gestión residual, luego de que el producto cumple su ciclo y no puede ser utilizado para las mismas funciones que fue diseñado y debe ser desechado. El nuevo enfoque busca que los procesos “no generen residuos” es decir que todo lo que se genera en el proceso, logre tener un nuevo uso, ya sea dentro del mismo proceso o en otros procesos diferentes, decir buscando lograr un proceso cíclico.

1.5 GESTIÓN DE LLANTAS USADAS EN COLOMBIA

Actualmente, se ha buscado gestionar correctamente las llantas usadas, existen principalmente dos alternativas: el reencauche y la disposición de rellenos sanitarios; es importante destacar que ninguna de estas dos opciones reduce la contaminación de este residuo. En la figura 2 se muestra el esquema de la logística inversa para las llantas usadas en Colombia.

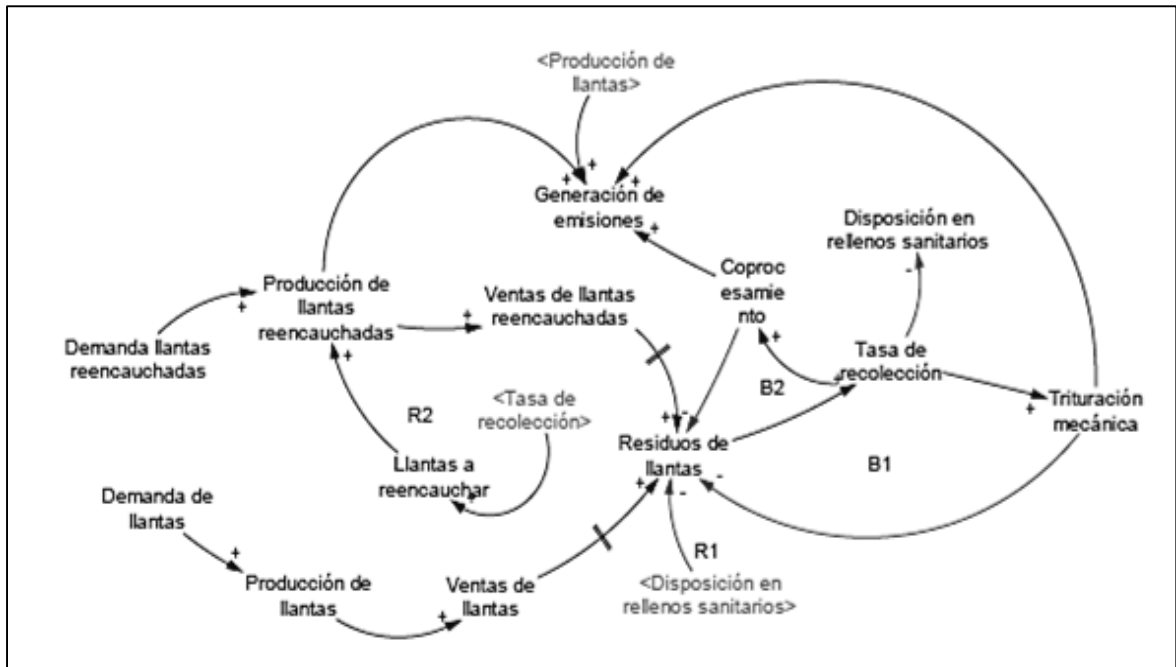
En la Figura 2, se observan cuatro corrientes de realimentación, R1 y R2 de refuerzo, B1 y B2 de compensación. Las cuatro corrientes representan las actividades de disposición final que se llevan a cabo con los neumáticos fuera de

¹⁹ BALI, Basilio. La Logística Reversa o Inversa, Aporte al Control de Devoluciones y Residuos en la Gestión de la Cadena de Abastecimiento. En: Revista Científica Ingeniería y Desarrollo. 2017. Vol. 35, No 2. 12p.

²⁰ GARCIA OLIVARES. Op. Cit., p13.

uso: disposición en rellenos sanitarios (R1), reencauche (R2), coprocesamiento (B2), trituración mecánica (B1).

Figura 2. Logística inversa de llantas usadas en Colombia



Fuente: "CAMARGO RODRIGUEZ, Santiago. FRANCO LÓPEZ, Jessica Andrea. CHUD, Vivian Lorena. OSORIO GÓMEZ, Juan Carlos. Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas. En: Revista Científica Ingeniería y Desarrollo. [Repositorio Uninorte]. Barranquilla. . Vol. 35. Nro. 2. 2017, p. 360-365. ISSN: 2145-9371. [Consultado 16, Noviembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.2.10165>"

De acuerdo con la figura anterior, las llantas que se vuelven residuos, un porcentaje se destina para procesos de reencauche ("El reencauche se basa en la selección e inspección de una llanta usada, a la que se le coloca una nueva banda de rodamiento mediante técnicas de calor y presión"²¹) otro porcentaje se dispone en rellenos sanitarios y un porcentaje pequeño va a coprocesamiento y trituración mecánica, procesos relacionados con reciclaje. Complementando lo anterior y de acuerdo con Camargo Rodríguez. *Et al*²², se observa una cadena que comienza con

²¹ Redacción El Tiempo. La verdad sobre el reencauche. En: El Tiempo [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. 16 de Noviembre de 1996. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-591959>

²² CAMARGO, S., et. al. Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas. En: Revista Científica Ingeniería y Desarrollo.

la demanda de llantas y desemboca en su disposición final, si aumenta la demanda y producción, aumentan las ventas y por ende también se incrementa la cantidad de residuos de llantas, al aumentar los residuos debe aumentarse la tasa de recolección y por ende los tratamientos posteriores como trituración, coprocesamiento, reencauche y disposición en rellenos sanitarios.

1.6 APROVECHAMIENTO DE LLANTAS

Es correcto afirmar que las llantas no deberían ir a parar a rellenos sanitarios, con todo lo afirmado en la sección anterior son muchas las actividades que se pueden implementar y acciones que pueden llevarse a cabo para darle un nuevo uso al neumático y evitar el problema ambiental. “Un **sistema industrial ecológicamente saludable** es aquel donde todos los materiales que se usan recorren el ciclo completo una y otra vez. Los desechos hacia el entorno deben ser los mínimos posibles. Esto se logra principalmente mediante una numerosa reutilización de materiales”²³. Prácticas como el reciclaje, contribuyen a tener un sistema industrial ecológicamente saludable.

De acuerdo con la guía para el manejo de llantas Usadas de la Cámara de Comercio de Bogotá²⁴, **Reciclar** es recuperar un residuo con el fin de darle alguna utilidad, logrando incorporarlo en la cadena de comercialización; para esto se utilizan diversas técnicas y tecnologías eficientes y económicas. Los principales productos que se reciclan son: papel, cartón, vidrio, plástico y aluminio. En el caso de los neumáticos/ llantas existe gran variedad de técnicas para su reciclaje y también una amplia gama de productos que se pueden obtener, en algunos casos para la misma industria del caucho, para obtener energía o nuevos materiales.

1.6.1 Reciclaje de llantas. De acuerdo con la cámara de comercio de Bogotá²⁵ Los productos obtenidos del reciclaje de llantas pueden ser destinados para muchos usos dentro de los que se encuentran: uso como relleno oligante, en asfaltos, uso como combustible en el proceso de obtención de hidrocarburos, obtención de materias primas para industria del caucho y derivados, usos decorativos, entre otros.

1.6.2 Reciclaje de llantas en Colombia. En Colombia actualmente existen iniciativas como la rueda verde, liderada por la ANDI²⁶. (Asociación Nacional de

[Repositorio Uninorte]. Barranquilla. Vol. 35. Nro. 2. p. 362 2017. ISSN: 2145-9371. [Consultado el 16, Noviembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.2.10165>

²³ ZARIN. Op. Cit., p15

²⁴ Cámara de Comercio. Op. Cit., p15

²⁵ Cámara de Comercio. Op. Cit., p42

²⁶ ANDI. El Comité de Llantas construye Más País. [Sitio Web]. 21 de Julio de 2017. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/15596-el-comite-de-llantas-construye-mas-pais>

Empresarios de Colombia) en compañía de las empresas del sector llanero, entre las que aparecen Bridgestone de Colombia, Continental Tire, Icollantas y Goodyear que buscan aumentar el porcentaje de llantas recicladas facilitando su recolección y fomentando su reciclaje La rueda verde²⁷ se define en su página web como “una entidad sin ánimo de lucro que desarrolla un sistema sostenible de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, con el propósito de prevenir y controlar la degradación del ambiente, de conformidad con la regulación colombiana vigente”.

En las grandes ciudades como Bogotá según la secretaría distrital de ambiente²⁸ en el informe del parque automotor emitido en el año 2014, se lleva a cabo recolección de las llantas desechadas y dentro de la cadena de gestión del residuo se dispone para llevar a cabo actividades en sectores como el de reencauche, energético, artesanal, regrabado, entre otros. Cabe destacar que el más alto porcentaje de este residuo se destina para el sector energético (71,9%).

Existen iniciativas vigentes para la reutilización de llantas y algunas que se están desarrollando en la actualidad, pero lo anterior confirma que en Colombia es necesario abundar en el tema ya que el problema cada vez crece más y las soluciones a este siguen siendo las mismas, es necesaria la búsqueda de una alternativa altamente sostenible para el manejo de este residuo, a pesar de que el reciclaje resulta ser una buena opción, debe profundizarse en la calidad de los productos obtenidos, deben potenciarse los usos de los mismos y buscar alternativas para mejorar su calidad de tal manera que puedan competir con productos de sus diferentes líneas de producción.

²⁷ La Rueda Verde. [Sitio Web]. 21 de Julio de 2017. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: ruedaverde.com.co

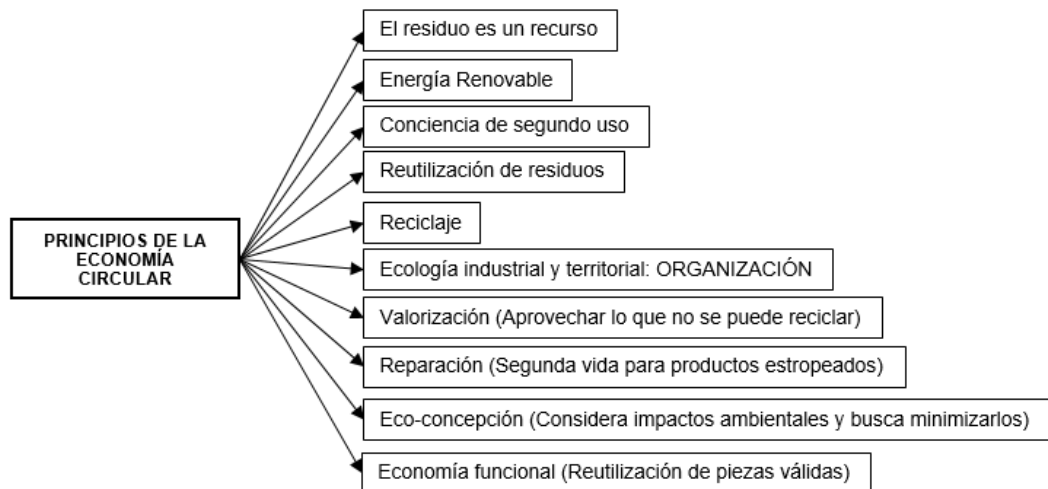
²⁸ SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE BOGOTÁ. Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Bogotá. [Sitio Web]. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>

1.7 ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LOS NEUMÁTICOS DE UN SOLO USO

Para poder definir la economía circular es necesario tener en cuenta el concepto de ciclo de vida del producto, el cual actualmente y como se dijo en la sección anterior, tendrá en cuenta todas las acciones que se llevan a cabo bajo la premisa “de la cuna a la cuna”. “La economía circular se presenta como un sistema de aprovechamiento de recursos donde prima la reducción, la reutilización y el reciclaje de los elementos”²⁹. La fundación Ellen McArthur³⁰ define la economía circular como una iniciativa reparadora y regenerativa, que busca que los productos mantengan su valor, busca que los productos estén en un ciclo continuo donde siempre se estén utilizando, es decir donde no se generen residuos. Para poder implementar la economía circular en las organizaciones, deben comprenderse sus principios, que son nada más que la explicación de cómo funciona esta iniciativa.

1.7.1 Principios de la economía circular. La revista de Sostenibilidad³¹ establece los principios de la economía circular, los cuales se muestran en la figura 3.

Figura 3. Principios de la economía circular



²⁹ Sostenibilidad para todos. ¿En qué consiste la economía circular? [Sitio Web]. . Sec. Desarrollo sostenible. [Consultado el 17 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/>

³⁰ Ellen McArthur. Op. Cit., P1

³¹ Sostenibilidad para todos. Op. Cit.

Fuente: FUNDACION ELLEN MACARTHUR. Economía Circular. [Sitio Web]. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>

2 MARCO LEGAL

2.1 PROGRAMA POST CONSUMO DE LLANTAS USADAS EN COLOMBIA

El programa pos consumo para llantas usadas en Colombia según el ministerio de ambiente³².comprende:

Llantas usadas: “Este sistema incluye las llantas de vehículos (carros, camiones, buses, camionetas, entre otros) con un rin menor o igual a 22.5. No se incluyen las llantas de motocicletas, bicicletas, vehículos fuera de carretera o de rin superior a 22.5. Las llantas usadas no son consideradas en Colombia como un residuo peligroso, sin embargo requieren ser devueltas a los productores para favorecer el reciclaje, aprovechamiento como agregado asfáltico o el reencauche, así como evitar que sean quemadas en espacios a cielo abierto y como combustible en actividades informales”.

A continuación en el cuadro 3 se muestran los lugares adecuados y no adecuados para depositar las llantas usadas según el Ministerio de Ambiente

Cuadro 3. Sitios adecuados y no adecuados para recolección de llantas usadas según el ministerio de ambiente de Colombia

SITIOS ADECUADOS DE RECOLECCIÓN	SITIOS NO ADECUADOS DE RECOLECCIÓN
---------------------------------	------------------------------------

³² MINISTERIO DE AMBIENTE DE COLOMBIA. Programa pos consumo de Llantas Usadas. [Sitio Web]. CO. [Consultado el 20 de Octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/248-plantilla->

<p>Los establecimientos que pertenecen a los sistemas de recolección de llantas usadas deben cumplir con requisitos técnicos y de seguridad para asegurar que los residuos son manejados de forma segura y adecuada.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tienen medidas de seguridad frente a incendios - Almacenan las llantas de forma ordenada, en sitios cubiertos (no a la intemperie) - Disponen de publicidad visible y documentación que haga alusión a los sistemas y sus responsables. 	<p>Los sitios o personas no autorizadas para recolectar pilas pueden identificarse principalmente porque:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apilan las llantas en sitios descubiertos - No disponen de medidas de seguridad frente a incendios - No disponen de publicidad o material alusivo al Sistema de Recolección Selectiva.
--	--

Fuente: Elaboración propia con base en MINISTERIO DE AMBIENTE DE COLOMBIA. Programa pos consumo de Llantas Usadas. [Sitio Web]. [Consultado el 20 de Octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/248-plantilla->

2.2 OTRAS POLÍTICAS RELACIONADAS

Las políticas que rigen las llantas como un residuo, su gestión y procedimientos necesitan ser actualizadas, y también es necesario que el estado imponga nuevas normas que rijan correctamente los procesos de reciclaje buscando que estos no contaminen el ambiente y si llegan a hacerlo, que no sobrepase límites estrictos de emisiones, desechos o vertimientos. Dentro de las políticas actuales que se han implementado, para las cuales aún hace falta un seguimiento, monitoreo y actualización estricta se encuentra la **RESOLUCIÓN 1326 DE 2017** donde se establecen los sistemas de recolección de llantas, el **ACUERDO 602 DE 2015**, que rige en la ciudad de Bogotá, en el que se promueve la realización del plan estratégico a seguir para el manejo, reutilización y aprovechamiento de llantas usadas. Se encuentra el **DECRETO 442 DE 2015** que también rige en Bogotá en el que se crea el Programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas. Finalmente se encuentra la **RESOLUCIÓN 1457 DE 2010** expedido por la secretaría distrital de hábitat de Bogotá, donde se establecen Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas.

3. ESTADO ACTUAL DEL RECICLAJE DE LLANTAS EN COLOMBIA

3.1 SECTOR LLANTERO EN COLOMBIA

El actual sector llantero colombiano no es el mismo de hace unos años, muchas empresas nuevas han entrado a competir en el mercado más que todo ofreciendo precios bajos. Mucho ha cambiado el mercado llantero en Colombia en los últimos años. Según la Revista Motor “A finales de la década del noventa y comienzos del 2000, Uniroyal, Icollantas-BF Goodrich, Michelin, Pirelli, Bridgestone y Goodyear eran las principales marcas que dominaban el mercado”³³. Complementando lo anterior, El Centro virtual de negocios CVN³⁴ afirma que el sector se ha visto envuelto en varias dificultades en los últimos años que van desde la desaceleración económica del país, como en procesos jurídicos contra las importaciones de llantas chinas y el ingreso de marcas de bajo costo que perjudica a la industria nacional.

La apertura económica del sector en Colombia ha permitido la llegada de las llantas económicas (en especial las provenientes de China), generando decaimientos en la producción de las empresas nacionales y algunos cierres de ciertas plantas en el país y algunas líneas de producción, pues los costos eran demasiado altos y las ventas demasiado bajas.

El centro virtual de negocios (CVN)³⁵ define la composición del mercado de llantas 81% corresponde a llantas para automóviles y camionetas, 19% llantas para buses y camiones. En el caso de la situación de la llegada nuevas marcas y apertura del mercado, el 51% del mercado corresponde a marcas económicas, el 25% marcas Premium o de calidad y 23% marcas de nivel medio. En el año 2019 el mercado de llantas económicas creció 28%, como era de esperarse el de llantas Premium cayó 10% y las marcas medias crecieron 8%.

Conforme a lo afirmado en la sección anterior y de acuerdo con el CVN³⁶ el incremento de la llegada de productos de otros países (en especial China) se debe a que los mismos compradores han permitido su entrada, ya que últimamente buscan productos económicos pero lo que no tienen presentes es que las marcas que ofrecen precios bajos fabrican un producto de baja calidad. Para las empresas Colombianas es difícil competir con las empresas extranjeras ya que el costo de

³³ CASA EDITORIAL EL TIEMPO. Op. Cit., p1

³⁴ CVN. CVN News: Llantas. [Sitio Web]. Enero de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/wp-content/uploads/2019/07/CVN-NEWS-AUTOMOTIVE-N%C2%BA17-2.pdf>

³⁵ CVN. CVN news. Llantas económicas conquistan el mercado colombiano en el 2018. [Sitio Web]. 15 de Marzo de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/llantas/>

³⁶ CVN. Ibíd. p.2

producir en este país no les permite ofrecer precios bajos debido a los impuestos tan altos que deben solventar. El consumidor tiene que mejorar sus hábitos de compra, para poder comprar un producto económico y de no tan mala calidad.

El comportamiento de los segmentos importados y las principales empresas y países importadores, según el informe del centro virtual de negocios CVN se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Segmentos de llantas importadas en Colombia. Enero- Septiembre de 2019

SEGMENTOS IMPORTADOS		
SEGMENTO	PORCENTAJE DE LLANTAS IMPORTADO	CRECIMIENTO
Llantas de Automóvil y camionetas	50,4%	7%
Llantas de camión y bus	49,6%	-8%

Fuente: Elaboración propia con base en: CVN. CVN News: Llantas. [Sitio Web]. Enero de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/wp-content/uploads/2019/07/CVN-NEWS-AUTOMOTIVE-N%C2%BA17-2.pdf>

Debido a los bajos precios (con respecto al producto nacional) y alta comercialización por parte de compañías chinas de llantas importadas debió instaurarse la ley antidumping, una medida de defensa comercial que se lleva a cabo cuando un suministrador extranjero practica precios inferiores a los que aplica en su propio país.

La disminución en las importaciones del segmento camión y bus fue debido a que con la Resolución 0124 del 7 de junio de 2013 el gobierno fijó derechos antidumping del 36.9% para las llantas importadas de China para esta categoría. Las principales importaciones se pueden ver en la tabla 3.

Actualmente, debido al decaimiento del mercado y pérdida de rentabilidad del proceso de producción, grandes plantas como ICOLLANTAS tuvieron que cerrar su producción en Colombia y solamente importar sus productos.

Otras grandes empresas como Goodyear y Hankook Tire Colombia LTDA tienen algunas líneas de producción vigentes y líneas de exportación. Goodyear por su parte, exporta llantas de camión y llantas fuera de carretera para equipo de construcción y equipos de minería. Según la cámara de comercio de Cali³⁷ “En el año 2018, según su director comercial, se estimaban exportar más de 260.000

³⁷ CAMARA DE COMERCIO DE CALI. Goodyear Colombia, campeones de la internacionalización. En: Revista Acción. Cali. CO. 15 de Agosto de 2018. [Sitio Web]. Disponible en: https://www.ccc.org.co/categoria_articulo/goodyear-colombia-campeones-la-internacionalizacion/

llantas para ese año, con miras al crecimiento de este número y fortalecimiento de las cifras en el mercado nacional”.

Tabla 3. Principales importadores de llantas en Colombia por segmentos

COMPAÑÍA	AUTO Y CAMIONETA		BUS Y CAMIÓN	
	IMPORTACIONES (USD\$)	%	IMPORTACIONES (USD\$)	%
ICOLLANTAS S.A	11.7 millones	9,35	22.8 millones	18,46
Hankook Tire Colombia LTDA	10.5 millones	8,4	12.2 millones	
Comercializadora Internacional de Llantas S.A.	10.4 millones	8,3		
Alkosto	6.7 millones	5,30		
Goodyear	6,5 millones	5,22		
Redllantas			12.3 millones	9,98
Autofax			7.7 millones	6,25
Pirelli			7.5 millones	6,06
Otros		63,34		49,33

Fuente: Elaboración propia con base en: CVN. CVN News: Llantas. [Sitio Web]. Enero de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/wp-content/uploads/2019/07/CVN-NEWS-AUTOMOTIVE-N%C2%BA17-2.pdf>

Tabla 4. Principales países proveedores de llantas en Colombia

PAIS	VENTAS (USD\$)	%
China	66 millones	36
Brasil	38.8 millones	16
Tailandia	30 millones	12
Corea del sur	25.9 millones	10
Ecuador	14 millones	6
India	-	4
Japón	-	4
Perú	-	4
México	-	3
USA	-	2
Otros	-	13

Fuente: Elaboración propia con base en: CVN. CVN News: Llantas. [Sitio Web]. Enero de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/wp-content/uploads/2019/07/CVN-NEWS-AUTOMOTIVE-N%C2%BA17-2.pdf>

Teniendo en cuenta las cifras relacionadas con el panorama del mercado nacional, puede identificarse que a pesar de la leyes impuestas para fortalecer los mercados nacionales, los mercados internacionales siguen adentrándose en el comercio de llantas en el país, es decir que no se relaciona el decaimiento de ventas nacionales con la generación posterior del residuo ya que debe tenerse claro que el mercado de llantas en cuanto a cantidad de producto está aumentando considerablemente,

lo que desembocará en una alta cantidad de residuo al que posteriormente se deberá gestionar.

A continuación se muestra una recopilación de información proveniente de fuentes secundarias, la cual servirá como herramienta para poder estimar la cantidad de este residuo que se genera y el porcentaje que se gestiona, esto último tiene en cuenta el porcentaje de neumáticos que se dirigen a procesos de reciclaje.

3.2 ESTADÍSTICAS DE GENERACIÓN RESIDUOS PROVENIENTES DE NEUMÁTICOS EN COLOMBIA

La finalidad de esta sección es brindar un panorama nacional que proporcione cifras sobre las cantidades de neumáticos desechados y cifras de neumáticos reciclados. Las entidades gubernamentales que deberían proporcionar esta información no realizan el seguimiento necesario, no se encontraron artículos científicos o fuentes primarias que arrojaran estas cifras, por esta razón tuvieron que recopilarse fuentes secundarias que pudieran proporcionar indicios para poder hallar cifras.

3.2.1 Estadísticas de llantas desechadas. Para poder tener un panorama nacional de la generación de residuos provenientes de llantas desechadas se recopilaron noticias, informes, tesis entre los años 2011 a la actualidad.

Cardona y Sánchez³⁸ afirman que según el ministerio de ambiente y de acuerdo con las el 1% del total de residuos generados en Colombia son provenientes del caucho, esto para el año 2011. Para el año 2015, según el periódico El Espectador³⁹, se desechaban 5.3 millones de llantas, lo que es equivalente a 100.000 toneladas de caucho. Para este mismo año, la revista de cementos Argos⁴⁰ publicó que en Colombia se generaban entre 110.000 y 130.000 toneladas de neumáticos al año, es decir 7 millones de llantas, la mayoría de estas se llevan a procesos de incineración que es la forma más común y sencilla de deshacerse de ellas. Para el

³⁸ CARDONA y SANCHEZ. Op. Cit., p53

³⁹ AFP. ¿Iglús en Colombia? Sí, pero de llantas de desecho. [Sitio Web]. En: El Espectador. Bogotá D.C. CO. Sec. Nacional. 27 de Marzo de 2015. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/iglus-colombia-si-de-llantas-de-desecho-articulo-551771>

⁴⁰ Argos. Llantas usadas, el combustible de nuestra planta Rioclaro. [Sitio Web]. En: Revista grandes realidades. Bogotá D.C. Sec. Actualidad. Febrero de 2015. [Consultado: 20 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://grandesrealidades.argos.co/llantas-usadas-el-combustible-de-nuestra-planta-rioclaro/>

año 2016, El Espectador⁴¹ nuevamente publicó que se desechan de 20 a 30 millones de llantas y solamente en Bogotá se generaron 4 millones en ese año. Para el año 2018, la revista auto crash⁴² publicó que en Colombia, al año se desechaban 61 mil toneladas de neumáticos (Ver anexo A).

3.2.2 Estadísticas de llantas recicladas y comercializadas. Redacción El tiempo⁴³ para el año 2016, publicó que Colombia tenía capacidad de procesar 10 millones de llantas al año pero solamente se procesa el 20% debido a que los productos no cumplen su cuota de comercialización. Para el año 2016, Fenalco⁴⁴ comunicó la inauguración de la segunda planta de trituración de llantas residuo especial en Colombia. Luego de ser trituradas son usadas como combustible en los hornos de cemento. La revista Dinero⁴⁵ en el año 2017 estimó que para el 2021 la Rueda Verde será el sistema líder en gestión ambiental de llantas usadas, la meta es incorporar 65% de llantas residuales en el mercado (Ver anexo B).

3.3 ESTIMACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL RECICLAJE EN COLOMBIA

Debido a la falta de información sobre la cantidad de llantas recicladas en Colombia y a que existen entidades que regulan pero no realizan seguimiento estadístico a los procesos de reciclaje, se opta por tomar la información de fuentes secundarias que evidencien el estado actual de reciclaje en el país, como se muestra en los cuadros anteriores. Para esto se parte de la premisa (Observas en cuadro 4) sobre el aprovechamiento de las llantas usadas desarrollada por la secretaría distrital de

⁴¹ DURÁN, Miguel Ángel. Llantas, de enemigo a aliado ambiental. [Sitio Web]. En: El Espectador. Bogotá D.C. 17 de Febrero de 2016. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/ciencia/llantas-de-enemigo-aliado-ambiental-articulo-617126>

⁴² Cesvi Colombia. Final al frustrado proceso en la disposición de llantas usadas. [Sitio Web]. En: Revista Auto crash. Bogotá D.C. 1 de Julio de 2018. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.revistaautocrash.com/final-al-frustrado-proceso-la-disposicion-llantas-usadas/>

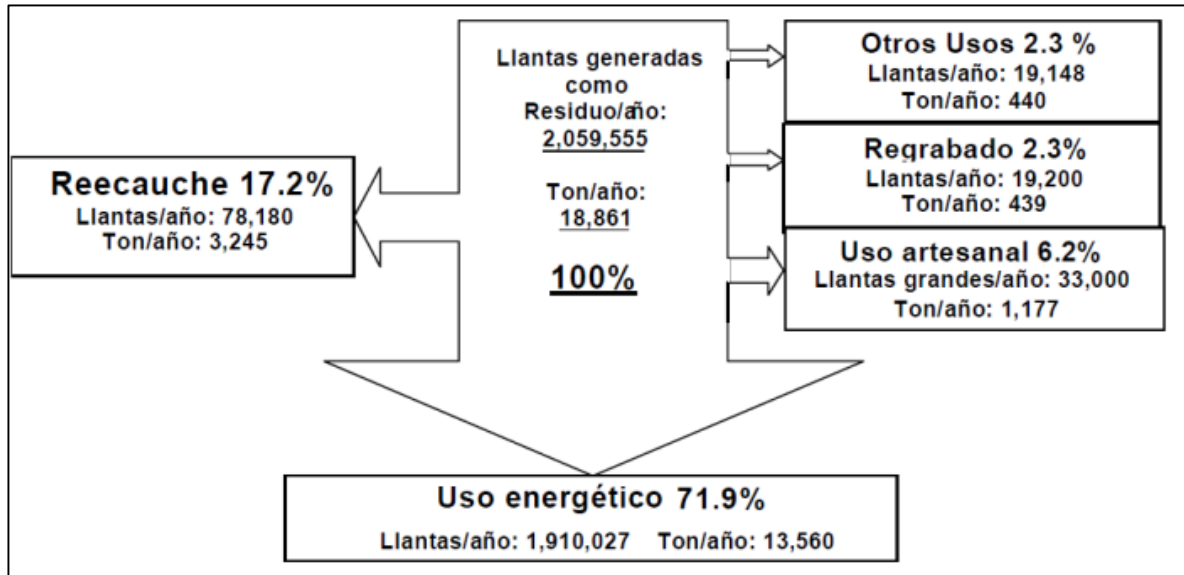
⁴³ Redacción El tiempo. El reciclaje de llantas, un mercado que todavía falta por explorar. [Sitio Web]. En: El tiempo. Bogotá D.C. CO. Sec. Estilo de vida. 24 de Octubre de 2016. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/reciclaje-de-llantas-en-colombia-52722>

⁴⁴ Fenalco. 400 llantas por hora triturará la nueva Planta de Procesamiento de Llantas en Desuso de Madrid, Cundinamarca. Madrid. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fenalcoantioquia.com/400-llantas-por-hora-triturara-la-nueva-planta-de-procesamiento-de-llantas-en-desuso-de-madrid>

⁴⁵ Dinero. Reciclaje de llantas usadas en Colombia [Sitio Web]. En: Revista Dinero. 9 de Octubre de 2017. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: dinero.com/pais/articulo/reciclaje-de-llantas-usadas-en-colombia/249688

ambiente de Bogotá en la cual detalla que del total de llantas desechadas a un 17,2% se le alarga la vida útil a través del reencauche; un 2,3% es sometido a regrabado; otro 2.3% se destina hacia otros usos; un 6,2% se lleva a procesos artesanales y un 71,9% se aprovecha energéticamente.

Cuadro 4 . Distribución del aprovechamiento de llantas usadas en la cadena de gestión (% en Ton)



Fuente: Bogotá D.C. Secretaría Distrital de Ambiente. Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Bogotá. [En Línea]. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>

Se considera que el reciclaje de las llantas usadas es el conjunto de las acciones destinadas a: Uso energético, uso artesanal y otros usos que representan el 80,4% del total de las llantas generadas al año en un país promedio como Colombia. Sin embargo, se especifica que esta información se obtiene de forma indirecta sin poderla contrastar con estadísticas actualizadas sobre el reciclaje de llantas en Colombia.

4. CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECICLAJE DE LLANTAS A TRAVÉS DEL ESTABLECIMIENTO DE LOS CRITERIOS OBTENIDOS DE TENDENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES

4.1 TENDENCIAS NACIONALES E INTERNACIONALES DE RECICLAJE DE LLANTAS

La problemática asociada a la disposición del caucho post consumo y post proceso hizo que los gobiernos comenzaran a implementar de manera cada vez más decidida la formulación e implementación de regulaciones orientadas a disminuir la contaminación generada por este tipo de residuos.

De acuerdo con Peláez Arroyave⁴⁶, es importante destacar que algunas de esas regulaciones incentivan a la industria para que utilice caucho reciclado en sus procesos, tendencia en la cual Taiwán fue pionero en la implementación de ese tipo de normatividad; posteriormente Estados Unidos, Japón y los países de la UE incursionaron en este campo, de tal manera que a hoy son las regiones con el mayor grado de desarrollo en cuanto a legislación sobre esta temática.

El éxito de las alternativas aplicadas en los países desarrollados ha llevado a que los países en vía de desarrollo busquen la implementación de los procesos de reciclaje de llantas y su respectiva legislación, contribuyendo a disminuir la contaminación que este residuo genera. Es un gran número de países que han implementado procesos de reciclaje dentro de los que se encuentran Estados Unidos, México, Ecuador, Brasil, Canadá, España, y las alternativas en crecimiento generadas en Colombia.

Zarin⁴⁷ describe las iniciativas llevadas a cabo en los países nombrados anteriormente. En Ecuador las mayores empresas generadoras del residuo contratan un servicio de recolección que transporta el material a empresas que lo usan como combustible alternativo, las empresas medianas y pequeñas también contratan un servicio de recolección y transporte hacia plantas de aprovechamiento, unas se almacenan para luego ser aprovechadas. Brasil, por otro lado, utiliza los neumáticos para destilar combustibles, esto permite ahorrar materias primas (combustibles fósiles). En Sao Paulo, se utilizan tecnologías para separar los componentes de la parte neumática de la llanta: el acero se vende, el caucho se

⁴⁶ PELÁEZ ARROYAVE, Gabriel Jaime; VELÁSQUEZ RESTREPO, Sandra Milena y GIRALDO VASQUEZ, Diego Hernán. Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. [Sitio Web]. Bogotá D.C. Universidad militar Nueva Granada. 2017. [Consultado: 14 de Enero de 2020]. Disponible en internet: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702017000200027&lng=en&nrm=iso. ISSN 0124-8170. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143>.

⁴⁷ ZARIN. Op. Cit., p21

comercializa en tapetes, calzados, etc. Y el nylon se transforma en productos textiles como tapetes y vestuario pero necesita ser procesado antes.

Por otro lado, Cardona y Sánchez⁴⁸ explican el caso Canadá, donde se cuenta con una planta recicladora (empresa NRI) en Toronto donde se reciclan 200 Ton de caucho anuales, principalmente se produce una mezcla de caucho y fibra, que sirve para fabricar nuevas llantas y otros materiales para automóviles y diques.

Por el lado Europeo se destaca **España**, donde la empresa TIRES SPA⁴⁹ transforma el caucho en nuevos materiales por medio de técnicas de reciclaje, produce gránulos y polvo que permiten la posterior separación de los demás materiales del neumático: acero y fibra textil. Los gránulos obtenidos se usan en automóviles, en la moda, calzado, ganadería sectores de cría, en superficies antishock en los parques públicos, en el sector de la construcción, etc.

Finalmente, en Colombia, más exactamente en Bogotá, según la secretaría distrital de ambiente⁵⁰ Dentro de la cadena de gestión del residuo se dispone para llevar a cabo actividades en sectores como el de reencauche, energético, artesanal, regrabado, entre otros. Cabe destacar que el más alto porcentaje de este residuo se destina para el sector energético (71,9%).

Se ha descubierto una gran cantidad de productos provenientes del proceso de reciclaje del caucho, actualmente varios países, aparte de los mencionados anteriormente, los producen y comercializan; generando no solamente ingresos sino también conciencia ambiental en la población. Algunas de las aplicaciones son:

- Construcción e infraestructura: asfaltos, pavimentos y concreto
- Recuperación del negro de humo presente en el caucho reciclado
- Incineración para producir energía o como combustible en hornos de cemento
- Pisos para áreas recreativas y superficies deportivas, pisos de piscinas
- Aislantes sísmicos
- Aislantes acústicos
- Tratamiento de aguas y soluciones acuosas
- Techos verdes
- Fabricación de celdas de combustible para generación de energía

⁴⁸ CARDONA, SANCHEZ. Op. Cit., p16

⁴⁹ TIRES: Europa reciclaje de neumáticos. [Sitio Web]. España. Disponible en; <http://www.tiresspa.com/es/europa-reciclaje-neumaticos.html>

⁵⁰ Secretaría Distrital de Ambiente. Op. Cit., p4

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE RECICLAJE DE LLANTAS

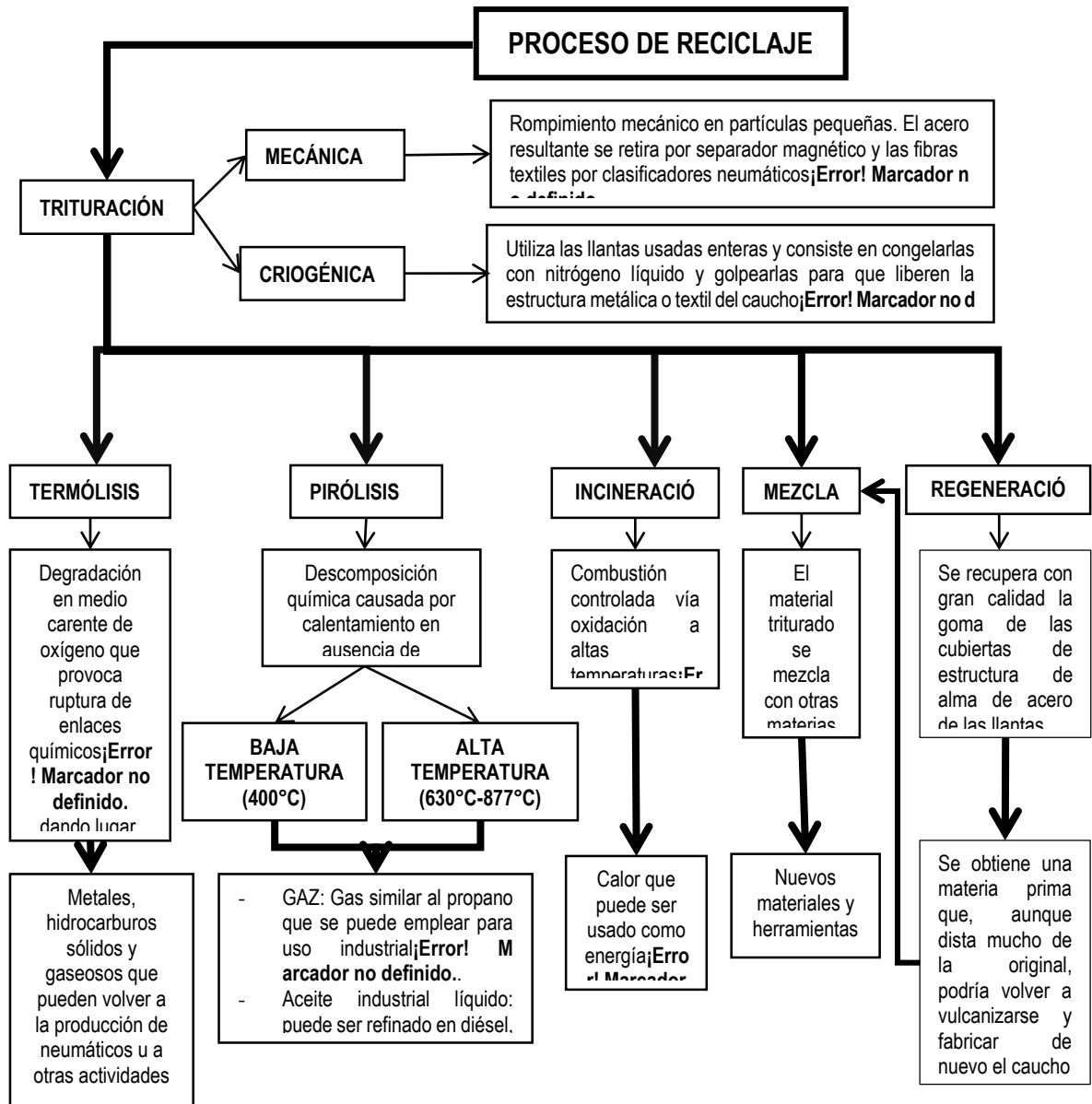
El proceso de reciclaje de llantas consta de los mismos procedimientos a nivel mundial, puede llevarse a cabo en una sola etapa, dos etapas o más de tres, todos los métodos constan de un proceso previo de trituración, las etapas posteriores dependen del producto que se desea obtener.

Una llanta no solamente es caucho, también se compone de una estructura metálica y fibras textiles que necesitan separarse para ser tratadas en las siguientes etapas, es por esto que debe llevarse a cabo la etapa de trituración pues en esta, luego de disminuirse el tamaño de la llanta a partículas pequeñas (el tamaño de partícula también depende de producto que desee obtener), se separa el caucho de los otros componentes, a continuación se muestra un esquema que explica cada una de las etapas del proceso de reciclaje y los productos que se obtienen de cada una de ellas.

En el cuadro 5 se muestra la caracterización del proceso de reciclaje de llantas, cabe destacar que el proceso que encabeza la cadena es el de trituración, es necesario que este se lleve a cabo previo a los siguientes ya que el neumático ocupa mucho espacio y eso representa una complicación. Es necesario disminuir el tamaño del neumático a partículas para optimizar los procesos siguientes.

La trituración puede ser una alternativa independientemente de que tenga que llevarse a cabo previamente a los demás procesos, el caucho pulverizado se utiliza en procesos como pavimentación de carreteras o construcción de parques infantiles.

Cuadro 5. Caracterización del proceso de reciclaje, etapas y algunos productos que se obtienen



Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía.

4.2.1 Trituración Es un proceso mecánico de reducción de tamaño del neumático, el tamaño de partícula resultante y por ende las etapas del proceso dependen del

⁵¹ Huella Urbana. Reciclaje de neumáticos: procesos y usos. [Sitio Web]. En: Revista Huella Urbana. 31 de Octubre de 2017. Disponible en: <http://www.huellaurbana.com/reciclaje-neumaticos-procesos-usos/>

producto que se desea obtener. De acuerdo con Zarin⁵² Es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad, limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones.

4.2.1.1 Trituración mecánica La trituración mecánica es un proceso de bajo costo, cabe destacar que se lleva a cabo a temperatura ambiente y permite la separación de los materiales que componen el neumático, es por esto que se recomienda como proceso previo, independientemente del producto del reciclaje que se busque.

De acuerdo con Rodríguez; **Error! Marcador no definido.** El reciclaje mecánico consta de tres etapas, durante la primera etapa se forman las tiras de neumáticos: proceso de corte, en la segunda etapa el material cortado se comienza a triturar, aquí inicia la separación del acero del neumático utilizando imanes, posteriormente el material restante de caucho se introduce en otro triturador y demás hasta conseguir el tamaño de partícula deseado.

Dependiendo del producto que se desee obtener, puede existir una o dos etapas más en el proceso o por el contrario puede constar de solo la etapa de fragmentación. En la figura 4 se puede observar un ejemplo del proceso de trituración para obtener un grano muy fino.

4.2.1.2 Trituración criogénica La trituración criogénica se lleva a cabo para productos específicos ya que a pesar de ser el mismo procedimiento de la trituración mecánica, este se lleva a cabo a temperaturas muy por debajo de los cero grados para facilitar la reducción de tamaño, pero cabe destacar que su costo es mucho más alto. Según Rodríguez⁵³ este método se lleva a cabo a temperaturas extremadamente bajas mediante el uso de nitrógeno líquido, esto permite una fácil trituración y separación de los materiales que componen los neumáticos pues a estas temperaturas se vuelven quebradizos lo que facilita su trituración.

Zarin⁵⁴ afirma que en la trituración criogénica la temperatura desciende hasta los $-195,8^{\circ}\text{C}$ que corresponden al Nitrógeno líquido y se forma la espuma criogénica, esto ocurre en un túnel de ciclo cerrado que se encuentra completamente aislado, al descender la temperatura el caucho se vuelve frágil y quebradizo. Se obtiene una excelente molienda y también una buena separación de los materiales: acero y fibras textiles.

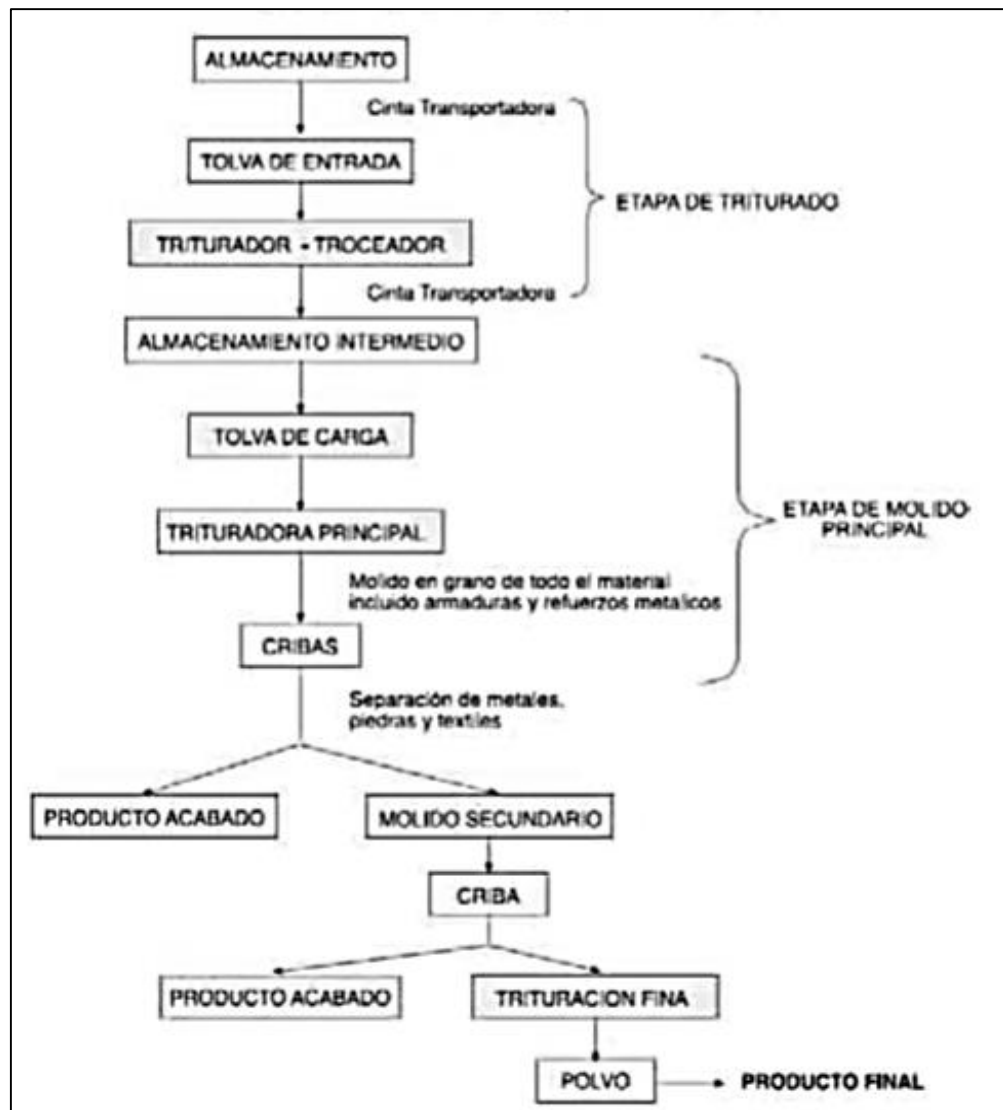
⁵² ZARIN. Op. Cit., p33

⁵⁴ ZARIN. Op. Cit., p34

El proceso de trituración criogénica logra separar completamente y sin contaminar los componentes del neumático con separadores magnéticos, pero la complejidad de cada una de sus y su dispendiosa instalación no ha permitido su implementación en la mayoría de plantas que llevan a cabo reciclaje de neumáticos. El proceso de trituración criogénica se muestra en la figura 5.

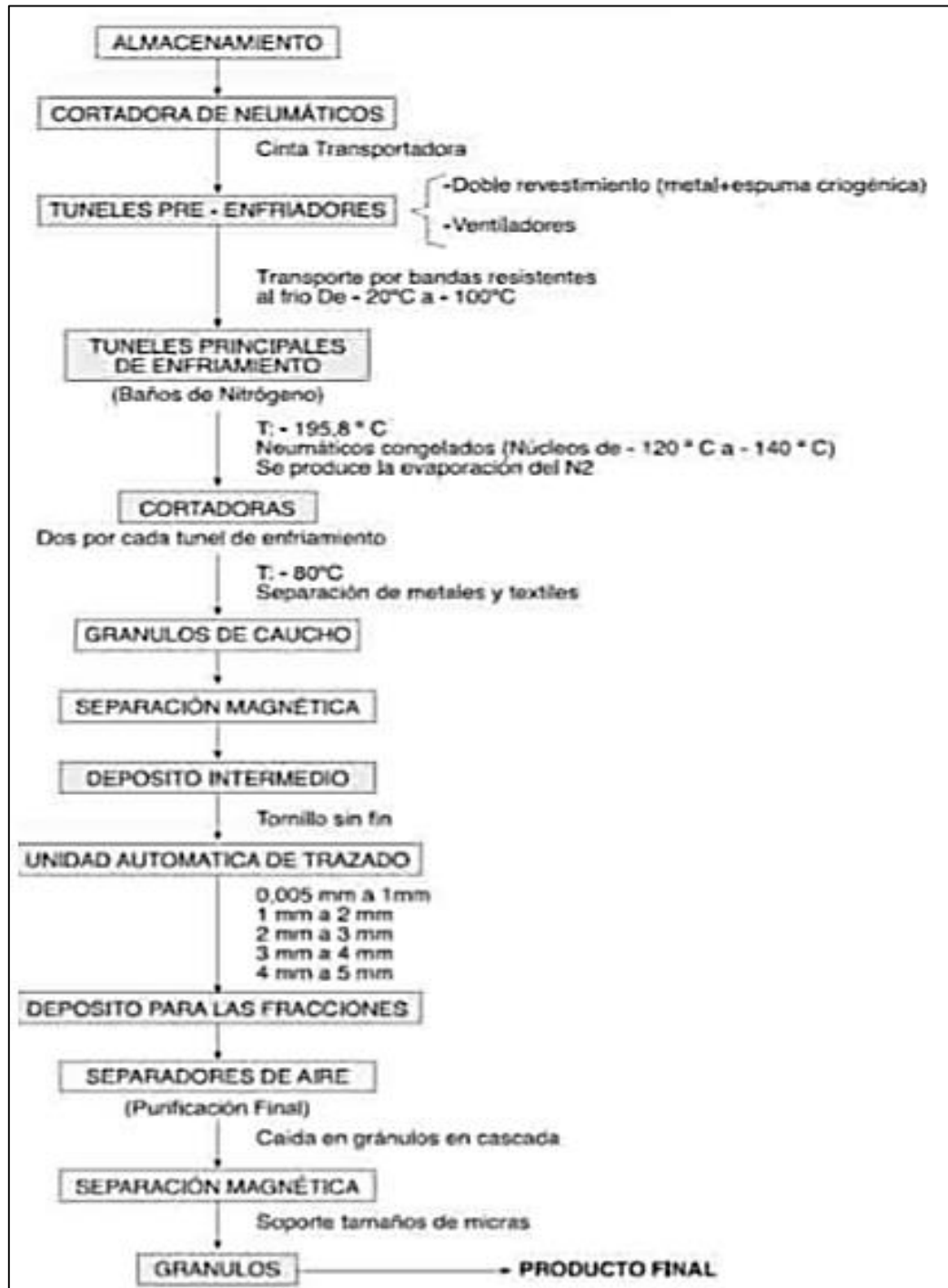
Figura 4. Proceso de trituración mecánica

Fuente: DELARZE DÍAZ, Paulina Alejandra. 2008. Reciclaje de neumáticos y aplicación en la construcción. Universidad de Valdivia, Chile, **Citado por** ZARIN, Andrés, Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto



tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 34.

Figura 5. Proceso de trituración criogénica

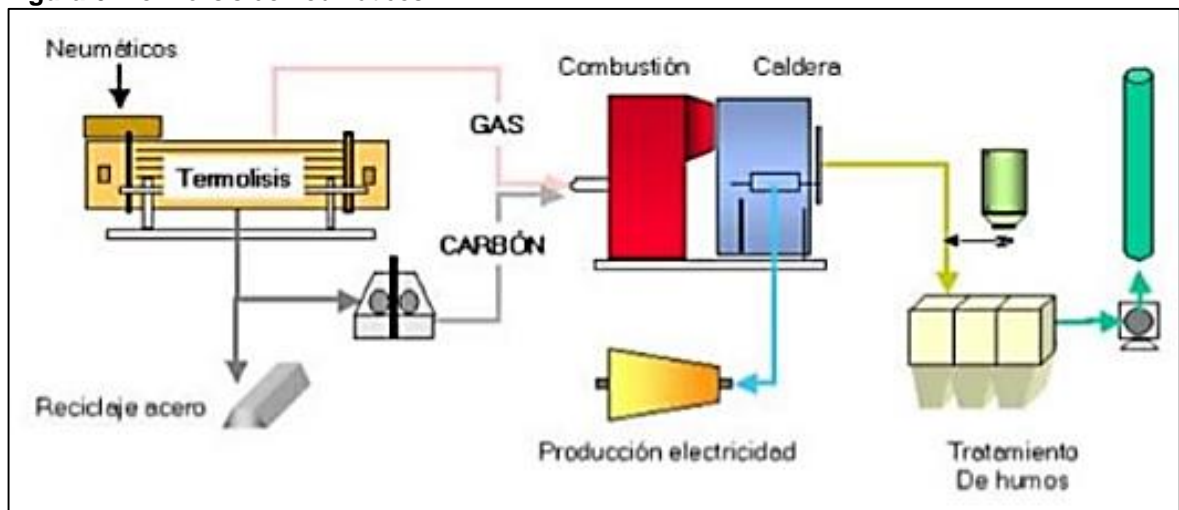


Fuente: DELARZE DÍAZ, Paulina Alejandra. 2008. Reciclaje de neumáticos y aplicación en la construcción. Universidad de Valdivia, Chile, **Citado por** ZARIN, Andrés, Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 35.

4.2.2 Termólisis: “Se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos”⁵⁵. La ausencia de oxígeno impide que se lleve a cabo combustión del neumático, pero si hay un debilitamiento en los enlaces químicos de sus componentes, lo que facilita su separación.

En la termólisis se logran recuperar los componentes del neumático. Zarin⁵⁶ afirma que en este proceso se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden incorporarse de nuevo a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u otros procesos. A continuación en la figura 6 se esquematiza el proceso de termólisis.

Figura 6. Termólisis de neumáticos.



Fuente: Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife. 2008 Neumáticos en Desuso. Tenerife, España, Citado por ZARIN, Andrés, Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 36.

Como se puede observar en la imagen la descomposición del neumático genera gases altamente energéticos, por lo que este proceso se utiliza más que todo para producir energía. Al lograrse la separación completa de los componentes del caucho, el acero puede reinorporarse en otros procesos, ya sea en producción de neumáticos nuevos u otros procesos industriales que lo involucren.

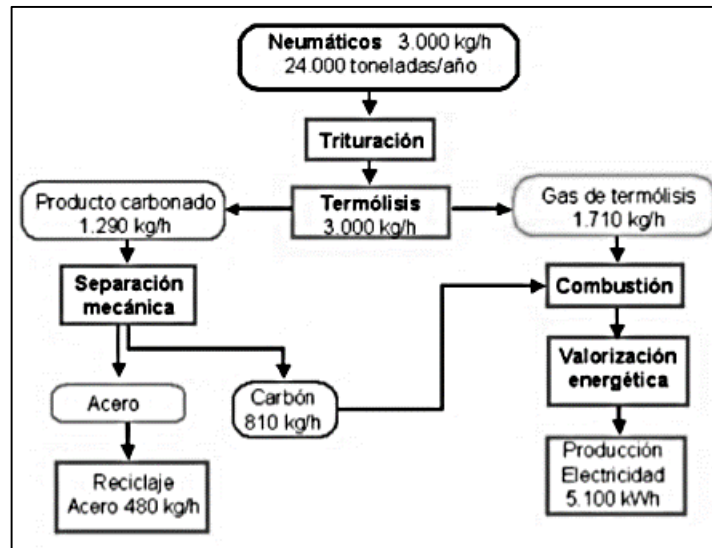
Este proceso no genera emisiones, pero las instalaciones de las plantas de incineración requieren una gran infraestructura para poder funcionar. Sin embargo

⁵⁵ ZARIN. Op. Cit., p36

⁵⁶ ZARIN. Ibíd., p36

su rendimiento es alto, pues genera dos productos de alto valor, el rendimiento se muestra en la figura 7.

Figura 7. Rendimiento del proceso de Termólisis



Fuente: Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife. 2008 Neumáticos en Desuso. Tenerife, España. Citado por ZARIN, Andrés, Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 1.

4.2.3 Pirólisis: Durante el proceso de Pirólisis, se somete el neumático a un calentamiento en ausencia de oxígeno, de acuerdo con Rodríguez⁵³ la concentración de oxígeno puede ser muy baja o nula y también puede haber presencia de vapor de agua para facilitar el aporte de calor.

Zarin⁵⁷ describe que la pirólisis es someter los neumáticos usados a un proceso de trituración y después se llevan a hornos con temperaturas considerablemente altas (600 a 800°C), aunque estas dependen del tipo de pirólisis que se lleve a cabo, todo esto en ausencia de oxígeno. Se obtienen gases pirolíticos y aceites principalmente. Los aceites se trasladan a procesos adicionales para la fabricación de productos secundarios.

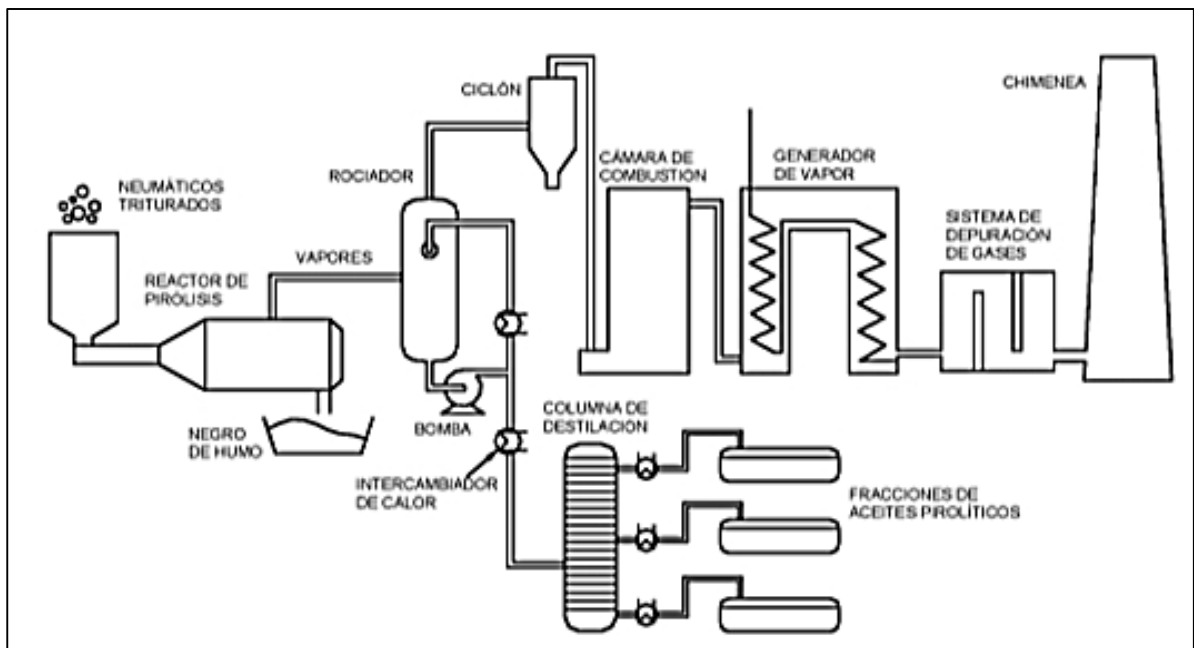
La pirólisis actualmente se lleva a cabo con el fin de recuperar el negro de humo contenido en el neumático y utilizarlo en otros procesos. Zarin⁵⁸ afirma que el aceite y las cenizas se llevan a un horno y las cenizas se convierten en carbón negro de

⁵⁷ ZARIN. *Ibíd.*, p3

⁵⁸ ZARIN. *Ibíd.*, p38

alta calidad, los aceites pueden destilarse y separar sus componentes para un mejor aprovechamiento. El negro de humo recuperado es esencial para la fabricación de neumáticos nuevos, por lo que su mercado está asegurado siempre que se garantice la pureza del producto obtenido. En la figura 8 se muestra un proceso de pirolisis.

Figura 8. Proceso de pirolisis



Fuente: Bedia Motamoros, J.; Rodríguez Mirasol, J.; Cordero. 2004. Reciclado y reutilización de neumáticos usados (y II), Alternativas de recuperación de energía. Departamento de Ingeniería química. ETSI Industriales de Málaga. Málaga, España. Citado por ZARIN, Andrés, Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 1.

A pesar de que el proceso de pirolisis sea muy sofisticado y represente una buena opción para producir combustibles y generar energía y componentes utilizados en otros procesos, teniendo en cuenta a Cardona y Gómez⁵⁹ la pirolisis requiere de una inversión alta, en algunos casos de habla de posibles problemas de emisiones atmosféricas y complejidad a la hora de realizar la separación de la gran variedad de compuestos generados en cantidades mínimas, de tal forma que su recuperación y transporte hasta los puntos de consumo no son económicamente viables.

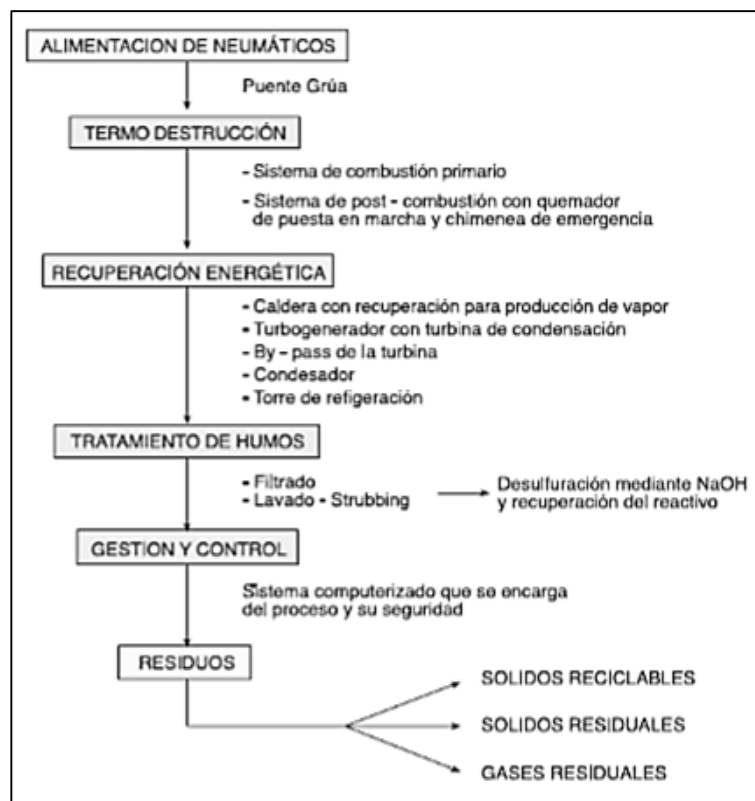
4.2.4 Incineración. La incineración es la quema o combustión del neumático (hay presencia de Oxígeno). Se produce calor que puede ser utilizado como energía y en adición a esto, los neumáticos pueden quemarse sin llevar a cabo trituración,

⁵⁹ CARDONA, SANCHEZ. *Ibíd.*, p61

pero este proceso emite gases peligrosos al ambiente y en adición a esto, es un proceso a diferentes velocidades, Rodríguez⁶⁰ afirma que los compuestos de la formulación del neumático tienen diferentes velocidades de combustión por lo que la generación de energía en forma de calor no será constante y será por un largo tiempo ya que el material del neumático también se demora mucho tiempo en quemarse.

Según Zarin⁶¹ Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana, los que sin embargo, con la aplicación de tecnología pueden ser aprovechados sin que produzcan daños a la salud humana. A continuación en la figura 9 se esquematiza el proceso de incineración de neumáticos.

Figura 9. Incineración de neumáticos



Fuente: Hervás Ramirez, Lorenzo. 2008. Los neumáticos fuera de uso. Capítulo IX. Andalucía, España. Citado por ZARIN, Andrés, Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 1.

⁶⁰ RODRIGUEZ. Op. Cit., p37

⁶¹ ZARIN. Op. Cit., p.39

Rodríguez⁶² afirma que el proceso de incineración genera compuestos de plomo, talio, zinc, cadmio, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos poli cíclicos; sustancias que son altamente tóxicas para la salud humana (cancerígenas) y para el ambiente, también se emiten metales pesados que son igualmente tóxicos y finalmente los residuos finales que se convierten en vertimientos y acaban en el agua acabando con ecosistemas. Si se va a llevar a cabo incineración debe ser monitoreada estrictamente.

4.2.5 Mezcla. El gránulo de caucho obtenido de la trituración se mezcla con otros materiales y proporcionarles nuevas propiedades o reforzar otras. Algunas alternativas son las siguientes:

- “El granulo se mezcla con hormigón y mejora sus propiedades. Actualmente se han abierto nuevos campos de investigación relacionados con el tema”⁶³.
- Según Gómez⁶⁴ Inicialmente se mezclaba con asfalto para construir carreteras, actualmente se utiliza sin mezclarlo con asfalto ya que se ha comprobado que las vías se mantienen por mucho más tiempo sin deformaciones ni huecos, si se comparan con las carreteras de asfalto regular, además proporcionan a los conductores un recorrido más confortable y mejoras en los impactos ocasionados al vehículo en general.
- De acuerdo con Eco Green Equipment⁶⁵ Los pellets de goma que resultan de la trituración de caucho mezclado con resina y colorante se utilizan en los pisos de caballerizas para evitar que los caballos o las vacas se lastimen las patas
- En el trabajo de Cardona y Gómez⁶⁶. se afirma que se utiliza para fabricar pisos y piezas decorativas de interiores.
- Zarin⁶⁷ afirma que se utiliza caucho recuperado de procesos de regeneración y se mezcla con caucho virgen en ciertas proporciones, azufre y otros productos en calderas de vapor de agua para volver a ser vulcanizado

4.2.6 Regeneración: La regeneración es la recuperación del caucho utilizado en el neumático a reciclar. El proceso consta de dos etapas. Las cuales se muestran en el cuadro cinco.

⁶² RODRIGUEZ. Op. Cit., p37

⁶³ ECO Green Equipment. Gránulo de caucho y sus aplicaciones. [Sitio Web]. 4 de Febrero 2018. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en: <https://ecogreenequipment.com/es/el-granulo-de-caucho-y-sus-distintas-aplicaciones/>

⁶⁴ GÓMEZ. Op., Cit.

⁶⁵ ECO GREEN EQUIPMENT. Op., Cit.

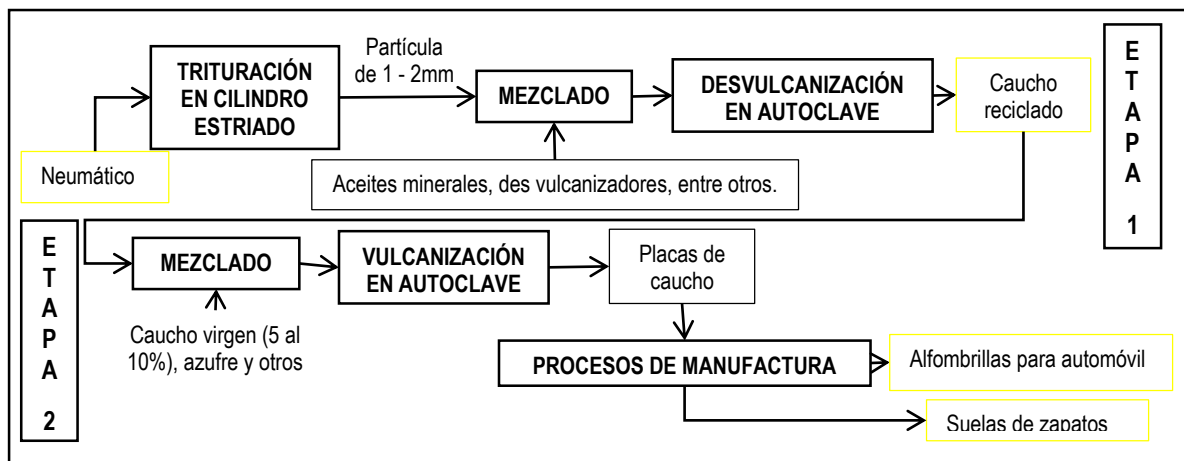
⁶⁶ CARDONA Y GÓMEZ. Op. Cit., p1

⁶⁷ ZARIN. Op. Cit., p43

En la primera etapa el neumático se tritura, se mezcla con aceites y otras sustancias desvulcanizantes, luego se lleva a vulcanización y se obtiene caucho reciclado, que tiene como características ser un material blando y pegajoso equivalente al caucho virgen. De acuerdo con Zarin⁶⁸ las normas que rigen las mezclas que contienen caucho cada vez son más estrictas, por esto la utilización de caucho reciclado no es igual que la del caucho convencional, sin embargo se ha incluido en algunos procesos como fabricación de otros productos de caucho y cubiertas macizas para vehículos. En otros casos se mezcla con caucho virgen, la mezcla se lleva a vulcanización para obtener alfombras para automóviles, suelas de zapatos, etc.

Los tratamientos que se pueden llevar a cabo para disminuir el desecho ocasionado por neumáticos son muchos y actualmente se han descubierto más, sin embargo su baja rentabilidad hace que no se implementen en la mayoría de los casos. Los procesos de tratamiento que se nombraron anteriormente son los más utilizados en la actualidad y los que generan una buena rentabilidad, sin embargo hay que destacar que aún hace falta mucha investigación en el tema.

Cuadro 6. Regeneración de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia con base en ZARIN, Andrés. Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 1. [Consultado: 19 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: Repositorio Educativo digital ITBA: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/507>

Los procesos que se llevan a cabo para gestionar los residuos de neumáticos son los mismos a nivel mundial, la diferencia entre países radica en las tecnologías en cuanto a equipos y mano de obra utilizados; por esta razón para determinar el camino más óptimo para el reciclaje de llantas en Colombia, se analizarán las ventajas y desventajas de cada uno y se elegirá la mejor alternativa con base en los objetivos del desarrollo sostenible.

⁶⁸ ZARIN. Op. Cit., p43

5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS: PROCESOS Y PRODUCTOS

El reciclaje de llantas se puede llevar a cabo por la implementación de varios procesos, en este caso se eligieron seis, los cuales fueron nombrados y descritos en el capítulo anterior, el objetivo de este capítulo es evaluar cada uno de estos procesos y elegir el más óptimo, teniendo en cuenta pilares de sostenibilidad como la logística inversa y la economía circular.

Para el presente proyecto una alternativa óptima se define como aquella que contribuye de la mejor forma o en mayor magnitud a la categoría ambiental del desarrollo sostenible, teniendo en cuenta los elementos que establece la metodología P5, la cual se definirá más adelante.

5.1 METODOLOGÍA P5

El P5, también llamado “Estándar P5 de GPM global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos”.

Según el informe de GPM (Green Project Management)⁶⁹:

“Se define como una herramienta que brinda soporte para la alineación de portafolios, programas y proyectos con la estrategia organizacional para la Sostenibilidad y se centra en los impactos de los procesos y entregables de los proyectos en el Medio Ambiente, en la Sociedad, en la línea base corporativa y en la economía local”.

“P5 significa Personas, Planeta, Prosperidad, Proceso y Producto”⁷⁰. La metodología P5 permite analizar la viabilidad de un proyecto teniendo en cuenta las cinco palabras asociadas a p5 nombradas anteriormente, que se denominan INDICADORES P5. Esta metodología se alinea con los objetivos del desarrollo sostenible, el pacto mundial y adicional los informes GRI.

Una matriz P5 permite identificar y esquematizar:

- Los impactos de los productos a partir del resultado del proyecto
- Los impactos de los procesos a partir del enfoque
- Indicador sociedad: Personas
- Indicador medio ambiente: Planeta
- Indicador Económico: Prosperidad

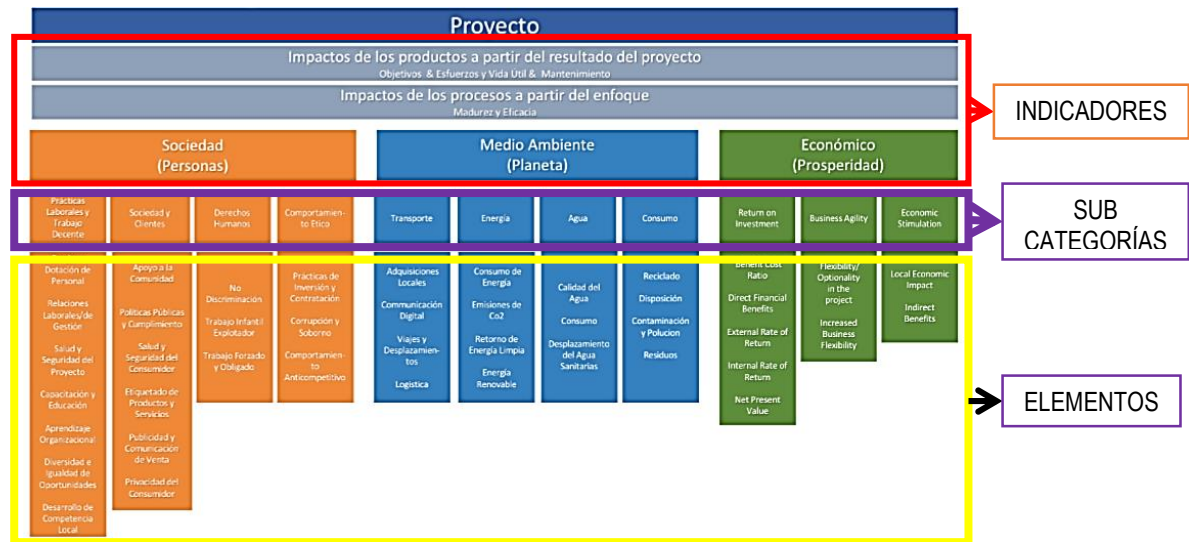
Los últimos tres indicadores nombrados anteriormente se dividen en sub categorías y a la vez en elementos que componen cada una, así se logra una evaluación

⁶⁹ Green Project Management. Op. Cit., p5

⁷⁰ Green Project Management. Estándar P5 de GPM Global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. [Sitio Web]. Estados Unidos. 2019. Versión: 1.5.1. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en: greenprojectmanagement.org

concreta, la cual tiene en cuenta todos los aspectos que pueden afectar y ser afectados por el proyecto. El esquema completo se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Metodología P5



Fuente: Green Project Management. Estándar P5 de GPM Global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. [Sitio Web]. Estados Unidos. 2014. Versión: 1. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en: greenprojectmanagement.org

Teniendo en cuenta el enfoque del presente proyecto se evaluará solamente el indicador relacionado con el Medio Ambiente (Planeta), el cual se muestra a continuación en el cuadro 8. En la metodología P5 se asigna una puntuación para cada elemento entre -3 y 3, el significado de cada puntaje se muestra en la tabla 5.

De acuerdo con lo anterior, se evaluó cada uno de los procesos de reciclaje teniendo en cuenta los elementos de la matriz; se evaluó la trituración como un proceso independiente y también como un proceso previo, como se explicó anteriormente.

Cuadro 8. Metodología P5: Medio Ambiente

Medio Ambiente (Planeta)			
Transporte	Energía	Agua	Consumo
Adquisiciones Locales	Consumo de Energía	Calidad del Agua	Reciclado
Comunicación Digital	Emisiones de Co2	Consumo	Disposición
Viajes y Desplazamientos	Retorno de Energía Limpia	Desplazamiento del Agua Sanitarias	Contaminación y Polucion
Logistica	Energía Renovable		Residuos

Fuente: Green Project Management. Estándar P5 de GPM Global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. [Sitio Web]. Estados Unidos. 2014. Versión: 1. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en: greenprojectmanagement.org

Tabla 5. Valoración matriz P5

VALORACIÓN	
+3	Impacto negativo alto
+2	Impacto negativo medio
+1	Impacto negativo bajo
0	No aplica o Neutral
-3	Impacto positivo alto
-2	Impacto positivo medio
-1	Impacto positivo bajo

Fuente. Green Project Management. Estándar P5 de GPM Global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. [Sitio Web]. Estados Unidos. 2014. Versión: 1. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en: greenprojectmanagement.org

5.2 TABLA DE EVALUACIÓN

Tabla 6a. Matriz P5

PROYECTO		INICIATIVAS DE RECICLAJE DE LANTAS EN COLOMBIA						
FECHA DE ELABORACIÓN		30/01/2020						
ELABORADO POR		Manuela Valentina Vega						
INDICADORES P5	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	ELEMENTOS	TRITURACIÓN MECÁNICA (SOLO)	TRITURACIÓN CRIOGÉNICA (SOLO)	TERMOLISIS	JUSTIFICACIÓN	
1	MEDIO AMBIENTE	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	Transporte	Proveedores locales	0,00	0,00	0,00	N/A
				Comunicación digital	-2,00	-1,00	-1,00	5.3.1
				Viajes	-3,00	-1,00	2,00	5.3.2
				Transporte	-3,00	-1,00	2,00	5.3.3
			Energía	Energía usada	3,00	2,00	1,00	5.4.1
				Emisiones /CO2 por la energía usada	-1,00	3,00	2,00	5.4.2
				Retorno de energía limpia	0	0	-2,00	5.4.3
			Residuos	Reciclaje	-3,00	-3,00	-3,00	5.5.1
				Disposición final	-3,00	-3,00	-3,00	5.5.2
				Reusabilidad	-3,00	-3,00	-2,00	-
				Energía incorporada	0,00	2,00	0,00	5.5.3
				Residuos	-3,00	-3,00	-3,00	5.5.4
			Agua	Calidad del agua	1,00	1,00	2,00	5.6
				Consumo del agua	1,00	1,00	2,00	5.6
			TOTAL				-16,00	-6,00

Fuente. Elaboración propia

Tabla 6b. Matriz P5

PROYECTO	INICIATIVAS DE RECICLAJE DE LANTAS EN COLOMBIA										
FECHA DE ELABORACIÓN	30/01/2020										
ELABORADO POR	MANUELA VALENTINA VEGA										
INDICADORES P5	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	ELEMENTOS	PIROLISIS	INCINERACIÓN	MEZCLA	REGENERACIÓN	JUSTIFICACIÓN			
2	MEDIO AMBIENTE	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL	Transporte	Proveedores locales	0,00	0,00	0,00	0,00	N/A		
				Comunicación digital	1,00	-3,00	-3,00	1,00	5.3.1		
				Viajes	3,00	3,00	-3,00	-1,00	5.3.2		
				Transporte	3,00	3,00	-3,00	-1,00	5.3.2		
			Energía	Energía usada	2,00	3,00	3,00	2,00	5.4.1		
				Emisiones /CO2 por la energía usada	-1,00	3,00	-3,00	-3,00	5.4.2		
				Retorno de energía limpia	1,00	3,00	0,00	0,00	5.4.3		
			Residuos	Reciclaje	-3,00	2,00	-3,00	-3,00	5.5.1		
				Disposición final	1,00	2,00	-3,00	-2,00	5.5.2		
				Reusabilidad	-2,00	-3,00	-3,00	-3,00	-		
				Energía incorporada	0,00	3,00	0,00	0,00	5.5.3		
				Residuos	1,00	3,00	-3,00	-3,00	5.5.4		
			Agua	Calidad del agua	2,00	1,00	1,00	2,00	5.6		
				Consumo del agua	2,00	1,00	1,00	2,00	5.6		
			TOTAL				10,00	21,00	-19,00	-9,00	

Fuente. Elaboración propia

5.3 ARGUMENTACIÓN: SUB CATEGORÍA TRANSPORTE

5.3.1 Comunicación digital. Los procesos de reciclaje por lo general se comunican ya que esto les trae beneficios a las compañías que los llevan a cabo en sus plantas; también se comunica que se llevan a cabo, en búsqueda de una concientización ambiental en los consumidores de neumáticos, por lo general el ministerio de ambiente publica constantemente los puntos de recolección de los neumáticos y cuántos de estos son procesados, Las empresas por su parte publican el porcentaje de residuos que reciclan, el proceso que más comunican en el caso Colombia es la trituración mecánica puesto que es el que más se lleva a cabo y también la incineración.

5.3.2 Viajes y transporte. En Colombia, las plantas de reciclaje de llantas se encuentran retiradas de la ciudad ya que un porcentaje de estos residuos se incinera y los gases que produce son altamente contaminantes. La trituración mecánica y mezcla obtuvieron el puntaje más negativo (el mejor), ya que no se requiere de grandes viajes ni largas distancias, de hecho este tipo de reciclaje por lo general se incorpora en otros procesos ya que las empresas cuentan con la tecnología necesaria.

Por otro lado a regeneración tuvo un puntaje de -1 porque en este caso las mismas plantas que manufacturan las llantas son las mismas que llevan a cabo este proceso ya que cuentan con las herramientas adecuadas, sin embargo en Colombia esto no es muy común, como ya se dijo anteriormente, según afirma Zarin⁷¹ por algunas normativas que lo impiden.

En cuanto a la trituración criogénica, anteriormente se dijo que casi no se lleva a cabo en Colombia por su alto costo. Procesos como incineración, termólisis y pirolisis deben estar retirados y requieren largos viajes y transporte de material debido a los gases, vapores y humos que generan y la infraestructura que requieren las plantas para un buen funcionamiento.

5.4 ARGUMENTACIÓN: SUB CATEGORÍA ENERGÍA

5.4.1 Energía usada. La cantidad y la forma de energía utilizada depende del proceso y la cantidad de energía que consumirá el producto depende de lo que se quiere obtener. En cuanto a la trituración mecánica, dependiendo del tamaño de partícula al que se quiera llegar, entre más fino sea, más energía debe gastarse pues el proceso debe constar de más etapas, en este caso se valorará teniendo en cuenta la búsqueda de un grano fino.

⁷¹ ZARIN. Op. Cit., p43

En el caso de la trituración criogénica, el gasto energético es alto, según Zarin⁷² se utiliza energía para enfriar el neumático y esta proviene de baños de nitrógeno, que se realizan en túneles y estos se encuentran al vacío, posteriormente el material se corta y se lleva a separación magnética.

En la pirolisis el gasto energético es alto debido a que en primer lugar, el proceso es muy complejo; en segundo lugar, debe elevarse demasiado la temperatura (ver capítulo 2) y evitar a toda costa la presencia de oxígeno y por último se requiere de un proceso previo de trituración.

En la termólisis el gasto energético también es alto, se necesita también de un proceso previo de trituración⁷³, según la figura 3 mostrada en el capítulo anterior, el debilitamiento de los enlaces se lleva a cabo en intercambiadores de calor y por lo general esta energía no proviene de fuentes renovables, por otro lado en la caldera donde se genera energía se utiliza carbón (que se genera dentro de la etapa anterior).

En la incineración la quema de llantas se hace en plantas cementeras cuyo combustible por lo general es el carbón, además que la combustión de neumáticos es un proceso que no tiene una velocidad uniforme⁷⁴. La energía utilizada en los procesos de mezcla dependerá del producto que se quiera obtener, pues depende del proceso de trituración que se lleve a cabo, este caso se valorará teniendo en cuenta el grano más fino. Finalmente la regeneración tiene un valor alto debido a que se requiere de desvulcanizar y volver a vulcanizar el material.

5.4.2 Emisiones/co2 por energía usada. La valoración más alta en este aspecto la obtiene la incineración y pirolisis, pues la combustión a cielo abierto genera alta cantidad no solamente de dióxido de carbono, óxido de nitrógeno, COVs, dioxinas, furanos, cloruro de hidrógeno, benceno, PCBs (Bifenilos policlorados); y metales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo y vanadio⁷⁵.

Por otro lado la pirolisis genera mezcla de gases que son depurados y emitidos al ambiente. La trituración y mezcla no generan como tal emisión directamente de dióxido de carbono, pero sí de material particulado.

5.4.3 Retorno de energía limpia. De los tipos de trituración no hay información de retorno del producto como energía limpia, pues lo que se busca es darle un nuevo

⁷² ZARIN. Op. Cit., p35

⁷³ CARDONA Y GÓMEZ. Op. Cit., p61

⁷⁴ RODRÍGUEZ. Op. Cit., p37

⁷⁵ CARDONA Y GÓMEZ. Ibid., p61

uso al producto. La energía se genera en algunos casos como un producto “secundario” debido a los gases que se generan, como es el caso de la termólisis, por eso se le dio un puntaje de -2.

En el caso de la pirolisis, se le dio un puntaje de -1 debido a que algunos de los aceites que se producen son utilizados como combustibles, pero no como energía limpia; sin embargo hay que destacar que se producen gases que, aunque se tratan, son emitidos; sería recomendable utilizarlos con fines energéticos.

La incineración se lleva a cabo con fines netamente energéticos, aunque los gases generados por la incineración se utilizan para generar energía, se califica de forma negativa ya que los gases son altamente tóxicos y contaminantes. En el caso de los procesos de mezcla no se ha encontrado información de que los productos se utilicen para fines energéticos. Por último, en la regeneración, se recupera el material completamente y se utiliza para materiales nuevos, no para producir energía.

5.5 ARGUMENTACIÓN: SUB CATEGORÍA RESIDUOS

5.5.1 Reciclaje. Todos los procesos analizados tienen la tendencia del reciclaje de neumáticos. Sin embargo algunos difieren en puntuación debido a su orientación final, por ejemplo en el caso de la incineración, este proceso se lleva a cabo para “deshacerse” del neumático. Como afirma el ministerio de ambiente³² algunos entes utilizan los vapores generados para producir energía, pero estos son altamente contaminantes.

5.5.2 Disposición final. En procesos como trituración, mezcla, regeneración y termólisis, todos los productos tienen disposición final, por eso tienen la puntuación más alta; en el caso de la regeneración, se le dio un -2 debido a que los productos no son directamente incorporados sino que se hacen mezclas con materiales vírgenes, todo esto por cuestiones legislativas.

Están los procesos de pirólisis donde no todos los productos extraídos tienen disposición final, con se refiere a los gases generados. Por último, la incineración aunque destruye el residuo, genera calor que, aunque esté lleno de gases contaminantes, es usado como energía.

5.5.3 Energía incorporada. No hay información de fuentes renovables para los procesos de trituración, pirolisis, regeneración, mezcla. Se dio un puntaje positivo para termólisis, ya que según la figura 3 se utiliza carbón como combustible. Por otro lado, también se dio un puntaje positivo para la incineración ya que el combustible de los hornos cementeros donde se lleva a cabo este proceso también es carbón o en algunos casos combustibles como diésel.

5.5.4 Residuos. Procesos como trituración, mezcla, regeneración y termólisis no generan residuos significantes. Por otro lado, la pirólisis genera vapores que son emitidos por chimenea. Finalmente, la incineración genera residuos como material particulado y el material que queda del caucho luego de ser incinerado.

5.6 ARGUMENTACIÓN: SUB CATEGORÍA AGUA

Para los procesos evaluados no se encontró información sobre el consumo y las afectaciones a la calidad del agua, sin embargo se dio una puntuación entre 1 y 2 dependiendo de la complejidad de cada proceso. Esto se añade a los procedimientos de lavado de equipos y aseo de las plantas, el valor es mayor, entre más complejo sea el proceso y amplia sea la infraestructura, como es el caso de los procesos de pirolisis, termólisis y regeneración.

5.7 RESULTADO

Finalmente, con ayuda de la metodología P5 se evaluó cada uno de los procesos de reciclaje de neumáticos de acuerdo con la tabla 12, el proceso más perjudicial es la incineración, a pesar de que se puede generar energía, no es energía limpia, los gases son tóxicos y para los residuos no hay un tratamiento adecuado. Por otro lado las mejores puntuaciones fueron las obtenidas por los procesos de trituración mecánica y mezcla, se puede afirmar que estos son los menos perjudiciales para el ambiente y logran incorporar sus resultados en el ciclo del neumático.

6. CONCLUSIONES

- Para la construcción de esta monografía no hubo suficiente información disponible sobre el reciclaje de llantas usadas en Colombia. Sin embargo durante la búsqueda de información se encontraron cifras aisladas provenientes de fuentes secundarias sin encontrar ningún documento oficial que recopilara la información sobre el porcentaje de llantas recicladas a nivel nacional o regional por lo cual se procedió a una aproximación diferente para su cálculo.
- De acuerdo con la distribución del aprovechamiento de llantas usadas en la cadena de gestión que desarrolló la secretaría distrital de ambiente en el año 2006, se encontró que del total de llantas desechadas en Bogotá y proyectadas a nivel nacional el 80,4% son destinadas a reciclaje, un valor muy alto si se considera la falta de gestión a nivel nacional, dentro de este porcentaje se consideran el uso energético, uso artesanal y otros usos. El porcentaje restante (19,6%) corresponde a llantas destinadas a procesos de reencauche y regrabado, que son procedimientos que alargan la vida útil del neumático pero no acaban con el problema del residuo que se genera.
- El problema de los neumáticos crece a niveles exponenciales y a la vez también se descubren nuevas alternativas para su correcta gestión, algunos países como Ecuador, México, Estados Unidos, Canadá, Brasil, España, entre otros han incorporado procesos y políticas reciclaje que han propiciado un lucro económico alto en toda la cadena de gestión.
- Los procesos de reciclaje de llantas que se llevan a cabo a nivel mundial son: Trituración (puede ser mecánica o criogénica), termólisis, pirólisis, incineración, mezcla con otros materiales y regeneración. De acuerdo con la metodología P5, los procesos que presentan mayores estándares de sostenibilidad fueron los de mezcla y trituración mecánica. Por otro lado el proceso más perjudicial y menos sostenible es el de incineración.
- A pesar de que la incineración es el proceso menos sostenible, en Colombia es el que se realiza en mayor proporción. Mientras que procesos como termólisis, pirolisis y regeneración no se llevan a cabo debido a la complejidad de las instalaciones y las tecnologías requeridas. Finalmente, los procesos de mezcla con otros materiales son iniciativas que hasta ahora se están abriendo camino, como es el caso de la construcción de carreteras, adecuación de parques infantiles, construcción y fabricación de suelas de zapatos y pisos decorativos.

7. RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta la falta de información, si se quiere profundizar en el tema se recomienda llevar a cabo una investigación experimental, la recolección de muestras cualitativas y cuantitativas permite obtener un análisis más detallado y adicionalmente un aporte a los vacíos de información.
- Las entidades gubernamentales no cuentan con documentos que aporten cifras exactas de los porcentajes de reciclaje y los procesos detallados que se llevan a cabo en el país, es recomendable que las entidades estatales implicadas como el ministerio de ambiente y las corporaciones autónomas regionales designen personal dedicado a la investigación y desarrollo del tema de reciclaje de neumáticos.
- Se recomienda llevar a cabo un análisis experimental en cuanto a costos, ya que no se encontró información relacionada con este aspecto, si se realiza un correcto muestreo pueden llegar a cuantificarse los costos de los procesos de trituración e incineración y adicionalmente puede determinarse las utilidades netas para las entidades que llevan a cabo estos procesos.

BIBLIOGRAFÍA

AFP. ¿Iglús en Colombia? Sí, pero de llantas de desecho. [Sitio Web]. En: El Espectador. Bogotá D.C. CO. Sec. Nacional. 27 de Marzo de 2015. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/iglus-colombia-si-de-llantas-de-desecho-articulo-551771>

ANDI. El Comité de Llantas construye Más País. [En Línea]. 21 de Julio de 2017. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/15596-el-comite-de-llantas-construye-mas-pais>

Argos. Llantas usadas, el combustible de nuestra planta Rioclaro. [Sitio Web]. En: Revista grandes realidades. Bogotá D.C. Sec. Actualidad. Febrero de 2015. [Consultado: 20 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://grandesrealidades.argos.co/llantas-usadas-el-combustible-de-nuestra-planta-rioclaro/>

ASOCIACION NACIONAL DE MOVILIDAD SOSTENIBLE. Sector Automotor arranca con 15.965 unidades matriculadas. [Sitio Web]. Bogotá D.C.CO. Sec. Movilidad. Publicaciones. Enero 2019: [Consultado 2, Agosto, 2019]. Disponible en: <https://www.andemos.org/index.php/2019/02/01/enero-2019-sector-automotor-arranca-con-15-965-un-matriculadas/>

BALI, Basilio. La Logística Reversa o Inversa, Aporte al Control de Devoluciones y Residuos en la Gestión de la Cadena de Abastecimiento. En: Revista Científica Ingeniería y Desarrollo. 2017. Vol. 35, No 2. 12p.

CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Guía para el manejo de llantas usadas. [Sitio Web]. Primera edición. Septiembre de 2006. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en[-: <https://drive.google.com/file/d/1hJnzA88pOg-ZsWFiUKhO717Z-AneGjjG/view>

CAMARA DE COMERCIO DE CALI. Goodyear Colombia, campeones de la internacionalización. En: Revista Acción. Cali. CO. 15 de Agosto de 2018. [Sitio Web]. Disponible en: https://www.ccc.org.co/categoria_articulo/goodyear-colombia-campeones-la-internacionalizacion/

CAMARGO, S., et. al. Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas. En: Revista Científica Ingeniería y Desarrollo. [Repositorio Uninorte]. Barranquilla. Vol. 35. Nro. 2. p. 362 2017. ISSN: 2145-9371. [Consultado el 16, Noviembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.2.10165>

CARDONA, L. y SÁNCHEZ, L. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos [Repositorio Digital UDEM]. Tesis para obtener especialización en PML. Medellín. Universidad de Medellín. p. 11. 2011 [Consultado: 19 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/375/Aprovechamiento%20de%20llantas%20usadas%20para%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20piso%20decorativos.pdf?sequence=1>

CASTRO, G. Materiales y compuestos para la industria del neumático [Repositorio Digital]. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A. p.1-57. 2008. [Consultado 24, Octubre, 2019]. Disponible en internet: Repositorio Educativo Digital UBA: https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf

CVN. CVN News: Llantas. [Sitio Web]. Enero de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/wp-content/uploads/2019/07/CVN-NEWS-AUTOMOTI-VE-N%C2%BA17-2.pdf>

CVN. Llantas económicas conquistan el mercado colombiano en el 2018. [Sitio Web]. 15 de Marzo de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/llantas/>

Dinero. El promisorio futuro del negocio de las llantas en Colombia. [En Línea]. En: Revista Dinero. 27 de Abril de 2017. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/cifras-del-mercado-de-las-llantas-en-colombia-2017/244544>

Dinero. Reciclaje de llantas usadas en Colombia [Sitio Web]. En: Revista Dinero. 9 de Octubre de 2017. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: [dinero.com/pais/articulo/reciclaje-de-llantas-usadas-en-colombia/249688](https://www.dinero.com/pais/articulo/reciclaje-de-llantas-usadas-en-colombia/249688)

DURÁN, Miguel Ángel. Llantas, de enemigo a aliado ambiental. [Sitio Web]. En: El Espectador. Bogotá D.C. 17 de Febrero de 2016. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/ciencia/llantas-de-enemigo-aliado-ambiental-articulo-617126>

"Ellen MacArthur fundación. Economía Circular. [En línea]. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>
Sostenibilidad para todos. Op. Cit.

Fenalco. 400 llantas por hora triturará la nueva Planta de Procesamiento de Llantas en Desuso de Madrid, Cundinamarca. Madrid. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fenalcoantioquia.com/400-llantas-por-hora-triturara-la-nueva-planta-de-procesamiento-de-llantas-en-desuso-de-madrid>

Final al frustrado proceso en la disposición de llantas usadas. [Sitio Web]. En: Revista Auto crash. 1 de Julio de 2018. [Consultado: 20 de N AFP. ¿Iglús en Colombia? Sí, pero de llantas de desecho. [En línea]. En: El Espectador. Bogotá D.C. 27 de Marzo de 2015. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/iglus-colombia-si-de-llantas-de-desecho-articulo-551771>

ANDI. El Comité de Llantas construye Más País. [En Línea]. 21 de Julio de 2017. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.andi.com.co/Home/Noticia/15596-el-comite-de-llantas-construye-mas-pais>

Argos. Llantas usadas, el combustible de nuestra planta Rioclaro. [Sitio Web]. En: Revista grandes realidades. Febrero de 2015. [Consultado: 20 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://grandesrealidades.argos.co/llantas-usadas-el-combustible-de-nuestra-planta-rioclaro/>

ASOCIACION NACIONAL DE MOVILIDAD SOSTENIBLE. Sector Automotor arranca con 15.965 unidades matriculadas. [Sitio Web]. Bogotá D.C.CO. Sec. Movilidad. Publicaciones. Enero 2019: [Consultado 2, Agosto, 2019]. Disponible en: <https://www.andemos.org/index.php/2019/02/01/enero-2019-sector-automotor-arranca-con-15-965-un-matriculadas/>

BALI, Basilio. La Logística Reversa o Inversa, Aporte al Control de Devoluciones y Residuos en la Gestión de la Cadena de Abastecimiento. En: Revista Científica Ingeniería y Desarrollo. 2017. Vol. 35, No 2. 12p.

CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ. Guía para el manejo de llantas usadas. [Sitio Web]. Primera edición. Septiembre de 2006. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en[-: <https://drive.google.com/file/d/1hJnzA88pOg-ZsWFiUKhO717Z-AneGjjG/view>

CÁMARA DE COMERCIO DE CALI. Goodyear Colombia, campeones de la internacionalización. En: Revista Acción. Cali. 15 de Agosto de 2018. [Sitio Web]. Disponible en: https://www.ccc.org.co/categoria_articulo/goodyear-colombia-campeones-la-internacionalizacion/

CAMARGO, S., et. al. Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas. En: Revista Científica Ingeniería y Desarrollo. [Repositorio Uninorte]. Barranquilla. Vol. 35. Nro. 2. p. 362 2017. ISSN: 2145-9371. [Consultado el 16, Noviembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.2.10165>

CARDONA, L. y SÁNCHEZ, L. Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos [Repositorio Digital UDEM]. Tesis para obtener

especialización en PML. Medellín. Universidad de Medellín. p. 11. 2011 [Consultado: 19 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/375/Aprovechamiento%20de%20llantas%20usadas%20para%20la%20fabricaci%C3%B3n%20de%20pisos%20decorativos.pdf?sequence=1>

CASA EDITORIAL EL TIEMPO. Vistazo al mercado de llantas en Colombia. En: Revista Motor. [Sitio Web]. Bogotá D.C.CO. Sec. Actualidad. 31 de Mayo de 2019. [Consultado el 15 de Agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.motor.com.co/actualidad/industria/funciona-mercado-llantas-colombia-panorama/32387>

CASTRO, G. Materiales y compuestos para la industria del neumático [Repositorio Digital]. Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A. p.1-57. 2008. [Consultado 24, Octubre, 2019]. Disponible en internet: Repositorio Educativo Digital UBA: https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf
CVN. CVN News: Llantas. [Sitio Web]. Enero de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/wp-content/uploads/2019/07/CVN-NEWS-AUTOMOTI-VE-N%C2%BA17-2.pdf>

Cesvi Colombia. Final al frustrado proceso en la disposición de llantas usadas. [Sitio Web]. En: Revista Auto crash. Bogotá D.C. 1 de Julio de 2018. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.revistaautocrash.com/final-al-frustrado-proceso-la-disposicion-llantas-usadas/>

CVN. Llantas económicas conquistan el mercado colombiano en el 2018. [Sitio Web]. 15 de Marzo de 2019. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.cvn.com.co/llantas/>

Dinero. El promisorio futuro del negocio de las llantas en Colombia. [En Línea]. En: Revista Dinero. 27 de Abril de 2017. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/cifras-del-mercado-de-las-llantas-en-colombia-2017/244544>

Dinero. Reciclaje de llantas usadas en Colombia [Sitio Web]. En: Revista Dinero. 9 de Octubre de 2017. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: [dinero.com/pais/articulo/reciclaje-de-llantas-usadas-en-colombia/249688](https://www.dinero.com/pais/articulo/reciclaje-de-llantas-usadas-en-colombia/249688)

DURÁN, Miguel Ángel. Llantas, de enemigo a aliado ambiental. [Sitio Web]. En: El Espectador. Bogotá D.C. 17 de Febrero de 2016. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/ciencia/llantas-de-enemigo-aliado-ambiental-articulo-617126>

Fenalco. 400 llantas por hora triturará la nueva Planta de Procesamiento de Llantas en Desuso de Madrid, Cundinamarca. Madrid. CO [Consultado: 20 de Noviembre

de 2019]. Disponible en:<https://www.fenalcoantioquia.com/400-llantas-por-hora-triturara-la-nueva-planta-de-procesamiento-de-llantas-en-desuso-de-madrid>

FUNDACION ELLEN MACARTHUR. Economía Circular. [En línea]. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>

GARCÍA, OLIVARES, Arnulfo Arturo. Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa: estudio de caso en la industria del reciclaje, B - EUMED, 2006. ProQuestEbookCentral, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/detail.action?docID=3199832>.

Green Project Management. Estándar P5 de GPM Global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. [Sitio Web]. Estados Unidos. 2014. Versión: 1. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en: greenprojectmanagement.org

Green Project Management. Estándar P5 de GPM Global para la sostenibilidad en la dirección de proyectos. [Sitio Web]. Estados Unidos. 2019. Versión: 1.5.1. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en: greenprojectmanagement.org

GUEVARA. Carlos. El problema de la llantas en Bogotá. En: El Tiempo. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Archivo. 28 de Febrero de 2015. [Consultado: 19 de Septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15317455>

Huella Urbana. Reciclaje de neumáticos: procesos y usos. [Sitio Web]. En: Revista Huella Urbana. 31 de Octubre de 2017. Disponible en: <http://www.huellaurbana.com/reciclaje-neumaticos-procesos-usos/>

La Rueda Verde. [En Línea]. 21 de Julio de 2017. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: ruedaverde.com.co

MINISTERIO DE AMBIENTE DE COLOMBIA. Programa pos consumo de Llantas Usadas. [Sitio Web]. [Consultado el 20 de Octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/248-plantilla-> "PELÁEZ ARROYAVE, Gabriel Jaime; VELÁSQUEZ RESTREPO, Sandra Milena y GIRALDO VASQUEZ, Diego Hernán. Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. [Sitio Web]. Bogotá D.C. Universidad militar Nueva Granada. 2017. [Consultado: 14 de Enero de 2020]. Disponible en internet: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702017000200027&lng=en&nrm=iso. ISSN 0124-8170. <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143>.

Redacción El tiempo. El reciclaje de llantas, un mercado que todavía falta por explorar. [Sitio Web]. En: El tiempo. 24 de Octubre de 2016. [Consultado: 20 de

Noviembre de 2019]. Disponible en:
<https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/reciclaje-de-llantas-en-colombia-52722>

Redacción El Tiempo. La verdad sobre el reencauche. [En Línea]. En: El Tiempo. 16 de Noviembre de 1996. [Consultado el 20 de Septiembre de 2019]. Disponible en <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-591959>

RODRÍGUEZ, Sergio. Reutilización de neumáticos fuera de uso. [Sitio Web]. Tesis para obtener el título de Ingeniero químico industrial. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica. 87p. [Consultado: 15 de Enero de 2020]. Disponible en:
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/6260/Reutilizacion+De+Neumaticos+Fuera+De+Uso.pdf?sequence=1>

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE DE BOGOTÁ. Diagnóstico ambiental sobre el manejo actual de llantas y neumáticos usados generados por el parque automotor de Bogotá. [Sitio Web]. [Consultado el 19 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/0/Llantas.pdf>

SIGNIFICADOS. Significado de llanta. En tecnología e Innovación. [Sitio Web] Abril. 2014 [Consultado 19, Septiembre, 2019]. Disponible en:
<https://www.significados.com/llanta/>
Sostenibilidad para todos. ¿En qué consiste la economía circular? [Sitio Web]. . Sec. Desarrollo sostenible. [Consultado el 17 de Septiembre de 2019]. Disponible en:
<https://www.sostenibilidad.com/desarrollo-sostenible/en-que-consiste-la-economia-circular/>

"TIRES: Europa reciclaje de neumáticos. [Sitio Web]. España. Disponible en;
<http://www.tiresspa.com/es/europa-reciclaje-neumaticos.html>

ZARIN, Andrés. Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Tesis de grado de Ingeniería Industrial. Buenos Aires. Instituto tecnológico de Buenos Aires. 2011. p. 1. [Consultado: 19 de septiembre de 2019]. Disponible en internet: Repositorio Educativo digital ITBA:
<https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/507> noviembre de 2019].

ANEXOS

ANEXO A

Estadísticas de llantas desechadas: Noticias y datos

FUENTE	FECHA	NOTICIA
Repositorio Universidad de Medellín (Tomada del Ministerio de ambiente)	Tesis publicada en 2011	Según el ministerio de ambiente y de acuerdo con las afirmaciones de Cardona y Gómez, el 1% del total de residuos generados son provenientes del caucho ⁹ .
El Espectador	27 de Marzo de 2015	Anualmente se botan 5,3 millones de llantas en Colombia, unas 100.000 toneladas de caucho ⁷⁶
El Espectador	17 de Febrero de 2016	Cada año se desechan en el país alrededor de 20 a 30 millones. Sólo en Bogotá se generan alrededor de 4 millones ⁷⁷ .
El Tiempo	17 de Enero de 2016	Se estima que en Colombia se desechan al año alrededor de 5'300.000 llantas usadas, que en peso equivalen a unas 100.000 toneladas. Del total de unidades generadas en el país, 2 millones se producen en Bogotá, casi una cuarta parte (37,7 por ciento), de acuerdo con informe del Ministerio de Ambiente, basado en el reporte del programa pos consumo de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (Andi) ⁷⁸ .
Revista auto crash	1 de Julio de 2018	Anualmente en Colombia se desechan 61 mil toneladas de neumáticos, de los cuales gran parte terminan arrojados en vías, lugares deshabitados y ríos ⁷⁹ .
Revista cementos Argos	Febrero de 2015	En Colombia se generan entre 110.000 y 130.000 toneladas de este material al año, lo que significa alrededor de 7 millones de llantas, que generalmente se queman en procesos que emiten gases tóxicos al medio ambiente. Quemarlas es la manera más común de eliminarlas, pues este residuo no se

⁷⁶ AFP. ¿Iglús en Colombia? Sí, pero de llantas de desecho. [En línea]. En: El Espectador. Bogotá D.C. 27 de Marzo de 2015. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/iglus-colombia-si-de-llantas-de-desecho-articulo-551771>

⁷⁷ DURÁN, Miguel Ángel. Llantas, de enemigo a aliado ambiental. [En Línea]. En: El Espectador. Bogotá D.C. 17 de Febrero de 2016. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/ciencia/llantas-de-enemigo-aliado-ambiental-articulo-617126>

⁷⁸ GÓMEZ, Lucevín. Comienza era de vías que se harán con llantas usadas. [En línea]. En: El Tiempo. 17 de enero 2016. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16483926>

⁷⁹ Final al frustrado proceso en la disposición de llantas usadas. [En Línea]. En: Revista Auto crash. 1 de Julio de 2018. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.revistaautocrash.com/final-al-frustrado-proceso-la-disposicion-llantas-usadas/>

		descompone, por lo tanto no se puede llevar a los rellenos sanitarios ⁸⁰ .
Grandes realidades: Argos	Febrero de 2015	En Colombia se generan entre 110.000 y 130.000 toneladas de este material al año, lo que significa alrededor de 7 millones de llantas, que generalmente se queman en procesos que emiten gases tóxicos al medio ambiente. Quemarlas es la manera más común de eliminarlas, pues este residuo no se descompone, por lo tanto no se puede llevar a los rellenos sanitarios.

Nota: No se especifica una fuente solamente, ya que se hizo una recopilación de información proveniente de fuentes secundarias y primarias.

⁸⁰ Argos. Llantas usadas, el combustible de nuestra planta Rioclaro. [En Línea]. En: Revista grandes realidades. Febrero de 2015. [Consultado: 20 de Noviembre de 2020]. Disponible en: <http://grandesrealidades.argos.co/llantas-usadas-el-combustible-de-nuestra-planta-rioclaro/>

ANEXO B.

Estadísticas de llantas recicladas y comercializadas: Noticias y datos

FUENTE	FECHA	NOTICIA
El Tiempo	24 de octubre 2016	El país tiene capacidad para procesar 10 millones de llantas al año, pero se llega solo al 20 por ciento porque los subproductos obtenidos no están cumpliendo con su cuota de comercialización ⁸¹ .
Revista Dinero	9 de Octubre de 2017	Rueda Verde estima que para el 2021 sea el sistema líder en gestión ambiental en el pos consumo de las llantas usadas en Colombia; reincorporando al menos el 65% de las llantas puestas en el mercado por los productores vinculados al programa; educando a los ciudadanos e innovando en el ciclo de vida del producto ⁸² .
Fenalco	13 Mayo. 2016	<p>Sistema Verde, Cementos Argos y el sector de Llantas de Fenalco realizaron la inauguración de la segunda planta de trituración de este residuo especial en el país.</p> <p>Luego del proceso de trituración, los neumáticos son usados como combustible alternativo en los hornos de Cementos Argos.</p> <p>Con la nueva planta se podrá cumplir la meta de la Alcaldía de Bogotá y Cementos Argos de gestionar adecuadamente de 2,5 millones de llantas. En la nueva planta ubicada cerca de la capital de Colombia se tendrá la capacidad de triturar 400 llantas por hora, es decir 6 ton/hora. 3 de cada 5 llantas en el país no se gestionan adecuadamente y su proceso de biodegradación puede durar más de 600 años. En Colombia se generan alrededor de 7 millones de llantas al año sujetas a regulación (de un total de 13 millones) y actualmente, hay un pasivo nacional de 9 millones. Gracias al trabajo que se adelantará en estas plantas se podrá disminuir esta cifra y cumplirse la ley sobre la gestión integral de este residuo (planes pos consumo)⁸³.</p>
Grandes realidades: Argos	Febrero de 2016	<p>Incorporación del residuo en el proceso de producción del cemento como combustible. La técnica, se empezó a usar desde octubre en la planta Rioclaro, adecuada con equipos que permiten el reemplazo de carbón por llantas, textiles o plástico.</p> <p>Las llantas son trituradas y quemadas en los horno en un proceso de combustión que tiene características especiales pues destruye los componentes contaminantes y aprovecha la energía calórica debido a los tiempos de residencia de los gases, las altas</p>

⁸¹ Redacción El tiempo. El reciclaje de llantas, un mercado que todavía falta por explorar. [En Línea]. En: El tiempo. 24 de Octubre de 2016. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/vida/ciencia/reciclaje-de-llantas-en-colombia-52722>

⁸² Dinero. Reciclaje de llantas usadas en Colombia [En línea]. En: Revista Dinero. 9 de Octubre de 2017. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: dinero.com/pais/articulo/reciclaje-de-llantas-usadas-en-colombia/249688

⁸³ Fenalco. 400 llantas por hora triturará la nueva Planta de Procesamiento de Llantas en Desuso de Madrid, Cundinamarca. Madrid. [Consultado: 20 de Noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.fenalcoantioquia.com/400-llantas-por-hora-triturara-la-nueva-planta-de-procesamiento-de-llantas-en-desuso-de-madrid>

		<p>temperaturas que se emplean (1,500°C en el material, 2,200°C en la llama) y la turbulencia de los gases.</p> <p>Gracias a esta técnica Argos usará entre 60.000 y 70.000 toneladas de llantas al año, lo que representa el 70% de la producción anual del país, 12.000 de ellas estarán dirigidas a la planta de Rioclaro que fue adecuada con tecnología que requirió una inversión cercana a los USD5 millones. Esta implementación se hizo de la mano de Fenalco, Sistema Verde e Interaseo.</p>
--	--	--

Nota: No se especifica una fuente solamente, ya que se hizo una recopilación de información proveniente de fuentes secundarias y primarias.