

ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LLANTAS USADAS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Analysis of the Treatment and Use of used tires
Bibliographic Review

Jorge Valencia Ramírez.
jorge.valencia11@usc.edu.co
Paola Andrea Benavidez López.
paola.benavidez00@usc.edu.co
Daniel Ortiz Guerrero.
Daniel.ortiz01@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial.

Resumen.

Las llantas usadas actualmente representan un problema ecológico, ambiental y de salubridad en las diferentes ciudades de Colombia, consecuencia del inadecuado destino final que se le dan a estas piezas, debido a que muchas son depositadas en quebradas o lugares baldíos, otras incineradas en espacios a cielo abierto y aquellas que se reciclan no son aprovechadas en su totalidad. Para abarcar este problema, se presenta una revisión bibliográfica con el fin de analizar los tratamientos y aprovechamientos aplicados en la reutilización y manejo en algunos lugares del territorio colombiano, cuyo objetivo es identificar algunos beneficios y ventajas, que contribuyan a generar un impacto ambiental positivo, además del económico, que se reflejaría con la acogida de estos procesos en la industria, donde podemos denotar algunos de sus posibles usos en el campo de la metalúrgica, textil y de la construcción, como también tener en cuenta que este material no sólo presenta beneficios para este sector, sino que también es utilizado para la elaboración de espacios lúdicos de entretenimiento. Lo anterior se enfoca en el máximo aprovechamiento de este producto reciclado, minimizando el impacto de contaminación al medio ambiente y afectación a la salud humana que puede generarse por el indebido manejo de residuos, evitando que terminen en sitios como canales de aguas residuales o espacios públicos. También se encontró que en otros países latinoamericanos y europeo utilizan estrategias de descontaminación y aprovechamiento de las llantas de caucho. Existen estudios, proyectos y se han planteado estrategias para implementar procesos que permitan ejecutar su mejor reutilización. Colombia está tomando conciencia y mostrando gran atención en esta temática, brindando apoyo a la formulación de nuevas ideas que permitan el aprovechamiento, descontaminación y la mejora para la sostenibilidad ambiental, fundamentándose en la norma ISO 14001:2015 para las empresas que realizan estas actividades, la cual establece a través de un Sistema de Gestión Ambiental cumplir con unos requisitos que contribuyan a la protección del medio ambiente y responder ante sus cambios, conservando siempre un equilibrio socioeconómico. Las empresas tienen la responsabilidad y el compromiso de alcanzar los resultados estipulados que se refieren en la norma mediante mejoras continuas, cumplimiento de objetivos y obligaciones ambientales, para con ello determinar el impacto e identificar los riesgos y oportunidades. Esta norma funciona según el método PHVA, el cual consiste en el planear, hacer, verificar y actuar, que en otras palabras se define como establecer objetivos, desarrollar los procesos, realizar seguimiento y medición para adoptar acciones de mejora. Al cumplir con los lineamientos se logra prevenir o mitigar los impactos ambientales causados por las actividades que desarrollan las organizaciones, como también dar apoyo a las que contribuyen con la mejora en el desempeño ambiental.

Palabras Clave: Aprovechamiento, Descontaminación, Caucho, Mejora Ambiental, Reutilización, Llantas.

Abstract.

The tires currently used represent an ecological, environmental and health problem in the different cities of Colombia, as a result of the inadequate final destination given to these pieces, because many are deposited in ravines or wastelands, others incinerated in spaces open sky and those that are recycled are not fully utilized. To cover this problem, a bibliographic review is presented in order to analyze the treatments and uses applied in the reuse and management in some places of the Colombian territory, whose objective is to identify some benefits and advantages, which contribute to generate a positive environmental impact, In addition to the economic one, which would be reflected with the reception of these processes in the industry, where we can denote some of their possible uses in the field of metallurgical, textile and construction, as well as taking into account that this material not only has benefits For this sector, it is also used for the development of recreational entertainment spaces. The above focuses on the maximum use of this recycled product, minimizing the impact of pollution on the environment and impact on human health that can be generated by improper waste management, preventing them from ending up in sites such as wastewater channels or public spaces. It was also found that in other Latin American and European countries they use strategies for decontamination and use of rubber tires. There are studies, projects and strategies have been proposed to implement processes that allow for the best reuse. Colombia is becoming aware and showing great attention in this area, providing support for the formulation of new ideas that allow the use, decontamination and improvement for environmental sustainability, based on the ISO 14001: 2015 standard for companies that carry out these activities, which establishes through an Environmental Management System to comply with requirements that contribute to the protection of the environment and respond to its changes, always maintaining a socio-economic balance. Companies have the responsibility and commitment to achieve the stipulated results referred to in the standard. through continuous improvement, compliance with environmental objectives and obligations, to thereby determine the impact and identify the risks and opportunities. This standard works according to the PHVA method, which consists of planning, doing, verifying and acting, which in other words is defined as establishing objectives, developing processes, monitoring and measuring to adopt improvement actions. By complying with the guidelines, it is possible to prevent or mitigate the environmental impacts caused by the activities carried out by organizations, as well as to support those that contribute to the improvement in environmental performance.

Keywords: Use, Decontamination, Rubber, Environmental Improvement, Reuse, Tires.

1. INTRODUCCIÓN

El problema ambiental que afecta a naciones o estados es un factor que pone en marcha la implementación de acciones para mitigar esta problemática por medio de sistemas de gestión ambiental regulados por cada país. El uso inadecuado de neumáticos fuera de uso es uno de los temas a estudiar para tomar medidas en la reutilización y aprovechamiento de estos.

La capital de Colombia, Bogotá, cuenta con un alto número de llantas que han llegado al final de su vida útil; según la Secretaría Distrital de Ambiente, en esta ciudad se generan más de 3 millones de llantas usadas al año, de las cuales la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, recoge 1,3 millones para ser procesadas (recolección y clasificación, donde se determina cuáles tienen la posibilidad de ser reutilizadas o renecauchadas; el proceso de reciclaje (desintegración) y la clasificación de materiales, en el que la máquina se encarga de separar el material textil, el caucho y el acero para su posterior almacenamiento y distribución de materiales) y aprovechar en gran parte sus componentes, quedando 1,2 millones de llantas a las que no se les da ningún tipo de uso (Sánchez, 2018), siendo amontonadas en diferentes lugares, causando contaminación visual, ambiental y sanitario, sirviendo de criaderos de mosquitos y proliferación de ratas; es preocupante puesto que esta cifra no incluye la cantidad de llantas usadas que se encuentran en el resto del país, que va en aumento porque cada vez entran en circulación más vehículos automotores, lo cual incrementa el residuo de estas. Algunas ciudades como Bogotá, Manizales, Tunja y el resto del país se encuentran con la problemática de contaminación anteriormente mencionada, originando los mismos impactos negativos que generan estos desechos (Antonio, Villamil, Hernando, & Mesa, 2017).

Teniendo en cuenta que las llantas de caucho son fabricadas para soportar trabajo duro, sus materiales cuentan con una serie de características como resistencia, flexibilidad, fuerza, apta para las exposiciones químicas y medio ambientales, lo cual califica la calidad y duración, de la misma forma para que el neumático (caucho) se degrade y desaparezca puede durar de 1 a 5 siglos y al no darles un adecuado uso después de su vida útil permanecerán ahí para siempre, provocando contaminación visual, ambiental y proliferando mosquitos, roedores y otros animales dañinos (MARTÍN, 2015). En muchas partes del país se tiene la práctica de incinerarlas a cielo abierto, lo que puede causar daños en la salud de quienes inhalan el humo, al contraer enfermedades respiratorias (DAMA) y hasta cáncer, ocasionado por la carbonilla y compuestos cancerígenos emitidos al aire, como son los hidrocarburos aromáticos policíclicos conocido como benzopireno (Grimalt, 2016).

De ahí la importancia de reutilizarlas y aprovechar la materia prima que la componen, por medio de la tecnología mecánica en el cual lleva una serie de procesos para la separación de estos, donde se obtiene aproximadamente 65% de caucho, 15%-25% de acero y el 10%-15% de fibras textiles, aplicando el caucho granulado en la infraestructura, para construcción de vías públicas (Peláez Arroyave, Velásquez Restrepo, & Giraldo Vásquez, 2017), el acero en el área metalúrgica para la fabricación de alambres, clavos y demás derivados de este material (Olivares & Carmona, 2016), el nylon en el área textil y/o aleaciones plásticas para elaborar cuerdas, lasos, y aleaciones derivados del plástico (Lopez Gonzalez & Pineda Santander, 2017) y en el área energética se utiliza el aceite y derivados del petróleo donde pueden extraer materia ignífuga (Portafolio, 2016).

Colombia se encuentra en el proceso de Sostenibilidad Ambiental por lo cual adopta la implementación de un sistema de gestión ambiental que contribuya a conservar el medio ambiente y a utilizar los recursos naturales de manera responsable; por tal razón las empresas que realizan procesos de tratamiento y aprovechamiento del caucho de las llantas, requieren implantar un SGA, documentado en el cumplimiento de los requisitos contenidos en la norma ISO 14001:2015, el cual les facilita el control de todas las actividades que puedan causar algún impacto al ambiente, como la minimización de los que se puedan generar en el desarrollo de sus operaciones; en su aplicación se incluye auditorías, planes, métodos y la realización de los numerales de la norma que sean aplicables a este caso. En la implementación de un SGA debe haber un fin, el cual es generar el menor impacto ambiental y las organizaciones a su vez son beneficiadas en agilidad y eficiencia al cumplir con estándares de calidad. Esta norma debe ir de la mano con los diferentes planes del gobierno ya sean nacionales, departamentales, o locales para que así haya una alineación entre las organizaciones que tengan este sistema de gestión ambiental con las normas vigentes que se tengan por el momento. Las ventajas de implementar un

SGA para la recolección y aprovechamiento de neumáticos son los siguientes: aprovechamiento de recursos con trato especial, eliminación o reducción de residuos, generación de nuevas ideas de reciclaje, innovación de productos con material reciclado, beneficios en la calidad de vida, descontaminación ambiental, visual y en la salud (Sánchez Píonzon, 2018).

En esta labor podemos destacar en Colombia a la Corporación Rueda Verde quien realiza la recolección de estos residuos provenientes de diferentes departamentos y ciudades del país como Villavicencio, Yopal, Barrancabermeja, Barranquilla, San Andrés, Neiva, Armenia, Manizales, Pereira y Popayán, entre otras; y cuenta con puntos de usuario final en las ciudades de Cali, Bucaramanga, Medellín y Bogotá, como también a Corpaul en Yumbo, quienes tratan de transformar, valorizar y aprovechar en su máxima totalidad este material, (Innova, 2015); sin embargo, el reciclaje de llantas de desecho no en un éxito total a nivel mundial (Sebola, Mativenga, & Pretorius, 2018).

A continuación, se detallan algunos aportes de aplicación que se le da a los neumáticos usados, estrategias y problemáticas en diferentes países, además del riesgo ambiental que éstos puedan generar, su relación con la ISO 14001:2015 y su aprovechamiento óptimo en Colombia.

2. APLICACIONES, APROVECHAMIENTO Y GRANDES BENEFICIOS

Se ha identificado que el aprovechamiento de llantas o neumáticos usados conlleva a disminuir el grado de contaminación ambiental, visual y de salubridad, es por ello que el gobierno viene implementando normas, decretos, legislaciones y estrategias para el manejo de estos residuos (Sostenible, 2017) en el cual establece procedimientos para la reutilización de este material.

Para darle valor al material y energética a los neumáticos que han llegado a su vida útil, se requiere de ciertas tecnologías como las siguientes:

- Recauchutado: proceso donde se refabrica el neumático gastado y se reemplaza por la banda de rodadura.
- Tratamientos Mecánicos: proceso mecánico donde se cortan o dividen, comprimen, los neumáticos.
- Tecnologías de reducción de tamaño: proceso que se hace a temperatura ambiente, criogénico y húmedo
- Tecnologías de Regeneración: Modificación superficial, biológica, desvulcanización, recuperación del caucho (Martín, 2015).

También se han encontrado usos útiles de este material, en diferentes sectores industriales, de entreteniendo social y lúdico, brindando beneficios económicos y mejora ambiental (Martín, 2015).

Tabla No. 1. Usos y Aplicaciones según su actividad

Área	Material	Descripción
Infraestructura Vial y Civil	Granulo de Caucho	Se usa como aditivo en el asfalto, hormigón y cemento dado a su textura le ofrece una característica resistente, pero a la vez flexible, lo que podría reducir el índice de contaminación y agua, por los reprocesos que dejarían de generarse en reparaciones y fabricación de los materiales usados en esta actividad. (Peláez Arroyave et al., 2017)
Metalúrgica	Acero	En la clasificación de los materiales que se extraen se encuentra el acero, en el cual entrega diferentes usos en el área metalúrgica como: función para clavos, alambres y la correcta aleación se puede producir derivados del acero. (Olivares & Carmona, 2016)

Textil y/o aleaciones plásticas	Fibra Nylon	Entre sus materiales se tiene Nylon y/o fibras de Nylon que procesado se obtiene material para cuerdas, lasos, derivados del mismo, material ignifugo y aleación con derivados del plástico (Lopez Gonzalez & Pineda Santander, 2017).
Energética (Requiere de más procesamiento)	Aceites y derivado del petróleo	Dado a su elaboración las llantas o neumáticos contienen componentes derivados del petróleo que con un proceso se puede extraer materia ignifugo a comparación del carbón tiene más capacidad calorífica pero este proceso no está totalmente previsto ya que el desecho carbónico sería altamente contaminante (Portafolio, 2016).

Fuente: Propia de los autores

2.1. INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN

El Granulo reciclado de caucho en la mezclas de concreto o asfaltos como agente adicional brinda propiedades extras a la composición final, al obtener resultados favorables; este se está utilizando en la construcción de mallas viales, dado a la tolerancia a la fatiga a que son expuestas estas clases de obras (Olivares & Carmona, 2016), además por las propiedades que le brinda a la mezcla, como son elasticidad al quiebre por dureza, tolerancia al peso, resistencia a la humedad y reducción de material utilizado (Alcaldía mayor de bogota D.C, 2015). También se está implementando en la mezcla de hormigón, cuyo proceso es más costoso pero su duración es 5 veces mayor al concreto común (Saltos, Guerrero, Ordóñez, & Suárez, 2015). En Colombia se proyecta en implementar en la construcción de vías 4G según el Ministerio de Ambiente.

El proceso que se debe realizar para la extracción del granulo de caucho de las llantas usadas, es un proceso mecánico por el cual las llantas pasan por una serie de triturados y tamizajes para así determinar su grosor, cuya forma de medida es en milímetros (mm), el cual depende del uso que se le vaya a dar.

Según (Martínez-Barrera et al., 2019), la combinación del granulo de caucho con la mezcla del pavimento da unos resultados más beneficiosos como un mayor tiempo de duración a las diferentes condiciones que se expone. El granulo de caucho ofrece propiedades características como dureza, elasticidad, absorción de fuerza, duración, resistente a la humedad y transformación; en lugares como Europa, América Latina, Estados Unidos, Brasil, Argentina, Chile, Costa Rica y México, viene utilizándose la combinación de la mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado. Su implantación en diferentes mezclas lo hace adecuado para la inclusión de métodos de construcción que mejoran las estructuras fabricadas, aumenta su vida útil, aumenta su resistencia a la fatiga y sus propiedades dinámicas. El proceso de mezcla no es de difícil ejecución es amigable con el medio ambiente y fácilmente puede ser usado en diferentes situaciones climáticas (Siddika et al., 2019). En construcción tiene varias utilidades como, por ejemplo: bases de tapetes, elaboración de pisos antideslizantes, compuestos impermeables para techos y paredes. A demás se tienen otros aprovechamientos como; parques infantiles en zonas verdes, base para pistas de hípica, drenajes de subsuelo y acondicionadores de suelo, canchas sintéticas, pistas atléticas, etc.

2.2. METALÚRGICA

Las llantas o neumáticos dado su composición consta de un recubrimiento de acero el cual puede ser aprovechado (Mesa Trujillo & Patarroyo Diaz, 2016), su metodología de extracción es amigable con el medio ambiente, no genera ningún tipo de emisión ni deja un desperdicio que ayude a la contaminación del ambiente. El porcentaje de acero en llantas es de 14% en automóviles y 15% en camiones. Los procesos los cuales deben pasar la llanta para la extracción del acero son: Triturado, Tamizado y por último por un bastidor diseñado con componentes magnéticos los cuales separar el material metálico del caucho, dejando por separado las partículas o fibras de acero (VERA HOSTOS, 2016).

En la actualidad están investigando y probando la forma de agregar fibras de acero a la composición de mezclas de hormigón, esta composición ha potencializado la resistencia normal del material, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y resistencia al corte (Samarakoon, Ruben, Wie Pedersen, & Evangelista, 2019).

El acero extraído es aprovechado por la industria metalúrgica, en la composición y creación de nuevos aceros. La generación de acero puro conlleva a la compra de materia prima pura, lo que eleva los costos de producción y venta de aceros, en cambio el uso de acero reciclado permite que los costos sean más reducidos, la calidad del acero reciclado posee unas características un poco más bajas que el acero puro, pero entrega las mismas funcionalidades. Las acerías pueden usar este material reciclado para crear productos para el uso en construcciones de infraestructuras, elementos y herramientas compuestas de acero como varillas, clavos, láminas de acero, aleaciones con diferentes componentes metálicos para mejorar su dureza y reducir el costo de compra de acero puro (Lopez Gonzalez & Pineda Santander, 2017).

2.3. FIBRA DE NYLON

Una de sus características es el aprovechamiento del material a lo que se refiere es que se puede procesar para generar componentes plásticos y textiles y otros derivados, se ha encontrado que este material cuenta con componentes que son altamente ignífugos y se puede complementar al uso del carbón para la generación de energía por medio calor y vapor este uso no es muy recomendado si no se tiene un buen control de emisión de gases (Olivares & Carmona, 2016).

El nylon es una fibra, un polímero artificial donde su elaboración se realiza por policondensación de un diácido con una diamina, ejemplo de ello es el denominado nylon 6.6, este compuesto se da por la unión entre la hexametildiamina y el ácido hexano dioico. Según (Landi, Vitali, & Germani, 2016). La aplicación de Nylon en otros componentes sintéticos ha tenido grandes resultados, sus propiedades como resistencia y duración han llevado que se hagan pruebas en otros sectores industriales con compuestos plásticos y asfaltos. Su rentabilidad es un muy lucrativa ya que se obtiene de un proceso de aprovechamiento altamente generado en el mundo (Ramarad, Khalid, Ratnam, Chuah, & Rashmi, 2015), la fibra reciclada podrá ser utilizada para fabricar aislante acústico y térmico mediante la combinación de tres componentes: las fibras, la pasta de papel reciclado y la cola blanca adhesiva, aplicado a la construcción (paredes, techos) y proyectos ferroviarios. Existe un producto fabricado en México, "Llantermic, elaborado para sustituir la fibra de vidrio en casas y edificios.

2.4. ENERGÉTICO

Las llantas por sus componentes que tienen relación con derivados del petróleo poseen componentes con características altamente energéticas en conversión térmica, su uso principalmente es en el reemplazo del carbón, su costo es más elevado y clasificación calorífica es alta, pero la clasificación calorífica o transmisión térmica del caucho es óptima para el aprovechamiento como energía (Ramarad et al., 2015); como ventaja se puede resaltar su costo es mucho menor, la cantidad de material es muy asequible dado a la cantidad de residuos generado. Los niveles de contaminación de Dióxido de Carbono que genera el caucho y el carbón tienen unas cantidades muy similares pero su cantidad de emisión con respecto al caucho puede ser más controlada si se posee la tecnología y los procesos correspondientes para su uso. En la actualidad están siendo usados mucho en los hornos de las industrias cementeras (Machin, Pedroso, & de Carvalho,

2017). En la planta Río Claro de Antioquia, Cementos Argos usa las llantas cortadas, picadas como una alternativa de combustible para los hornos.

3. ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE LLANTAS USADAS EN ALGUNOS PAÍSES

En el caso de las llantas de caucho, al éstas finalizar su vida útil son utilizadas principalmente para la recuperación de energía, lo cual implica quemar los neumáticos en su totalidad o justo después de triturarlos. Durante el proceso de combustión se produce el calor el cual se utiliza en procesos tecnológicos como la quema del clinker (principal componente del cemento), en hornos o para la producción de vapor en plantas de energía. El valor calorífico producido por el caucho es comparable e incluso mayor que el valor calorífico que produce el carbón. En hornos de cemento, los neumáticos pueden ser de hasta $\frac{3}{4}$ de la masa de combustible requerida. Por otro lado, en Polonia, se estima que las empresas productoras de cemento expresan su mayor interés en la recuperación de los neumáticos (Godlewska, 2017).

Otro método de aprovechamiento de las llantas de caucho cuando éstas llegan al final de su vida útil es el reciclaje de las mismas, esto implica cualquier tipo de operación, con el fin de recuperar los materiales y/o componentes para reprocesarlos en productos, materiales o sustancias, ya sea para cumplir con el mismo propósito u otros. Así mismo, incluye la reprocesamiento del material orgánico, pero en este caso no incluye la recuperación de energía ni en materiales que se utilizarían como combustibles o para la operación de relleno. Una definición de reciclaje se puede describir como un sistema de explotación económica cíclica de los residuos como materias primas secundarias de productos defectuosos o no conformes. La capacidad de reciclaje que existe en Polonia para el aprovechamiento y la reutilización de este producto es gracias a los componentes con los cuales se fabrican, lo que significa que es posible restaurarles las propiedades originales o tratar de recuperar los componentes individuales o ya sea eliminando daños mediante la realización de un tratamiento adecuado (Godlewska, 2017).

3.1. PRINCIPALES PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE NEUMÁTICOS USADOS EN ALGUNOS PAÍSES

3.1.1. Polonia entre los años 2002 y 2007, el número de neumáticos vendidos incremento constantemente, en el año 2005, cuando hubo una disminución en comparación con el año anterior. En Polonia fue donde se registró la mayor cantidad de neumáticos en el mercado en este período. En el año 2007 incrementó a 195.5 mil toneladas de neumáticos, en comparación con el año 2002 el cual se incrementó 100 mil toneladas, considerado casi el doble. En el año 2008 hubo una disminución en la cantidad de neumáticos puestos en el mercado. En el año 2009 su número disminuyó a 165.1 mil toneladas y los datos del Ministerio del Medio Ambiente muestra que en el año 2014 introdujo la mayor cantidad de neumáticos (aproximadamente 233.5 mil toneladas) (Godlewska, 2017).

Tratar con neumáticos usados en Polonia es un gran ejemplo de cambios positivos para el medio ambiente y para nuestro entorno, debido a que va alineado con la política medioambiental de toda la Unión Europea con respecto a mejorar la eficiencia de los recursos en la economía, un enfoque especial en convertir los desechos y/o residuos en un producto deseado. En Polonia los neumáticos desechados se utilizan principalmente para la recuperación de energía, teniendo en cuenta que las fábricas de cemento son las que expresan mayor interés en la recuperación de energía de los neumáticos, otro método es el reciclaje de éstos, lo que significa cualquier tipo de operación que implique recuperar los materiales de desecho, los cuales son reprocesados en productos, materiales o sustancias, ya sea para el propósito original u otros. Dichos cambios positivos fueron posibles gracias a la ley vigente, incluyendo a su vez el pago del producto, cumpliendo con la gestión de reutilizar y aprovechar las llantas de caucho. (Godlewska, 2017).

3.1.2. Chile, y en especial en Santiago de Chile, el nivel de reciclaje total se estima en un 10% en el país y con EPR, se espera que en cinco años logre una recolección y recuperación de desechos del 30%, creando así nuevos negocios y disminuyendo su disposición final (Banguera, Sepúlveda, Ternero, Vargas, & Vásquez, 2018).

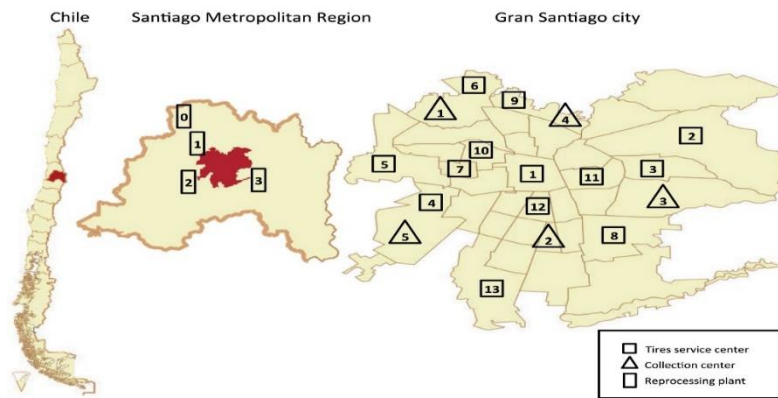
Mediante un modelo de ubicación capacitado en Chile se busca determinar los centros de recolección y las plantas de

reprocesamiento del sistema, y la cantidad de desechos separados y reciclados de un producto específico enviado a los centros de recolección, plantas de reprocesamiento y las fuentes de generación de energía (Banguera et al., 2018)

En Santiago de Chile, estos neumáticos se generan en redes de servicio y garajes lo cual incluye la posible producción de materias primas derivadas del caucho y el posible uso como combustible para ciertas industrias de cemento y por otro lado, neumáticos enteros como combustible para la generación de energía (Banguera et al., 2018).

En algunas zonas de la ciudad de Santiago de Chile utilizan una logística inversa bajo responsabilidad extendida del productor, prácticamente la red de logística inversa está definida por un conjunto de 13 centros de servicio de neumáticos (proveedores locales de residuos separados para ser reciclados) donde se entregan los OUT; un conjunto de 5 posibles centros de acopio y un conjunto de 4 plantas potenciales de reprocesamiento. La figura 2 muestra la red del sistema (Banguera et al., 2018).

Fig.2. Red del sistema en la ciudad de Gran Santiago

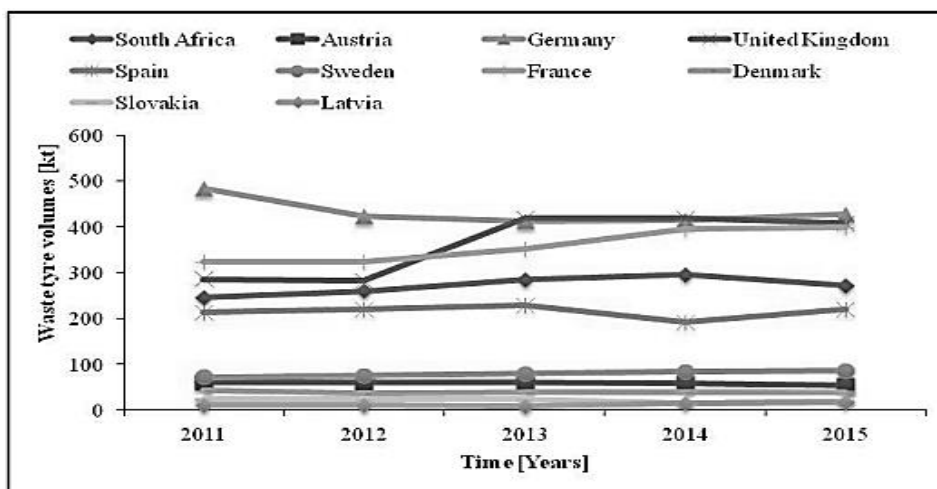


Fuente: (Banguera et al., 2018)

3.1.3. Sudáfrica, según un informe anual del Reciclaje y Desarrollo Económico Iniciativa de Sudáfrica (REDISA) en 2014 la cantidad de neumáticos desechados fueron de 177.385 toneladas y 32% de esta cantidad fue desviado al vertedero. A principios del año 2012 se gestionó en promedio 3,4 millones de toneladas de neumáticos usados de una manera ecológicamente racional en el continente europeo (Noruega, Suiza y Turquía) representando el 95% de los neumáticos usados. Un estudio realizado, comparó el reciclaje de llantas de desecho en Sudáfrica a la Unión Europea y estudios para promover un mayor reciclaje o reutilización de neumáticos, basándose en las regulaciones de llantas de desecho, desechos volúmenes, impuestos de vertedero, gravámenes de reciclaje, organismos responsables de reciclaje y tasas de reciclaje (Sebola et al., 2018).

La figura 1 (a) compara el crecimiento del neumático al final de la vida útil desde 2011 hasta 2015 de países que operan bajo la gestión de tres modelos, responsabilidad extendida del productor, sistema tributario y Mercado libre en la Unión Europea (Sebola et al., 2018).

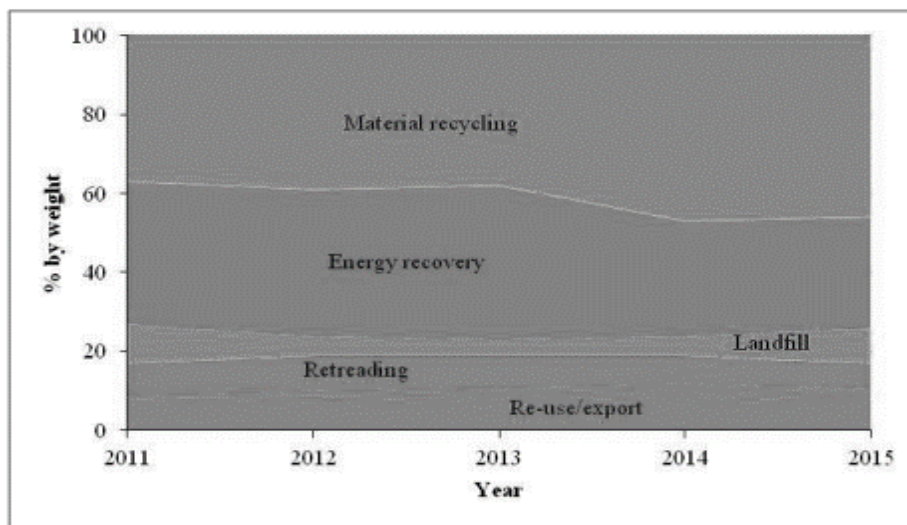
Figura 1(a) Volúmenes de neumáticos al final de su vida útil en Sudáfrica y la Unión Europea



Fuente: (Sebola et al., 2018)

La figura 2 muestra el manejo del neumático al final de la vida útil a través de la recuperación rutas como **reutilización, recauchutado, recuperación de materiales y energía.**

Fig. 2. Gestión de neumáticos al final de su vida útil en la Unión Europea



Fuente: (Sebola et al., 2018)

La UE ha visto una disminución considerable en los vertederos. En 2010 y 2012 solo el 4% y el 5% de los neumáticos al final de la vida útil terminaron en vertederos, respectivamente. En 2012, el 19% (650,000 toneladas) fueron utilizados principalmente para recauchutar, reutilizar y exportar. Alrededor del 39% (1,34 millones de toneladas) se han recuperado los neumáticos a través de la recuperación de material. Recuperación de energía constituida 37% (1,26 millones de toneladas) con la industria del cemento como principal usuario de neumáticos al final de su vida útil. Para 2013, el

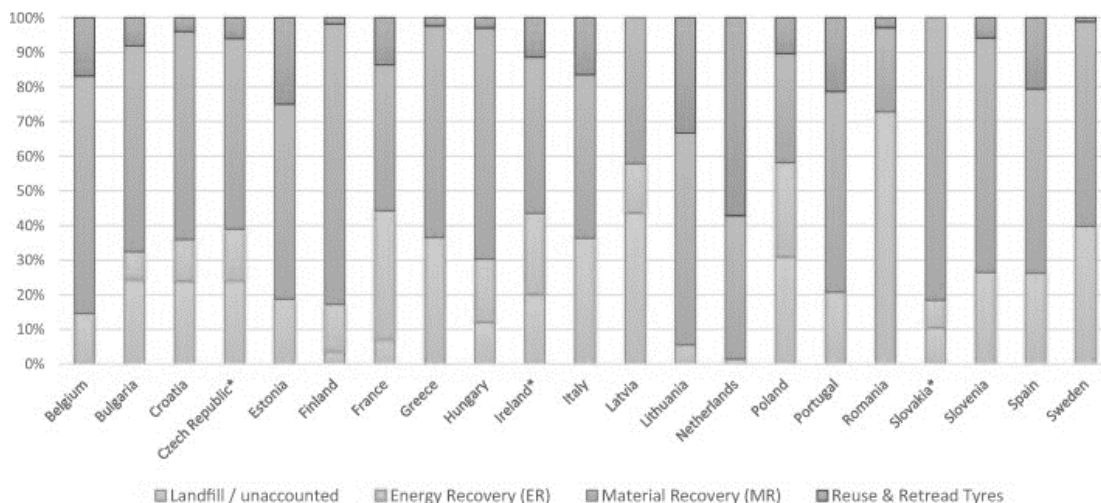
porcentaje de fin de vida, los neumáticos procesados a través de la recuperación de energía aumentaron al 48%. En 2015, solo el 9% de los neumáticos desechados se vertieron en vertedero, contra 91% de otras rutas de recuperación (11% reutilización / exportación, 6% recauchutado, 46% reciclaje de materiales y 28% recuperación de energía) (Sebola et al., 2018)

3.1.4 Brasil, utilizan métodos de retorno en cadena de suministro en circuito cerrado para las llantas de caucho cuando éstas finalizan su vida útil, el modelo propuesto consiste en pronosticar el retorno de un neumático CLSC en Brasil, caracterizado por el creciente poder adquisitivo de las diferentes clases sociales brasileñas, lo que causó que la flota de automóviles aumentará en un 294% en 14 años, según el tráfico Nacional de Brasil (BNTD). Además, el área delimitada en dicha investigación fue el estado de Goiás y el Distrito Federal, considerando los años entre 2000 y 2014, fue de 359%, lo que resultó en 3,386,702 automóviles en 2014. El FD, una región donde se encuentra la capital federal brasileña, aumentó 266% en el mismo período, con una flota de 1,586,169 vehículos en 2014 (Pereira et al., 2018).

La adopción de la cadena de suministro de ciclo cerrado resulta de las ventajas potenciales tanto económicas, como ambientales y sociales. La cantidad, la calidad y el momento de los flujos inversos del producto están relacionados con las características del producto, el ciclo de vida del producto y la conciencia del consumidor final. La cadena de suministro de circuito cerrado consiste en un "diseño, control y operación de maximizar la creación de valor durante todo el ciclo de vida de un producto (neumáticos) con la recuperación de diferentes tipos y volúmenes de retornos durante el tiempo, lo cual un CLSC obliga a los productores a combinar los flujos hacia adelante y hacia atrás dentro de la cadena de suministro; debido a esta relación directa-inversa sostienen que para analizar el flujo de neumáticos devueltos es necesario saber que la cantidad de neumáticos devueltos al final del período t depende de las ventas anteriores a t, para que esta relación pueda incorporarse en las estimaciones de los neumáticos devueltos, afirmando que estos materiales requieren atención especial durante la eliminación debido a su estructura y compleja composición (Pereira et al., 2018).

3.1.5. Bélgica, Italia y los Países Bajos, EPR es un enfoque de política donde la responsabilidad de un productor y/o comercializador de un producto se extiende a la etapa del pos consumo del ciclo de vida del producto. La figura 1 muestra en porcentaje la cantidad de neumáticos desechados, material recuperado de estos neumáticos desechados, recuperación de energía y vertedero y cantidades no contabilizadas por cada país. Los neumáticos usados combinan neumáticos reutilizados y recauchutados localmente, así como los exportados para reutilización y recauchutado (Winternitz, Heggie, & Baird, 2019).

*Tratamiento de llantas de desecho bajo la responsabilidad extendida del productor en la Unión Europea en 2015. Los países marcados con * aún no han tenido un EPR funcional para neumáticos en 2015.*



Fuente: (Winternitz et al., 2019)

3.1.6. Estados Unidos, las llantas que han cumplido su ciclo de vida generan riesgos para la salud y el medio ambiente. Los neumáticos almacenados de forma inadecuada son posibles zonas de reproducción de insectos y roedores portadores de enfermedades para el ser humano; los incendios de llantas pueden ser difíciles y costosos de extinguir y pueden causar problemas de calidad del aire, el suelo y el agua debido a las emisiones presentadas (Jang, Yoo, Oh, & Iwasaki, 1998).

El primer método es reutilizar, cuando uno o dos neumáticos de un automóvil están desgastados, con frecuencia se reemplaza el juego completo por uno nuevo. Muchas tiendas productoras y/o comercializadoras de neumáticos clasifican este recurso como utilizables para la reventa. Estos neumáticos a menudo se venden para segundos autos. No se sabe cuántos neumáticos usados se están reutilizando actualmente, pero una porción significativa (50% en los EE. UU.) De neumáticos usados se está utilizando actualmente. El segundo método utilizado es el Recauchutado, En 1998 habían más de 1900 instalaciones de recauchutado en los EE. UU. Y Canadá. Sin embargo, el número se está reduciendo debido a la disminución de los mercados de recauchutado de pasajeros (baja demanda). La disminución se debe principalmente a los bajos precios de los neumáticos nuevos que contribuye así con un alto porcentaje de adquisición de los mismos. Por otro lado, los neumáticos de camión a menudo se recauchutan tres veces antes de desecharse y el negocio de recauchutado de neumáticos de camión está aumentando. Otro método utilizado es el reciclaje de los neumáticos, la trituración o división de neumáticos se está volviendo cada vez más común como parte del proceso de eliminación. La trituración puede reducir el volumen de los neumáticos hasta en un 75%. Esto puede reducir los costos de transporte en un 30–60% simplemente porque se requieren menos viajes y se pueden lograr más fácilmente los pesos máximos de transporte. Las compañías de trituradoras cobran de \$ 19–75 por tonelada para triturar llantas desechadas en los Estados Unidos (Jang et al., 1998).

3.1.7. Europa occidental y oriental, la etapa final de los neumáticos describe la ubicación final donde podrían llegar. El término 'neumático usado' define un neumático al final de su primer ciclo de vida. Se distinguen dos subtipos de neumáticos usados. El 'neumático parcialmente desgastado' es un neumático usado que puede ser reutilizado o recauchutado directamente. La 'llanta gastada' o 'desgastada' es una llanta usada que no se puede reutilizar para su propósito original, pero puede tener un uso adicional como material o energía. Los neumáticos gastados se usan principalmente para la recuperación o el reciclaje de materiales y/o componentes. Las opciones para recuperar material incluyen molienda mecánica, molienda criogénica, recuperación y pirólisis (Van Beukering & Janssen, 2001).

Tabla 1. Incluye solo neumáticos para motocicletas, automóviles y camionetas

País	Volumen toneladas métricas	Porcentaje del volumen total procesado por opción individual					
		Recauchutado	Aplicación física	Recuperación de material	Recuperación de energía	Vertedero	Exportación neta
Bélgica	70000	11	8	14	25	42	n.a.
República Checa	60000	27	5	8	25	35	n.a.
Dinamarca	19000	26	8	14	9	49	0.5
Francia	375000	20	7	7	15	47	4
Alemania	600000	20	n.a.	14	45	21	n.a.
Italia	260000	22	n.a.	15	23	40	n.a.
Países Bajos	65000	37	n.a.	8	32	0	23
Noruega	33000	4	n.a.	n.a.	42	44	10

España	139000	25	8	9	1	58	n.a.
Suecia	60000	5	7	12	64	5	7
Reino Unido	370000	31	5	11	27	26	n.a.

Fuente: (Van Beukering & Janssen, 2001)

4. IMPACTO AMBIENTAL Y APROVECHAMIENTO DE LAS LLANTAS USADAS EN COLOMBIA

4.1. IMPACTO AMBIENTAL

Colombia cada año importa entre 5.5 y 6.7 millones de unidades de neumáticos. Entre los años 2012 -2015 la cantidad de vehículos en las carreteras colombianas aumentaron aproximadamente 3.8 millones a 12 millones. Los residuos que éstas generan después de su vida útil son altamente resistentes a la biodegradación natural o la descomposición fotoquímica (Park, Díaz-Posada, & Mejía-Dugand, 2018).

En Colombia los neumáticos fuera de uso se han convertido en un problema, pues según estudios hechos por varias fuentes, establecen que aproximadamente en el año 2015, cinco millones de llantas fuera de uso son descartadas. El gran número de vehículos que incrementan cada año es alto pues se tiene que el 80% de contaminación en Colombia se debe en parte al uso de medios de transporte donde generan afecciones en el aire según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. También cabe resaltar que el transporte es uno de los principales sectores de la economía nacional, demostrado por el Producto Interno Bruto (PIB), de acuerdo a las estadísticas del DANE, dice que es la segunda actividad económica de mayor crecimiento demostrado por los reportes trimestrales del año 2017 (Sánchez Píazon, 2018).

En Bogotá las llantas fuera de uso siguen siendo un tema preocupante pues el crecimiento de este residuo pone la capital en riesgo ambiental, este impacto negativo está generado por el manejo inapropiado que se le da a este residuo, por ejemplo el incorrecto almacenamiento de llantas, trae consecuencias con la reproducción, crecimiento de los mosquitos y roedores debido a las aguas que se estancan por la forma que esta tiene, como también el incendio en lugares donde se almacenan las llantas sin la debida precaución, mantenimiento, y mínimos controles en el tema de almacenaje, también por el deterioro del entorno, del paisaje, contaminación visual. Además, se tiene algunos puntos críticos de la capital donde se ve contaminada; localidades de Usaquén, Suba, Fontibón, evidenciando que estos espacios públicos se encuentran afectados por el arrojado de llantas usadas, las cuales no reciben tratamiento alguno (Fuentes & Trujillo, 2015).

En el departamento de caldas la capital de Manizales la cantidad de automóviles comprados ha aumentado como consecuencia del tratado de libre comercio de América del norte a causa de esto la compañía de saneamiento de la ciudad detectó problemas como los ya mencionados en Bogotá de los cuales son dos, el primero los neumáticos fuera de uso son portadores de enfermedades, siendo estos el mejor lugar de criadero de mosquitos, y el segundo la creación de incendios, presentando impactos negativos ecológicos y ambientales (Costa-Salas, Sarache, & Überwimmer, 2017).

Otra localización como lo es la ciudad de Tunja, Boyacá, según el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) estimo que para el año 2018 habría 199.137 habitantes, donde dice que equivale al 12% de la población del año 2017, como consecuencia también los vehículos aumentarían; provocando que las unidades de llantas usadas crezcan también, en la cual el impacto que estas generen podrán verse reflejadas de manera negativa en la salud de la comunidad, el medio ambiente, imagen y sanidad de la ciudad (Antonio et al., 2017).

En Colombia las llantas que llegan a su vida útil son exportadas de manera ilegal, se estima un porcentaje aproximado de un 10 % de este neumático a los países como Venezuela y Ecuador, además la eliminación incontrolada y la quema ilegal de llantas reciclables sigue siendo frecuente (Park et al., 2018).

4.2. APROVECHAMIENTO ÓPTIMO DE LAS LLANTAS USADAS EN COLOMBIA

El programa Rueda Verde, es una corporación Pos consumo de llantas usadas, un colectivo de aproximadamente 86

empresas de neumáticos que cubren aproximadamente el 90% de la cuota de mercado del país (Park et al., 2018) cuyo objetivo es la fabricación y/o importación de llantas en Colombia; este grupo colectivo se une para generar un impacto ambiental positivo a nuestro entorno y cumplir con la norma ambiental vigente que actúa frente al uso que se le da a este desecho. Esta idea va de la mano con la Asociación Nacional de Empresarios Nacionales ANDI.

Entre el año 2012 y el año 2016, alrededor de 140 a 280 empresas informaron importaciones de neumáticos a Colombia. Falta información sobre la producción nacional de neumáticos, pero se sabe que solo una empresa, Goodyear de Colombia SA, actualmente produce y comercializa neumáticos en Colombia, mientras que el otro productor líder de neumáticos, Industria Colombiana de Llantas SA, cerró en 2013 (Park et al., 2018).

Lo anterior demuestra que el mercado de neumáticos en Colombia depende principalmente de las importaciones que se realicen y carece de capacidades de valor aguas arriba. Según la resolución 1547, los productores de neumáticos (aquellos que producen más de doscientas unidades de neumáticos al año) e importadores (aquellos que importan más de cincuenta unidades al año) llevan consigo una obligación financiera y física/operativa para la gestión adecuada cuando los neumáticos llegan al final de su vida útil durante los diferentes procesos de descontaminación y aprovechamiento (recolección, el transporte, el tratamiento y el procesamiento). Tienen que formular, presentar e implementar un esquema de gestión de residuos (EPR) para cumplir con los objetivos y/o metas de recolección requeridos, y a su vez financiar dicha gestión sin sobrepasar los costos. Los productores e importadores de neumáticos también están a cargo de diseñar y pagar programas de divulgación y educación pública para informar a los consumidores finales sobre su devolución para su determinado proceso (Park et al., 2018).

Este programa pretende aplicar la responsabilidad extendida al productor y/o importador, generando lugares de transporte, conductos, canales, en el cual los consumidores tengan la facilidad de devolver las llantas cuando estas lleguen a su vida útil, la idea de esta devolución consiste en gestionar la incorporación de las mismas como materia prima con miras a nuevos procesos productivos.

El programa tiene acuerdos con gestores que se encargan del aprovechamiento y valorización de las llantas usadas mediante un sistema con el nombre de Post consumo de Llantas Rueda Verde. Los gestores se encuentran en ciudades como Bogotá, Cali, Bucaramanga, Villavicencio, Yopal, Barrancabermeja, Barranquilla, San Andrés, Neiva, Armenia, Manizales, Pereira y Popayán, entre otras.

La Corporación Post consumo Rueda verde cuenta con un modelo de recolección, con más de 170 puntos autorizados a nivel nacional, para que los ciudadanos lleven sus llantas, a medida que éstas finalizan su vida útil. Así mismo, las empresas que tengan relación con esta actividad bien sean; productoras, importadoras y/o comercializadoras de estos residuos las puedan entregar a personal que esté a cargo de esta función, se tienen los montallantas, servitecas, centros de servicio, distribuidores y almacenes de las organizaciones que hacen parte del programa Post Consumo Rueda Verde, y que tienen buenos lugares para el almacenamiento temporal y seguro de las llantas; allí son recogidas por personas que desempeñan esta actividad en el Programa y procesadas técnicamente. La entrega de llantas usadas en estos lugares no necesita de inscripción previa por parte del generador y a su vez tampoco se generan certificados de aprovechamiento y valorización (Park et al., 2018).

En Colombia, hay alrededor de 22 compañías de desechos que ofrecen servicios de procesamiento y gestión de desechos de llantas, y alrededor de 87 recauchutadoras, incluidas 25 afiliadas a ANRE (Park et al., 2018).

En la Resolución 1457 de 2010, el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (actualmente el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible) describió los roles y actividades de las partes interesadas en el sistema EPR de neumáticos. La Resolución impuso obligaciones financieras y físicas para el manejo adecuado de los neumáticos al final de su vida útil, prohibiendo la disposición incontrolada y/o ilegal y/o inadecuada de los neumáticos a los productores e importadores de neumáticos, mientras que propuso roles de apoyo para otros actores en el neumático cadena de valor (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) (Park et al., 2018).

Además de los actores mencionados anteriormente, el sistema EPR requiere la colaboración de otros actores. Las

autoridades ambientales regionales controlan las actividades de las empresas de residuos mediante la emisión de licencias ambientales. Junto con las autoridades ambientales regionales, los municipios, la policía nacional y las empresas de servicios públicos apoyan las campañas de divulgación e información a la comunidad establecidas por los productores, con su autoridad para la seguridad y el uso de los espacios. El ejército militar es un actor particularmente importante en el sistema EPR de neumáticos. Es uno de los mayores consumidores de neumáticos, y comparte su infraestructura de envío y transporte, por ejemplo, para entregar neumáticos desde San Andrés (es decir, una isla en el Caribe) a Cartagena (es decir, una ciudad portuaria principal en el continente) y a las plantas de procesamiento (Park et al., 2018).

4.3. RELACIÓN CON LA NTC ISO 14001:2015

La problemática ambiental que afecta a naciones o estados es un factor que pone en marcha la implementación de acciones para mitigar estos problemas por medio de sistemas de gestión ambiental normatizados por cada país. El uso inadecuado de neumáticos desechados es uno de los problemas a estudiar para tomar medidas en la reutilización y aprovechamiento de estos.

En Colombia el reproceso de los neumáticos fuera de uso es aprovechado como materia prima para el proceso de otros productos, como también para generar energía, entre otros. Según la Corporación Rueda Verde dice que cumplen con las metas en cuanto a el aprovechamiento de este residuo, argumentando también que desde el año 2012 los residuos sólidos deben ser tratados de una manera especial, en el programa de pos consumo. Según información de organizaciones especializadas se compone por caucho (80 %), acero (15 %) y fibras (5 %) siendo estos insumos aprovechados en nuevos productos.

La norma 6981 del 2011, constituye directrices que son permitidos en cuanto al uso de los neumáticos, se tiene los siguientes: aprovechamiento en asfalto, en pistas de patinaje y canchas sintéticas, también en parques infantiles y lugares de deporte, además como materia prima para materiales aislantes en edificios e infraestructura. En Colombia la norma tiene como objetivo organizar y controlar la comercialización de las llantas, obligándolos a implementar y mantener en constante revisión y actualización un sistema de gestión ambiental de las llantas fuera de uso; con la meta de proteger y contribuir con el medio ambiente.

La ISO 14001:2015 en su aplicación da una serie de pasos que se pueden desarrollar y van de la mano con el tema de reciclaje y la reutilización de llantas, como primer paso se debe instaurar el “objetivo ambiental y su planificación”, el cual debe estar alineada con la política ambiental, pues se debe tener en cuenta que no es lo mismo establecer una política ambiental en un departamento que en una capital de un país. (Sánchez Píonzon, 2018).

La ISO 14001:2015, abarca temas puntuales de aprovechamiento de los neumáticos usados, dado a que la organización tiene como obligación establecer controles, auditorias, planes y procedimientos para eliminar o disminuir los impactos ambientales adversos. Para implementar un Sistema de Gestión Ambiental se debe tener competencia, información requerida, y un objetivo específico apuntando a la minimización del impacto ambiental(Sánchez Píonzon, 2018).

En Colombia deben cumplir con una serie de requisitos, las empresas encargadas de tratar y aprovechar al máximo las llantas usadas, garantizando un uso adecuado, confiable y seguro de estos. Para la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la ISO 14001:2015 para los procesos de tratamiento y aprovechamiento de neumáticos usados, se emplea la mayor parte de la norma. Asimismo, debe estar alineada con los planes del gobierno bien sean nacionales, departamentales y locales, para que haya una conexión entre las instituciones de control, verificación y auditoria, con las partes que se les aplica las normativas vigentes (Sánchez Píonzon, 2018).

Algunas ventajas de adopción de un Sistema de Gestión Ambiental para el tratamiento y aprovechamiento de neumáticos son: se tiene en cuenta el tema de posconsumo para este tipo de residuo especial, eliminación o disminución de residuos, nuevas ideas para reciclar, ahorro en energía, o de material de acuerdo al uso que se le pueda dar a los

neumáticos, beneficios en la salud y mejor vista ambiental; por otro lado se tienen en cuenta algunas desventajas al momento de adoptar un SGA: contaminación en la capa de ozono por el aumento de los gases invernaderos, riesgo en la salud de las personas que mantienen en contacto con los neumáticos reutilizados (Sánchez Píonzon, 2018).

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se efectuó una revisión sobre el tratamiento y aplicaciones a las llantas usadas, siendo el caucho la principal fuente de este residuo. Aunque el proceso de reciclaje para la utilización de estos residuos implica retos tecnológicos que no son de bajo costo, la necesidad de disminuir el impacto ambiental, impulsa cada vez a realizar nuevos estudios, para encontrar mejores aplicaciones que permitan generar, además, un impacto económico.

En Colombia los residuos sólidos, en este caso los neumáticos fuera de uso, no son manejados adecuadamente y el crecimiento es alto debido a la alta demanda automotriz; no existe una cultura ciudadana para el buen reciclaje, son pocas las empresas dedicadas al proceso de aprovechamiento y no toda la materia prima es reutilizada. El gobierno ya está tomando consciencia sobre esta temática que afecta no sólo lo ambiental y ecológico, sino que puede generar problemas de salud pública; la ciudad de Bogotá es un ejemplo de esta situación y sus administraciones han tomado medidas de control para tratar de disminuir una crisis por estos desechos.

Darle un aprovechamiento a las llantas de caucho cuando éstas finalizan su vida útil ya sea para fines de reutilización, recauchutado, recuperación de materiales y energía u otros es de suma importancia, aparte de que contribuye con la sostenibilidad ambiental; a su vez promueve la creación de nuevos puestos de trabajo, esto debido a que se necesita de personal que se encargue de la recolección de dichos residuos para su reproceso, ya sea por medio de gestores externos o por los mismos productores y/o comercializadores; asimismo, el reciclaje de llantas de caucho contribuye con la creación de nuevos productos (innovación) debido a los materiales y componentes con las que son elaboradas que servirían como insumos para su determinado proceso.

El alto crecimiento del parque automotor va paralelo con el crecimiento de las llantas en Colombia y el resultado de los residuos genera una contaminación, aunque se podría preguntar, pero estos residuos no están en la clasificación de tóxicos, este contaminante se genera a la manipulación indebida y la disposición de estos mismos. La vida útil de los neumáticos no solo termina cuando el ciclo ha culminado en los automotores, se debe tener en cuenta el tiempo que demora en biodegradarse, muchos de estos residuos son destinados como relleno sanitario en los casos más controlados, pero en casos generales terminan en canales de aguas lluvias, espacios públicos, depósitos improvisados y en la incineración lo cual genera gases tóxicos para el medio ambiente y la población cercana, de esta forma el planteamiento lo que busca es ayudar a mitigar el impacto ambiental que causa la mala manipulación de estos residuos y generar una mejora en el ambiente y en lo económico (Arulrajah, Mohammadinia, Maghool, & Horpibulsuk, 2019).

Al encontrar mejores aplicaciones para la utilización de este residuo, implicaría grandes beneficios económicos, porque existe mucha materia prima por procesar y se tendría mejor equilibrio en el desecho de los mismos. A pesar que sus compuestos están siendo utilizados en las industrias, la construcción, metalúrgica y presentando avances en la explotación energética, en Colombia ha sido lento estos avances. Se puede evidenciar aplicaciones en la parte energética, en los hornos de cementeras Argos; en cuanto a infraestructura, sobresale la implementación del asfalto con gránulos de caucho, en la construcción de algunas vías.

Colombia debe impulsar y apoyar campos de investigación, que permitan desarrollar tecnologías y equipos necesarios

para el aprovechamiento de los residuos sólidos reciclables que contribuyan a mejorar los impactos negativos y generar fuentes de ingresos. Dar educación sobre el tratamiento y las consecuencias por el manejo inadecuado de estos residuos. Incentivar nuevas ideas de aprovechamiento. El Valle del Cauca también se encuentra afectado con esta problemática, debido a que no existe cultura en los lugares donde se cambian las llantas y de muchos ciudadanos, quienes mandan a depositarlas en cualquier lugar, sin importarles en donde, y por lo general son llevadas a los caños, a los basurero o quemadas a cielo abierto; para evitar la contaminación y alertas en salud pública, se requiere de nuevas ideas de implementación de estos recursos que más que desperdicio se conviertan en materia productiva generadoras de empleo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- alcaldia mayor de bogota D.C, I. de desarrollo urbano. (2015). *Mezclas Asfálticas En Caliente Con Asfaltos Modificados Con Caucho Por Via Humeda*. 560–11, 1–10.
- Antonio, M., Villamil, F., Hernando, C., & Mesa, M. (2017). *Modelo logístico de recolección de llantas para la ciudad de Tunja/Logistic model of tire collection for the city of Tunja*. 14(2), 108–118.
- Arulrajah, A., Mohammadinia, A., Maghool, F., & Horpibulsuk, S. (2019). Tire derived aggregates as a supplementary material with recycled demolition concrete for pavement applications. *Journal of Cleaner Production*, 230, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.084>
- Banguera, L. A., Sepúlveda, J. M., Ternero, R., Vargas, M., & Vásquez, Ó. C. (2018). Reverse logistics network design under extended producer responsibility: The case of out-of-use tires in the Gran Santiago city of Chile. *International Journal of Production Economics*, 205(September), 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.09.006>
- Costa-Salas, Y., Sarache, W., & Überwimmer, M. (2017). Fleet size optimization in the discarded tire collection process. *Research in Transportation Business and Management*, 24(August), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.08.001>
- Fuentes, J. D. L., & Trujillo, J. T. (2015). *ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LLANTAS USADAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C JULIÁN*. 79.
- Godlewska, J. (2017). Recovery and Recycling of Waste Tires in Poland. *Procedia Engineering*, 182, 229–234. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.173>
- Jang, J. W., Yoo, T. S., Oh, J. H., & Iwasaki, I. (1998). Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea. *Resources, Conservation and Recycling*, 22(1–2), 1–14. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(97\)00041-4](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(97)00041-4)
- Landi, D., Vitali, S., & Germani, M. (2016). Environmental Analysis of Different End of Life Scenarios of Tires Textile Fibers. *Procedia CIRP*, 48, 508–513. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.141>
- Lopez Gonzalez, A., & Pineda Santander, S. M. (2017). Diseño de un proceso de producción basado en la trituración mecánica para el aprovechamiento de las llantas fuera de uso en Santiago de Cali. (Vol. 111). <https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>
- Machin, E. B., Pedroso, D. T., & de Carvalho, J. A. (2017). Energetic valorization of waste tires. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(December 2015), 306–315. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.110>
- MARTÍN, G. Á. (2015). *Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica Curso 2014-15*. 98.
- Martínez-Barrera, G., del Coz-Díaz, J. J., Martínez-Cruz, E., Martínez-López, M., Ribeiro, M. C. S., Velasco-Santos, C., ... Brostow, W. (2019). Modified recycled tire fibers by gamma radiation and their use on the improvement of polymer concrete. *Construction and Building Materials*, 204, 327–334. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.177>
- MESA TRUJILLO, M. I., & PATARROYO DÍAZ, S. (2016). *PLAN DE NEGOCIO DIRIGIDO A LA RECUPERACIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS Y COMERCIALIZACIÓN DE GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ* (Vol. 147).
- Olivares, D., & Carmona, D. O. (2016). Planta de reciclaje de neumáticos de caucho. Comercialización de miga de caucho. *Facultad de Economía y Negocios, Plan de Ne.*

- Park, J., Díaz-Posada, N., & Mejía-Dugand, S. (2018). Challenges in implementing the extended producer responsibility in an emerging economy: The end-of-life tire management in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 189, 754–762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.058>
- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M., & Giraldo Vásquez, D. H. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 27–50. <https://doi.org/10.18359/rcin.2143>
- Pereira, M. M., Machado, R. L., Ignacio Pires, S. R., Pereira Dantas, M. J., Zaluski, P. R., & Frazzon, E. M. (2018). Forecasting scrap tires returns in closed-loop supply chains in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 188, 741–750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.026>
- Ramarad, S., Khalid, M., Ratnam, C. T., Chuah, A. L., & Rashmi, W. (2015). Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future. *Progress in Materials Science*, 72, 100–140. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.02.004>
- Saltos, A., Guerrero, H., Ordóñez, L., & Suárez, M. (2015). Elaboración de hormigones que minimicen el impacto al ambiente, empleando neumáticos usados de vehículos livianos y pesados, en la provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 2(3). <https://doi.org/10.26423/rctu.v2i3.63>
- Samarakoon, S. M. S. M. K., Ruben, P., Wie Pedersen, J., & Evangelista, L. (2019). Mechanical performance of concrete made of steel fibers from tire waste. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00259. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00259>
- Sánchez Pízon, M. C. (2018). *Proceso De Tratamiento Y Aprovechamiento De Neumáticos Y Su Relación Con La Iso 14001*. 21.
- Sebola, M. R., Mativenga, P. T., & Pretorius, J. (2018). A Benchmark Study of Waste Tyre Recycling in South Africa to European Union Practice. *Procedia CIRP*, 69(May), 950–955. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.137>
- Siddika, A., Mamun, M. A. Al, Alyousef, R., Amran, Y. H. M., Aslani, F., & Alabduljabbar, H. (2019). Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 711–731. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.108>
- Sostenible, M. de A. y D. (2017). *D9-Res 1326 De 2017-Norma.Pdf*.
- Van Beukering, P. J. H., & Janssen, M. A. (2001). Trade and recycling of used tyres in Western and Eastern Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 33(4), 235–265. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00082-9](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00082-9)
- VERA HOSTOS, A. L. (2016). *ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESAMIENTO DE LLANTAS USADAS EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL POR MEDIO DE TRANSESTERIFICACIÓN SUPERCRÍTICA* (Vol. 147).
- Winternitz, K., Heggie, M., & Baird, J. (2019). Extended producer responsibility for waste tyres in the EU: Lessons learnt from three case studies – Belgium, Italy and the Netherlands. *Waste Management*, 89, 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.023>