



Avance en la implementación de la Resolución 1326 de 2017 “por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones” en Colombia.

Luz Karime Montoya López

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Tutor
Faber Esteban Gil Acosta, Ingeniero Sanitario

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gestión Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia

2021

Cita	(Montoya López, 2021)
Referencia	Montoya López, L. K. (2021). <i>Avance en la implementación de la Resolución 1326 de 2017 “por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones” en Colombia</i> . [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Gestión Ambiental, Cohorte XXI.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

RESUMEN

El propósito de esta monografía es realizar un análisis sobre la gestión de llantas usadas en Colombia basado en el avance en la implementación de la Resolución 1326 de 2017, con el fin de indagar acerca de la generación, disposición y manejo de las llantas usadas y sobre el aprovechamiento y cumplimiento de normatividad a través de los sistemas y programas de recolección selectiva y gestión ambiental de las mismas, por otra parte, se hace necesario investigar y realizar un análisis sobre las tendencias internacionales más destacadas en cuanto a programas posconsumo que se aplican mediante la responsabilidad extendida del productor, conociendo entonces el estado de avance de Colombia frente a estos casos de estudio.

Palabras Claves: Llantas usadas, Responsabilidad extendida del productor, Sistemas de recolección selectiva, Gestión ambiental.

ABSTRACT

The purpose of this monograph is to conduct an analysis on the management of used tires in Colombia based on the progress in the implementation of Resolution 1326 of 2017, in order to inquire about the generation, disposal and management of used tires and on the use and compliance with regulations through selective collection systems and programs and environmental management of the same, On the other hand, it is necessary to investigate and analyze the most important international trends in terms of post-consumer programs that are applied through the extended producer responsibility, knowing then the state of progress of Colombia in relation to these case studies.

Keywords: Used tires, Extended producer responsibility, Selective collection systems, Environmental management.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos:.....	7
MARCO TEÓRICO.....	8
Características de las Llantas.....	8
Impactos Ambientales por la Inadecuada Gestión de Llantas Usadas	10
Responsabilidad Extendida del Productor – REP en el Mundo.....	10
Chile	11
México.....	12
Costa Rica.....	12
Brasil	13
Alemania.....	14
España	14
Responsabilidad Extendida del Productor – REP en Colombia	15
Gestión de Llantas Usadas en el Mundo	16
Chile	16
México.....	17
Costa Rica.....	18
Brasil	19
Alemania.....	19
España	20
Gestión de Llantas Usadas en Colombia	20
Economía Circular Aplicada como Gestión de Llantas Usadas en Colombia	23
Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental - SRS de Llantas Usadas.....	24
Sistemas de Tratamiento para Llantas usadas.....	27
Trituración	28
Pirolisis.....	29
Termólisis	30
Reutilización	31
MARCO NORMATIVO.....	34
METODOLOGÍA.....	36

RESULTADOS	37
FASE I.....	37
FASE II	38
FASE III.....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los problemas ambientales son consecuencia de un consumo desmedido de los recursos naturales, además de los incalculables efectos derivados de la inadecuada gestión de los productos residuales de las actividades antrópicas, que generan una modificación y alteración al espacio físico y principalmente contaminación del medio ambiente.

Diariamente se generan residuos cotidianos con características especiales y de peligrosidad. Estos residuos deben tener una gestión diferenciada y especial, evitando que sean dispuestos en los rellenos sanitarios y que reduzcan la vida útil de los mismos, sin embargo, en la mayoría de casos se realiza una inadecuada gestión, pues estos son introducidos en la cadena de gestión de los residuos ordinarios. En Colombia las llantas usadas son consideradas como un residuo especial por sus características, sin embargo, las llantas están compuestas de sustancias con características peligrosas, las cuales generan afectaciones no solo al medio ambiente si no también afectaciones sobre la si no se realiza un manejo adecuado, por tal motivo requieren ser devueltas a sus productores para que estas sean aprovechadas, evitando así que sean abandonadas o quemadas a cielo abierto en actividades informales (MADS, 2021).

Precisamente la inadecuada gestión de estos residuos ha llevado a que se planteen políticas estrictas de aprovechamiento y justamente, estas acciones apuntan a cambiar actitudes, prácticas y metodologías de consumo por medio de alternativas que permitan la protección y sostenimiento del medio ambiente y de tal manera garantizar una mejor calidad de vida para el mismo ser humano y su entorno. Estas nuevas alternativas para el manejo de residuos posconsumo, que se consideran en la normatividad ambiental, establecen acciones que ayudan a su adecuado manejo.

En el ámbito nacional el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió la Resolución 1326 de 2017 “*Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones*”, siendo este “*un instrumento de gestión y control ambiental, al que los importadores, fabricantes y comercializadores deben acogerse como parte del cumplimiento de su responsabilidad ambiental empresarial frente a los consumidores y ante la sociedad en general con el fin de prevenir y controlar la degradación del ambiente*” (ANLA, 2019), mediante el aprovechamiento y la reincorporación de estos residuos al ciclo de vida, estas acciones se convierten entonces en una oportunidad para lograr que dichos residuos sean reutilizados, disminuyendo los impactos ambientales.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar la gestión de llantas usadas en Colombia basado en los avances en la implementación de la Resolución 1326 de 2017.

Objetivos Específicos:

- Identificar los impactos ambientales de la gestión inadecuada de llantas usadas.
- Identificar el sistema y los programas de recolección selectiva de llantas usadas que cumplan con lo establecido en la Resolución 1326 de 2017.
- Realizar un análisis comparativo del estado actual de los programas posconsumo de llantas usadas en Colombia con respecto a las tendencias internacionales más destacadas.

MARCO TEÓRICO

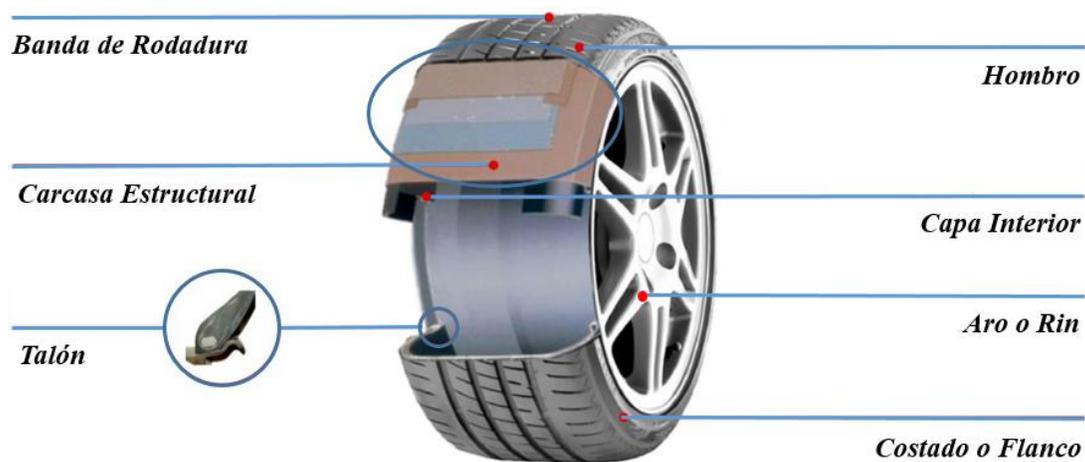
Características de las Llantas

En el año 1839 el norteamericano Charles Goodyear, fue el primero en descubrir el proceso de vulcanización, siendo este el tratamiento con el que al caucho se le da solidez y resistencia para su fabricación (Zarini, 2011), más adelante en 1880 el escocés Robert W. Thomson, un ingeniero fue el primero en patentar las llantas neumáticas llenas de aire, sin embargo, no fue hasta que en 1888 el irlandés John Boyd Dunlop de Belfast, tomo posición de inventor para su época (Continental, 2012).

Según la RAE “una llanta es una pieza circular, generalmente de metal, situada en el centro de una rueda y sobre la que se coloca un neumático y que va unida al eje del vehículo”, pero en los países Latinoamericanos como Colombia, la llanta hace referencia a la banda externa, mientras que a la pieza metálica se le llama “Rin”.

Figura 1.

Estructura de una llanta.



Adaptada de (Carlinder, 2021).

La llanta está compuesta en su mayoría por caucho (48%) que le dan estructura y permiten la deformación, carbón (22%) mejora la oxidación, el óxido de zinc (1 %) funciona como catalizador, el material textil (5%) y el acero (15%) son el esqueleto estructural, azufre (1%) permite la vulcanización y otros elementos (12%) (Naupari, 2018). En cuanto a su composición química, depende del país y el uso al que se destinen.

Tabla 1*Composición química elemental de una llanta*

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

Nota. Fuente: Tomada de (Zarini, 2011).

En Colombia, actualmente existen en total 13 empresas dedicadas a la fabricación de llantas, sin embargo, el sector de llantero en el país es inmensamente importador, para el año 2020, 33 empresas exportaron llantas y 397 importaron llantas (Bancolombia, 2021).

Tabla 2*Empresas dedicadas a la fabricación de llantas y neumáticos en Colombia*

Empresa	Localidad
Goodyear de Colombia S A	Yumbo
Grupo Editorial Edicol Ltda	Cali
Imporllantas Ltda	Villavicencio
Sunson S.A.S.	Bogotá
Automatizaciones Icaro S.A.S.	Bogotá
Tovelco S.A.S.	Bogotá
Heost Ltda	Bogotá
Editorial Nueva Oportunidad Eno Ltda en Liquidación	Bogotá
Editorial Edicentro Centro Editorial para la Concejería Educativa familiar E U	Bogotá
Indubell Limitada En Liquidación	Bogotá
Intérpretes de Dios	Bogotá
Ventana Pedagógica Grupo Editorial S A S	Bogotá

Nota. Fuente: Tomado de Informa Directorio & Bancolombia, 2021.

Entre los años 2016 y 2019 se importaron cerca de 50,6 millones de llantas; 20,1 millones para camionetas y automóviles; 24,5 millones para motos y 5,6 millones para camiones y buses (ANDI, 2019).

Impactos Ambientales por la Inadecuada Gestión de Llantas Usadas

Cada año en el mundo se generan de 2 mil millones de neumáticos usados, lo que corresponde a alrededor de 13,5 millones de toneladas (OPONEO, 2020) especialmente en Colombia el total de llantas usadas que terminaron en calles y rellenos sanitarios es de 958.500 unidades (Semana, 2021).

Durante años, las llantas usadas se han convertido en un tema de gran importancia debido a las afectaciones que produce al medio ambiente y los riesgos de salud pública que genera su inadecuada disposición y almacenamiento, puesto que no se ha realizado manera segura, por este motivo, en los años 80s nace el “Convenio de Basilea” con el objetivo de *“proteger el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos derivados de la generación, el manejo, los movimientos transfronterizos y la eliminación de los desechos peligrosos y otros desechos”*.

Este convenio obliga a los países a garantizar que los residuos peligrosos y otros residuos establecidos en el convenio, se gestionen de manera sostenible esperando que la generación de residuos disminuya en la fuente, para tal fin se aplican unas directrices por medio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, comprendido como: “Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho” donde se consideran las necesidades de cada país comprometido con este convenio, donde se establecen las medidas y controles para la gestión de estos residuos en su almacenamiento, transporte, tratamiento, reutilización, reciclado, recuperación y eliminación final. En total 170 países firmaron el convenio y entre ellos se encuentra Colombia. (PNUMA, 2011).

Según el Convenio de Basilea, se presentan dos grandes afectaciones tanto para el medio ambiente como para la salud humana, en primer lugar, la incineración de llantas usadas puede producir un gran incendio difícil de controlar aparte de la generación de gases y emisiones atmosféricas y, en segundo lugar, las llantas abandonadas acumulan humedad, formándose *“el ambiente ideal para la reproducción de mosquitos y otros vectores de transmisión de enfermedades como el dengue y la fiebre amarilla”* (PNUMA, 2011).

Responsabilidad Extendida del Productor – REP en el Mundo

En el año 1990 el sueco Thomas Lindhqvist, en su investigación “Modeller för förlängt producentansva” define el concepto de responsabilidad extendida como:

“Un principio de política para promover mejoras ambientales totales del ciclo de vida de los sistemas de productos extendiendo las responsabilidades del fabricante del producto a varias partes de todo el ciclo de vida del producto, y especialmente a la devolución, reciclaje, y disposición final del producto” (Pedraza, 2018).

Esto con el fin de apoderar la responsabilidad a los fabricantes y/o productores, pero no desde un tema obligatorio, sino que, al contrario, sirva de incentivo para el desarrollo de nuevas estrategias económicas conscientes de los costos, pero también con el fin de con de mejorar el aprovechamiento de los productos mediante tarifas especiales y comprometer otros actores dentro de la cadena del producto.

Para entrar en contexto y conocer el modelo de REP en el mundo, se toma como referencia cuatro países de Latinoamérica, (Chile, México, Costa Rica y Brasil) y países de la Unión Europea, con los casos específicos de Alemania y España propulsores de la figura REP en distintas modalidades, los resultados fueron los siguientes:

Chile

La REP fue implementada y formalizada a través de la Ley 20920 de 2016, por medio de la cual se *“Establece Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje”*. Esta ley chilena establece y define que:

“La responsabilidad extendida del productor corresponde a un régimen especial de gestión de residuos, conforme al cual los productores de productos prioritarios son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos de los productos prioritarios que comercialicen en el país”.

Lo que permite que un residuo generado por un producto, vuelva al productor y mediante el modelo de economía circular retorne al mercado como un nuevo material, todo este esquema se emplea articuladamente con los Sistemas Integrales de Gestión - SIG, estos establecen la ruta logística de devolución de residuos a los productores y mediante la Ley 20920, se estipula la obligación del productor a recibir los residuos recolectados en los SIG y garantizar su entrega a los gestores ambientales asumiendo el financiamiento de la gestión de residuos.

El almacenamiento, transporte y aprovechamiento y/o valorización de los residuos, se establecen en los SIG y estos deben implementar un Plan de Gestión donde se incorpore el modelo de ejecución y el modelo de financiamiento por parte del productor (Günter & Fernández 2018).

México

La REP no es contemplada como modelo por la legislación mexicana, puesto que en este país la responsabilidad no solo se ejerce hacia el productor, sino también a los consumidores; en este sentido, el modelo acogido por México es el de “Responsabilidad Compartida - REC”.

En el año 2003, mediante la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, obliga a la Federación en coordinación con la municipalidad a formular, implementar y dar control al “Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos - PNP GIR” (Robayo, 2020). Gracias a estas estrategias se define la REC como:

“El principio por el cual se reconoce que los residuos sólidos urbanos y de manejo especial se generan por actividades que satisfacen necesidades de la sociedad”.

Sin embargo, a pesar de que este modelo es financiado voluntariamente por la ciudadanía y por estrategias de la municipalidad y aun considerando que es un modelo autofinanciable por su valorización en la economía circular, es un modelo no asertivo, puesto que no obliga a los productores a garantizar la gestión para el aprovechamiento y/o disposición final de los residuos y por ende no se aplican acciones correctivas cuando se presenta una inadecuada gestión de los mismos, a esto se le suma igualmente, que la ciudadanía no se compromete debido a vacíos normativos en la promulgación de políticas públicas que aseguren una adecuada gestión eficiente.

Costa Rica

La REP se consagra en la Ley para la Gestión Integral de Residuos N° 8839 de 2010, esta ley menciona que:

“Los productores o importadores tienen la responsabilidad del producto durante todo el ciclo de vida de este, incluyendo las fases posindustrial y posconsumo. Para efectos de esta Ley, este principio se aplicará únicamente a los residuos de manejo especial, siendo estos que, por su composición, necesidades de transporte, condiciones de almacenaje, formas de uso o valor de recuperación, o por una combinación de esos, implican riesgos significativos a la salud y degradación sistemática de la calidad del ecosistema, por lo que requieren salir de la corriente normal de residuos ordinarios”.

Según esta ley costarricense, el Ministerio de Salud es quien clasificará los residuos de manejo especial y con base a esto los productores deberán gestionar estos residuos tomando alguna de las siguientes medidas:

“... ”

- a) *Establecer un programa efectivo de recuperación, reuso, reciclaje, aprovechamiento energético u otro medio de valorización para los residuos.*
- b) *Participar en un programa sectorial de residuos o por la naturaleza del residuo para su gestión integral, organizado ya sea por sector o por producto.*
- c) *Adoptar un sistema de depósito, devolución y retorno en el cual el consumidor, al adquirir el producto, dejará en depósito una cantidad monetaria que será recuperada con la devolución del envase o el producto.*
- d) *Elaborar productos o utilizar envases o embalajes que, por sus características de diseño, fabricación o utilización, minimicen la generación de residuos y faciliten su valorización, o permitan su eliminación en la forma menos perjudicial para la salud y el ambiente.*
- e) *Establecer alianzas estratégicas con las municipalidades para mejorar los sistemas de recolección y gestión integral de residuos”.*

Con esta ley se logra establecer legalmente un sistema donde se logra generar incentivos y es autofinanciado como parte de los servicios municipales.

Brasil

Al igual que en México, en Brasil también se acoge el modelo de la REC y esta se establece a través de la Ley N ° 12.305 por medio de la cual se establece la “Política Nacional de Residuos Sólidos” de 2010 esta ley considera que:

“Tanto el poder público, el sector empresarial y la sociedad civil son responsables por la gestión de los residuos generados, pero la implementación del sistema se realiza de manera individual y articulada”.

Este modelo se financia a través de acuerdos sectoriales, estos son firmados por los productores y el sector público, estos acuerdos establecen que los productores deben retribuir al sector público para la gestión de la recolección selectiva, no obstante, la Ley 12.305, indica que los productores deben sistematizar e implementar un modelo de gestión y reciclaje de residuos y tanto el sector público como la ciudadanía están obligados a participar a través de la Responsabilidad Compartida.

Alemania

La REP se formaliza con la Ley de Reciclaje y Gestión de Residuos o Ley de Economía Circular (Kreislaufwirtschaftsgesetz) de 1994 con su última versión en el 2016, siendo pionero en la implementación de la REP como estrategia de economía circular, esta ley indica que:

“Los productores estarán obligados a:

- *recuperar sus residuos y a realizar la valorización o aprovechamiento de los mismos y este tratamiento tendrá prioridad sobre la eliminación o disposición final. Estará asegurado en la distribución de los productos que se mantenga su idoneidad para el fin y que no se conviertan en desperdicio.*
- *Asesoramiento del público sobre las formas de prevenir, recuperar y eliminar los residuos, en particular en lo que respecta a los requisitos de recogida selectiva, así como a las medidas para evitar el cuidado del medio ambiente.*
- *Participación en los costos incurridos por los proveedores públicos de eliminación y otras personas jurídicas públicas para la limpieza del medio ambiente y la posterior recuperación y eliminación de residuos compatible con el medio ambiente, después de que los productos han sido utilizados y que fueron ya puestos en el mercado”.*

La gestión en la recolección, tratamiento, valorización y eliminación de los residuos en este país, la realiza la municipalidad, gracias al financiamiento del productor, sin embargo, en Alemania la comunidad ciudadana participa activamente en el proceso de reciclaje y separación de residuos.

España

La REP fue implementada y formalizada a través de la Ley 22/2011 por medio de la cual se establece la “Gestión de residuos y Suelos Contaminados”. En resumen, esta ley española establece:

“En aplicación de la REP y con la finalidad de promover la prevención y de mejorar la reutilización, el reciclado y la valorización de residuos, los productores de productos que con el uso se convierten en residuos podrán ser obligados a:

- *Asegurar la valorización y/o eliminación de los productos que se han convertido en residuos de conformidad con lo establecido en esta Ley.*
- *Desarrollar, producir y comercializar productos aptos para usos múltiples, duraderos técnicamente y que, tras haberse convertido en residuos, sea fácil y clara su separación y puedan ser preparados para su reutilización o reciclado de una forma adecuada y sin riesgos y a una valorización y eliminación compatible con el medio ambiente.*

- *Asumir la gestión de los residuos y la responsabilidad financiera de estas actividades, ofrecer información a las instalaciones de preparación para la reutilización sobre reparación y desguace, así como información accesible al público sobre en qué medida el producto es reutilizable y reciclable.*
- *Establecer sistemas de depósito que garanticen la devolución de las cantidades depositadas y el retorno de residuos para su reutilización o tratamiento para garantizar su correcta gestión, cumpliendo con los objetivos de gestión fijados en la normativa vigente”.*

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - MAGRAMA (2016), mediante la legislación española y según la REP, se otorga competencia a los SIG para la gestión de residuos, los cuales pueden ser constituidos de manera colectiva o individual.

Responsabilidad Extendida del Productor – REP en Colombia

La REP en Colombia se convierte en un instrumento importante no solo para realizar una gestión de residuos adecuada, sino que genera un cambio a las acciones indirectas de los consumidores y también en el cambio de perspectiva en los hábitos y acciones de los productores que permiten la implementación de políticas, programas e instrumentos que apuntan al crecimiento del ciclo de vida de los productos.

En Colombia, la REP se implementó en el año 2007, a través de los planes de gestión de devolución de residuos posconsumo, según la Agencia Nacional de Licencias Ambientales –ANLA, hasta el momento hay 296 planes destinados a la gestión de medicamentos vencidos, baterías plomo ácido y envases de plaguicidas y 118 sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, computadores, bombillos y pilas. (Gobierno de Colombia, 2019) además, en el año 2010, el MADS formalizó la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, con el propósito de implementar y regular la REP para el año 2019, a esto sumado que en el país cada programa posconsumo se encuentra normado dentro del sistema de REP.

Según el MADS, se ha evidenciado las siguientes oportunidades para la REP de llantas usadas:

“...

(i) promover el desarrollo de alternativas tecnológicas de aprovechamiento de llantas usadas que permitan dinamizar nuevos mercados. Actualmente el aprovechamiento está concentrado principalmente en trituración mecánica,

- (ii) promover el reencauche técnico dados los beneficios ambientales del aumento de la vida útil antes de ser considerada un residuo,*
- (iii) dinamizar la demanda de gránulo de caucho reciclado a nivel nacional para garantizar su reincorporación al ciclo productivo,*
- (iv) Consolidar la información sobre las características del mercado de gránulo de caucho reciclado,*
- (v) desarrollar instrumentos técnicos y económicos para dinamizar el mercado del reciclaje de llantas”.*

Gestión de Llantas Usadas en el Mundo

La generación de llantas usadas, no solo ha sido un problema ambiental si no también un problema de seguridad y salud pública a nivel mundial durante décadas, puesto que se generan diariamente millones de estas y como principal alternativa para el manejo de las mismas se encuentra la disposición final en rellenos sanitarios, es importante resaltar que esta medida no reduce los impactos negativos, ya que igualmente se relacionan problemas de proliferación de vectores por estancamiento de aguas en su interior, tienen alta resistencia biológica a la degradación y son altamente inflamables, por tal motivo, como indican Figueroa y colaboradores (2021), la disposición final de este residuo en rellenos sanitarios ya no está permitida en la mayoría de los países, incluyendo Colombia.

Para entrar en contexto y conocer las diferentes estrategias de gestión de llantas usadas en el mundo, se toma como referencia cuatro países de Latinoamérica, (Chile, México, Costa Rica y Brasil) y países de la Unión Europea, con los casos específicos de Alemania y España. Los resultados fueron los siguientes:

Chile

Mediante la Ley 20920 de 2016 o Ley REP, se logró establecer el Decreto CVE 1881886 de 2021, por medio del cual se “Establecen las Metas de Recolección y Valorización y otras Obligaciones Asociadas de Neumáticos” este decreto de REP, se aplicará a todos aquellos productores que introduzcan llantas usadas en el mercado nacional, obligándolos a que se agrupen en un SIG, con el fin de financiar, formular e implementar la recolección, almacenamiento, transporte y tratamiento de las llantas usadas de todo el territorio nacional.

Con este decreto se pretende reciclar el 25% de las llantas usadas y recolectar el 50% de las mismas con una meta de reciclaje del 90% y del 100% para llantas del sector minero para el año 2030.

Como resultado de este decreto, en Chile se fortaleció la “Cámara de la Industria de Neumáticos de Chile CINC”, como único SIG para llantas usadas, siendo este un colectivo con cuatro empresas vinculadas que se agruparon en virtud de la prevención y valoración de llantas usadas. Este SIG establece como mecanismo el incentivo mediante el depósito y reembolso para reducir la generación de llantas usadas a través del tratamiento de reencauche, de este modo, al usuario se le reembolsa la suma equivalente del valor del manejo de las llantas usadas (deposito) y este se efectúa en las empresas autorizadas por las autoridades para el tratamiento de reencauche (CINC, 2018).

México

Conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, por medio de la cual se “Establecen los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo”, se desarrolla el “Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho - NUD” de 2015. Este plan se define como:

“Un instrumento de política ambiental que la Asociación Civil de Manejo Responsable de Llantas Usadas pone a disposición de los diversos sectores como una solución ordenada, eficiente y adecuada a la problemática que representa el manejo actual de los neumáticos usados de desecho en el País, con el objeto de reducir el impacto social, ambiental y económico negativo que tienen estos residuos”.

En este plan se desarrolla la ruta de acciones para la gestión de llantas usadas con el propósito de que las llantas usadas puedan llegar a un co-procesamiento de aprovechamiento, donde se destaca la industria cementera, pues gran parte de llantas usadas involucradas y gestionadas a través de este plan, son usadas como combustible alterno, mediante el proceso de pirolisis, también se resalta el reciclaje a través de la trituración con el fin de obtener materia prima para pisos, cemento hidráulico asfalto, pisos sintético, entre otros y por último el regrabado de llantas.

Como se sabe en México se implementa el modelo de REC y este se desarrolla en el plan de manejo de NUD de la siguiente manera:

“Etapa 1: Limpieza y Estandarización

Se firma un convenio con Estados y Municipios, en el que los actores se comprometen a realizar una limpieza inicial de todas las áreas del Municipio en cuestión, utilizando para

ello a la comunidad, al personal del Gobierno del Municipio, el apoyo de Importadores y Distribuidores, a los fabricantes y a grupos de voluntarios, esto con el fin de concientizar a la población en general sobre la importancia de manejar adecuadamente este residuo para evitar sus efectos adversos.

Se firman convenios también para asegurar que las empresas seleccionadas como destino final, estarán recibiendo los residuos recolectados.

Durante esta etapa se trabaja con la comunidad y el municipio, en la recuperación de áreas verdes, en la promoción de trabajos con neumáticos usados para la fabricación o construcción de juegos infantiles, bardas perimetrales o el trabajo con artesanías, entre otros.

Etapa 2: Seguimiento

Se asegura que el sistema o modelo siga trabajando, que las áreas de limpia estén recolectando los neumáticos, que el centro de acopio esté funcionando y que las empresas seleccionadas como destino final estén recibiendo el material”.

Costa Rica

A través del Decreto 33745 de 2007 se establece el “Reglamento de sobre Llantas de Desecho”, mediante este decreto se obliga a los productores a formular e implementar un plan de desechos sólidos y un plan de manejo de desechos sólidos y aspectos de control específicamente para llantas usadas, donde se deberá consignar la gestión para el almacenamiento, Transporte y tratamiento de las llantas usadas.

Las únicas empresas vinculadas al sistema de gestión autorizadas por el Ministerio de Ambiente y Energía - MINAE son: Fundellantas, quienes reutilizan las llantas en obras de ingeniería como muros de contención o llantiones para la estabilización de suelos y taludes y Riteve, quienes a través del proceso de pirolisis convierten las llantas en combustible alterno, sin embargo, el MINAE autoriza otros tratamientos para llantas usadas tal y como se menciona en el artículo 7 del decreto 33745:

“...

- *Agregados para el pavimento asfáltico.*
- *Producción de polvo de hule.*
- *Generación de energía eléctrica”.*

Brasil

Aunque en Brasil se hable de REC, lo cierto es que para la gestión de llantas usadas se usa el modelo de REP, pero no usa este concepto, esto se prueba mediante la Resolución CONAMA No. 416 de/2009 por medio de la cual “Prevé la prevención de la degradación ambiental causada por llantas de desecho y su destino ambientalmente apropiado, y otras medidas”, esta resolución obliga a los productores de llantas a elaborar e implementar un plan de manejo para la recolección, almacenamiento y disposición de llantas usadas, este plan debe ser difundido y estar a disposición del Sistema Nacional de Medio Ambiente – SISNAMA, por otro lado también los obliga a establecer puntos de acopio para dar cumplimiento al plan de manejo, pero siempre con el concepto de la articulación entre todos los sectores del país.

En este sentido, en Brasil se creó La Asociación Nacional de la Industria de Neumáticos (ANIP) y con el fin de fortalecer las iniciativas de los planes de manejo a través del “Programa Nacional de Recogida y Eliminación de Neumáticos de Desecho” se creó la organización RECICLANIP, considerada como la estrategia de gestión de llantas usadas más grande de Latinoamérica.

RECICLANIP, destaca el proceso de pirolisis, cerca del 70% de llantas usadas se utilizan como combustible alternativo en los hornos de cemento, además a este proceso también se usa la trituración para elaboración de canchas deportivas, asfalto de goma y laminación para suelas de zapato (RECICLANIP, 2020).

Alemania

No existe una norma direccionada a la gestión de llantas usadas, pues a través de la misma Ley de Reciclaje o Ley de Economía Circular (Kreislaufwirtschaftsgesetz) de 1994, desarrolla las estrategias para dicha gestión, siendo esta ley amplia y sólida.

En las ciudades de Oranienburg, Dorsten y Kammlach se encuentra “Genan” la empresa recicladora de llantas usadas más grande del mundo, en esta empresa se procesan cerca de 400.000 toneladas de llantas usadas, pero además de ser las más grande, Genan cuenta también con una instalación tecnológica para realizar el proceso de termólisis criogénica, con esta planta logra ofrecer una amplia gama de gránulos garantizando el material excelso libre de otros materiales (umwelttechnik, 2019), por lo tanto a través de este sistema Genan trabaja de manera articulada con grandes empresas de la industria de neumáticos logrando uno de los avances más importantes en la actualidad para llegar al “Cradle to Cradle”, este concepto que se refiere a la economía circular como tal.

Además del uso de trituración mecánica, al igual que en el resto del mundo, es común en Alemania el proceso de reencauche y el proceso de pirolisis para la obtención de energía y otros residuos que se generan y pueden ser usados como materias primas, principalmente su aplicación es en plantas de energía y calor y cementeras (OPONEO, 2020).

España

Mediante el Real Decreto 731/2020, “por el que se modifica el Real Decreto 1619/2005, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso” se define que:

“El productor de neumáticos está obligado a organizar la gestión, o a gestionar, los neumáticos fuera de uso generados por los neumáticos que fueron puestos por él en el mercado nacional de reposición, bien porque le sean entregados por los generadores o por los poseedores de estos o, en su caso, por los puntos limpios, bien porque sean recogidos por él mismo. Asimismo, garantizará que todos estos neumáticos fuera de uso se gestionan debidamente y todas las veces que resulte necesario, de conformidad con el principio de jerarquía recogido en el artículo 8.1 de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados”.

Por lo anterior en España, se unió el sector llantero para conformar el Sistema Integrado de Neumáticos Usados – SIGNUS, esto con el fin de asegurar su recolección y aprovechamiento considerando esta secuencia de priorización: 1. Reencauche 2. Uso para obras civiles, drenajes y rellenos 3. Combustible de sustitución y 4. Trituración (mezclas bituminosas, pistas deportivas, suelos de parques infantiles, canchas sintéticas, etc.) (SIGNUS, 2021).

Gestión de Llantas Usadas en Colombia

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, implementó una estrategia con el fin de fortalecer la gestión adecuada de las llantas usadas a través de los programas posconsumo, dichos programas garantizan la gestión y manejo de residuos, que han sido establecidas como de interés prioritario como las llantas usadas, logrando entonces que gestionen de una manera productiva. En este sentido las llantas usadas deben devolverse a sus productores y/o gestores, aprobados por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, para que se garantice su adecuada gestión y no generen efectos al medio ambiente y a salud pública. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020), por tal motivo se expide la Resolución la 1326 de 2017 “Por la cual se establecen los

Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones”, mediante la cual se derogó la Resolución 1457 de 2010.

Tabla 3

Comparativo Resolución 1457 de 2010 vs Resolución 1326 de 2017.

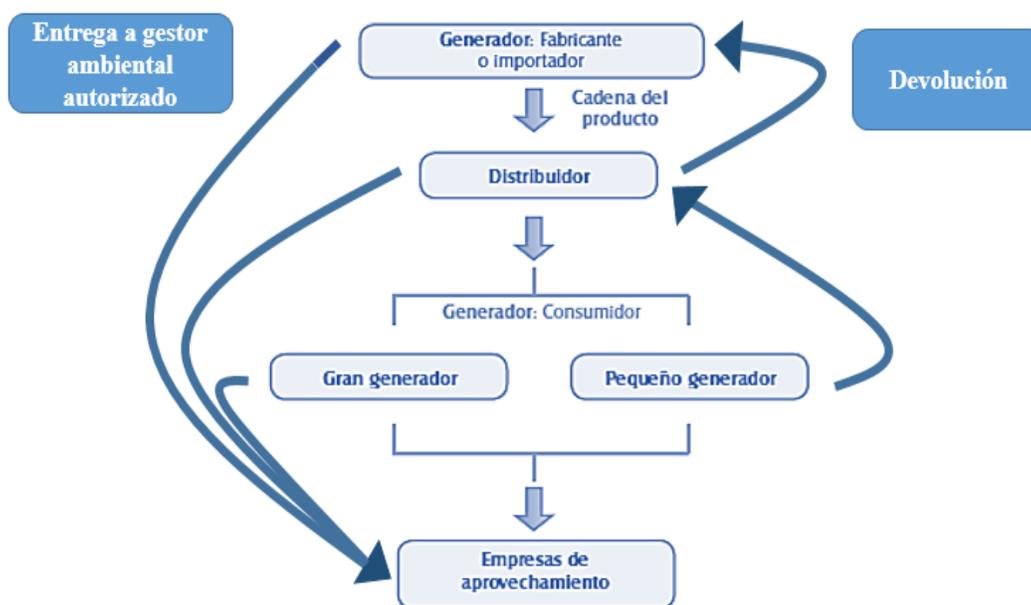
Resolución 1457 de 2010	Resolución 1326 de 2017
Solo incluye llantas de automóviles, camiones, camionetas, buses, busetas y tractomulas.	A parte de incluir llantas de automóviles, camiones, camionetas, buses, busetas y Tractomula, también incluye otros tipos de llantas tales como las de motocicletas, bicicletas y llantas fuera de carretera.
No establece el rango de rin.	Establece rango de rin entre 13’’ hasta 22,5’’.
Se aplicará a los productores que importen al año, 50 o más automóviles, camiones, camionetas, buses, busetas y tractomulas con sus respectivas llantas.	Se aplicará a quienes importen, fabriquen o ensamblen vehículos en las siguientes cantidades al año: Bicicletas 100; Motocicletas, motociclos, ciclomotores o Moped 100; Automóviles 40; Camionetas y microbuses 20; Busetas, buses y camiones 10; Tractomulas y buses troncales del sistema de transporte masivo 5; Vehículos fuera de carretera 3.
A partir del año 2012 la meta mínima anual de recolección y gestión ambiental es del 20%; en los años posteriores se debe garantizar incrementos anuales mínimos del 5% hasta alcanzar el 65% como mínimo en el año 2021.	A partir del periodo de recolección (año fiscal) 2017 la meta mínima de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas de vehículos automóviles, camiones, camionetas, buses, busetas y tractomulas es del 40%; en los años posteriores se debe garantizar incrementos anuales mínimos del 5% hasta alcanzar el 80% como mínimo en el año 2024.
	A partir del periodo de recolección (año fiscal) 2019 la meta mínima de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas de bicicletas, motocicletas, motociclos, ciclomotores o Moped y llantas de vehículos fuera de carretera es del 20%; en los años posteriores se debe garantizar incrementos anuales mínimos del 5% hasta alcanzar el 65% como mínimo en el año 2028.
No establece la metodología multicriterio de evaluación del cumplimiento de los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas.	Establece la metodología multicriterio de evaluación del cumplimiento de los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas.
No establece obligación para los montallantas.	Establece que los montallantas deberán entregar las llantas usadas en los puntos de recolección o mecanismos equivalentes de recolección definidos por los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas.

Nota. Se presentan los cambios más relevantes entre la Resolución 1457 de 2010 y la Resolución 1326 de 2017.
Fuente: Elaboración propia, basado en la Resolución 1457 de 2010 y la Resolución 1326 de 2017.

El principio de la cadena de gestión de las llantas debe involucrar las etapas de fabricación y distribución del producto y la recuperación de las mismas en desuso, cada uno de los actores involucrados en la cadena de gestión tiene la obligación de actuar correctamente en sus acciones para garantizar el éxito de esta gestión (Cámara de Comercio, 2006), siendo el elemento fundamental, dentro de esta cadena de gestión el concepto de “Responsabilidad Extendida del Productor”, en el cual los productores es decir, fabricantes, distribuidores, grandes comercializadores e importadores, son responsables de establecer los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental – SRS de los residuos, basados en los requisitos de la Resolución 1326 de 2017.

Figura 2.

Modelo de gestión de llantas usadas.



Nota: Adaptado de (Cámara de Comercio, 2006).

El fabricante es quien elabora el producto teniendo en cuenta los principios de responsabilidad ambiental, implementando estrategias para la recolección, almacenamiento, aprovechamiento y/o disposición final, por otra parte, los distribuidores deben entregar el producto y encargarse de la recepción y acopio temporal del residuo, mientras este se entrega al fabricante o a un gestor ambiental para su aprovechamiento, a estos le siguen los consumidores, los cuales deben entregar el residuo a los distribuidores o a un gestor ambiental

Economía Circular Aplicada como Gestión de Llantas Usadas en Colombia

Hasta no hace mucho tiempo, las formas de producción y consumo tenían un modelo lineal, es decir, una cadena de procesos como la extracción de recursos naturales, la generación de nuevos productos, el consumo y finalmente el desecho de los mismos una vez se acaba su vida útil, lo cierto es que este modelo está proyectado para ser un modelo de consumo rápido de “usar y tirar” y fuera de los propósitos de la sostenibilidad. El planeta posee recursos no renovables que son limitados para la demanda que requiere una de una población en constante crecimiento, sumando que estos procesos productivos generan un gran impacto negativo en el medio ambiente y los seres vivos (Acciona, 2018).

Por otra parte, el modelo circular más conocido como “economía circular” pretende reducir al máximo la cantidad de residuos producto del consumo desmedido, buscando mantenerlos en el ciclo productivo (Economía3, 2021), es decir, permite convertir la basura en recursos fomentando la reducción del consumismo teniendo en cuenta la vida útil y la reducción, reutilización y/o reciclaje de un material.

En Colombia surge la necesidad de implementar este modelo circular, por eso el Gobierno de Colombia en el año 2019 implementa la “Estrategia Nacional de Economía Circular – ENEC” que involucra una concertación y participación entre los diferentes sectores desde lo público hasta lo privado. El objetivo de esta esta estrategia es:

“propender por un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, la creación de nuevos modelos de negocio, la promoción de la simbiosis industrial y la consolidación de ciudades sostenibles, con el fin, entre otros, de optimizar la eficiencia en la producción y consumo de materiales, y reducir la huella hídrica y de carbono. Esta introducción a la Estrategia nacional de economía circular describe su contexto, público objetivo y metodología de desarrollo e implementación” (Gobierno de Colombia, 2019).

Por otra parte, la ENEC plantea que:

“el metabolismo analiza el balance entre la extracción de materias primas, uso de agua y energía y la importación de recursos frente al consumo y la exportación. Es la base para entender la sostenibilidad ambiental de un país a partir del uso, sobreuso o escasez de recursos. A su vez, es el análisis de materiales y recursos el que provee una indicación sobre la dimensión y escala de la actividad económica”.

De esta manera bajo el planteamiento anterior, en la figura 4 se muestra el balance para llantas usadas en Colombia:

Figura 4.

Estimación de metabolismo de llantas en la economía circular en Colombia.



Tomada de (MADS, Guía de Manejo Ambiental del Flujo de Llantas en la Industria Minera , 2021).

En la figura anterior, se representa el balance de las entradas en los procesos de producción e importación y de las salidas en los procesos de disposición domestico que se identifican dentro del balance como las perdidas identificables, los procesos de exportación y consumo interno, siendo este último la estimación con las acciones que propenden por un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los residuos tal y como lo establece la ENEC para las perdidas identificables.

Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental - SRS de Llantas Usadas

Los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de las Llantas Usadas tienen como objetivo disminuir la contaminación al medio ambiente y los efectos adversos que conlleva la inadecuada gestión de las llantas usadas, con el fin de reducir, prevenir y controlar mediante el uso de estrategias y el aprovechamiento de estos residuos a través de políticas públicas y avances tecnológicos (Woo & Melo, 2020). Este instrumento se encuentra reglamentado por la Resolución 1326 de 2017.

La ANLA lo define como:

“un instrumento de gestión y control ambiental, al que los importadores, fabricantes y comercializadores deben acogerse como parte del cumplimiento de su responsabilidad ambiental empresarial frente a los consumidores y ante la sociedad en general.

Este instrumento lo deben presentar las Personas naturales o jurídicas que de acuerdo a la definición de productor realicen las siguientes actividades:

- a) Fabrique llantas que sean puestas en el mercado nacional con marca propia;*
- b) Ponga en el mercado con marca propia, llantas fabricadas por terceros;*
- c) Importe llantas para poner en el mercado nacional;*
- d) Importe vehículos de que trata la Resolución 1326 de 2017 en cualquiera de sus modalidades con sus llantas;*
- e) Fabrique o ensamble vehículos que sean puestos en el mercado nacional, siempre y cuando importe las llantas para los mismos y quienes cumplan con las condiciones de cantidades de vehículos o llantas al año”.*

Estos SRS se presentan en dos tipos:

➤ Sistema Individual: Donde la formulación, implementación y presentación del SRS es responsabilidad únicamente de los productores de llantas.

➤ Sistema colectivo: La formulación, implementación y presentación del SRS es responsabilidad de varios productores, sin embargo, cada uno es responsable de gestionar la meta de recolección de sus residuos, como también de contribuir con los recursos necesarios para el cumplimiento de todo el SRS (ANLA, 2019).

Actualmente en el país existen 16 programas posconsumo para los SRS, como se muestra a continuación:

Tabla 4

Programas Posconsumo - SRS de Llantas Usadas

Nombre del Programa	Tipo de Sistema
Corporación Posconsumo de Llantas Rueda Verde	Colectivo
Importadora de Llantas Especiales S.A	Individual
Kenworth de la Montaña S.A.S	Individual
Caribe Limpio	Colectivo
Distribuidora de Rines y Llantas - RINANDES	Colectivo
Bus Center S.A.S. (Estrategia y Logística S.A.S.)	Individual
Regigantes S.A.	Individual

Green World Recycling S.A.S.	Colectivo
Sistema Verde S.A.S.	Colectivo
Comercializadora Distrillantas	Individual
Ecogestiones Llantas	Colectivo
Llantas e Importaciones Sagu S.A.S.	Individual
Cooperativa Multictiva Wallancoop	Individual
Interaseo Ambiental	Colectivo
Crea Verde S.A.S.	Individual
Comercializadora de Insumos para el Transporte Ltda	Individual

Nota. Fuente: Tomado de (ANLA, 2019).

Así las cosas, en vista de que las obligaciones en la resolución 1326 de 2017 son amplias, se nombran a continuación, las obligaciones relacionadas a la implementación y participación de los programas posconsumo para los SRS:

“...

➤ *Obligaciones de los Productores:*

- a. *Formular y presentar para aprobación de la ANLA, los SRS de Llantas Usadas.*
- b. *Internalizar los costos del funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los aspectos logísticos de toda la cadena, desde la recolección de las llantas usadas hasta su gestión ambiental, con el fin de garantizar los recursos económicos para el funcionamiento del sistema.*
- c. *Poner a disposición del público de manera progresiva, puntos de recolección de llantas usadas que sean accesibles al consumidor teniendo en cuenta, entre otros aspectos el mercado y la densidad de la población.*
- d. *Establecer los mecanismos de comunicación al público sobre los procedimientos de retorno de las llantas usadas objeto de la presente resolución.*
- e. *Informar a las Autoridades Ambientales competentes y a las entidades territoriales sobre los mecanismos equivalentes de recolección, tales como jornadas de recolección, entre otros.*
- f. *Involucrar a los distribuidores y comercializadores en los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas.*

➤ *Obligaciones de los distribuidores y comercializadores:*

- a. *Formar parte de los SRS de Llantas Usadas que establezcan los productores y participar en su implementación.*

- b. *Informar a los consumidores sobre los puntos de recolección de estos residuos disponibles en sus puntos de venta o comercialización.*
- c. *Apoyar al productor y/o a las autoridades en la realización y/o difusión de campañas de información pública sobre los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas.*
- d. *Diligenciar y suministrar las planillas y documentos dispuestos por los productores para el control de llantas usadas que se recojan dentro de los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas.*
 - *Obligaciones de los consumidores:*
 - a. *Retornar o entregar las llantas usadas en los puntos de recolección establecidos por los productores.*
 - b. *Seguir las instrucciones de manejo seguro suministradas por los productores de llantas.*
 - c. *Acudir al reencauche de las llantas usadas cuando sea viable, con el fin de minimizar la generación de residuos sólidos.*
 - *Obligaciones de los municipios y autoridades ambientales:*
 - a. *Fomentar el aprovechamiento de llantas usadas.*
 - b. *Apoyar el desarrollo de mecanismos de comunicación establecidos por los productores, con el fin de orientar a los consumidores sobre la obligación de depositar las llantas usadas según lo establecido por los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental.*
 - c. *Realizar el control y seguimiento a las obligaciones establecidas en los permisos, concesiones y demás autorizaciones ambientales otorgadas a los sitios de almacenamiento y aprovechamiento de llantas usadas”.*

Finalmente, los programas posconsumo para los SRS, propenden por la gestión adecuada en la recolección de llantas usadas como residuos, para posteriormente, realizar la entrega de los mismos a empresas o al mismo productor, quien a través de gestores ambientales autorizados asegurará el aprovechamiento.

Sistemas de Tratamiento para Llantas usadas

En la actualidad se ha evidenciado que el aprovechamiento de llantas usadas, aporta a la disminución de las afectaciones ambientales, de salud pública y paisajísticas, estos sistemas de aprovechamiento proponen que con la recuperación de llantas se alarga su ciclo de vida, lo cierto es que estas, están compuestas de una gran cantidad materias primas, como es el caucho, acero y textiles

que aportan a la elaboración de nuevos productos y sustancias químicas que aportan a una valorización energética.

Así las cosas, para dar valor a estos materiales y sustancias provenientes de las llantas usadas, se requiere de ciertos avances tecnológicos o tratamientos como los siguientes:

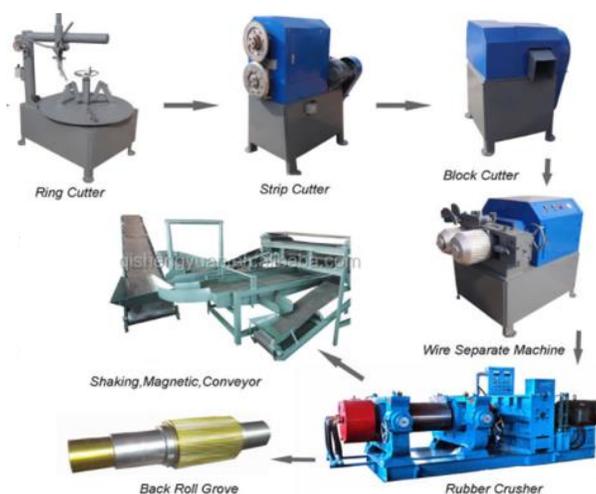
Trituración

➤ Trituración Mecánica: Este proceso consiste en someter las llantas usadas a una reducción de tamaño mediante el uso de navajas que trituran el material, este proceso es netamente mecánico para conseguir granulo de caucho, este proceso se repite paulatinamente pasando por diferentes tipos de navajas hasta conseguir el tamaño requerido, posteriormente se pasa por un proceso de clasificación para separar el caucho, los metales y los (Diaz, 2008). Con la trituración mecánica se puede obtener tiras, gránulos de diferentes tamaños.

En la actualidad este proceso es el más usado por la mayoría de países del mundo con el fin de conseguir el aprovechamiento de las llantas y con este obtener nuevas materias primas.

Figura 5.

Proceso de trituración mecánica.



Tomado de (Made in China, 2020)

➤ Trituración Criogénica: Este proceso consiste en someter las llantas a Nitrógeno líquido mediante un baño a $-195,8^{\circ}\text{C}$ y posteriormente se almacena en un túnel de ciclo cerrado al

vacío, después de este proceso la llanta queda en un estado cristalino y se realiza la fracturación por medio de un dispositivo que aplica una fuerza aproximada de 980 nNw (Diaz, 2008). Este proceso logra la obtención de polvo de caucho con un tamaño de partícula de 0,1 mm.

La trituración criogénica, logra realizar un proceso sostenible que no tiene efectos contrarios al medio ambiente, pero tiene la desventaja de que las partículas de caucho y acero se encuentran mezcladas y se requiere de otro sistema especializado para la separación de los mismos; además de que se requieren instalaciones modernas de alto costo y maquinaria altamente especializada.

En ambos procesos de trituración, el material recuperado, aparte de generar una valorización energética, es usado para suelos sintéticos de parques infantiles, canchas deportivas, productos de caucho moldeado y coberturas de superficies como tapetes baldosas, entre otros, también se usa en formulaciones donde se mezcla con asfalto, el cual refuerza las carreteras o autopistas, esta técnica es muy común en países desarrollados como Canadá, Japón, Estados Unidos y la Unión Europea (MADS, Guía de Manejo Ambiental del Flujo de Llantas en la Industria Minera , 2021).

Figura 6.

Subproductos en el proceso de trituración.



Nota: Obtención de caucho, acero y textiles a través del proceso de trituración.
Tomada de (Villa & Carrasco, 2015).

Pirolisis

La Resolución 0636 de 2017 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones" define este proceso como:

“Un proceso de descomposición térmica de compuestos orgánicos sin acceso de aire (libre de oxígeno). El proceso comienza cuando la materia prima (residuos de llantas) se carga en un contenedor de material resistente al calor (crisol o autoclave). La carga se coloca en el

contenedor y este se hermetiza totalmente y se introduce en el reactor. La materia prima se calienta por transferencia de calor a través de las paredes del contenedor (Autoclave) logrando que se descomponga térmicamente para formar una mezcla de vapor y gas y residuos de carbono”.

Este proceso es bastante común en las plantas cementeras puesto que se realiza un aprovechamiento a través de la combustión total de las llantas usadas y con esta se obtiene energía. Esta técnica es muy usada en la mayoría de países del mundo.

La ventaja de este proceso es que se generan nuevos materiales químicos y gases que son valorizados como combustible para la generación de energía, como se mencionó anteriormente en la industria cementera o plantas de energía, su desventaja son las emisiones atmosféricas, sin embargo estas emisiones son controladas y son admisibles según la normatividad ambiental, puesto que no generan un riesgo inminente para la salud humana o el ambiente, por otra parte, si se pretende no solo valorizar desde la parte energética si no también la separación de nuevas materias primas requiere de una inversión mayor en cuanto a infraestructura para la clasificación de los mismos.

Figura 7.

Proceso de pirolisis.



Tomado de (Wastetireoil, 2019).

Termólisis

Este es uno de los procesos más actuales y lo primero que se debe hacer es la tritución de las llantas a un tamaño entre los 90 y 200 mm, posterior a esto, el material se somete a calentamiento

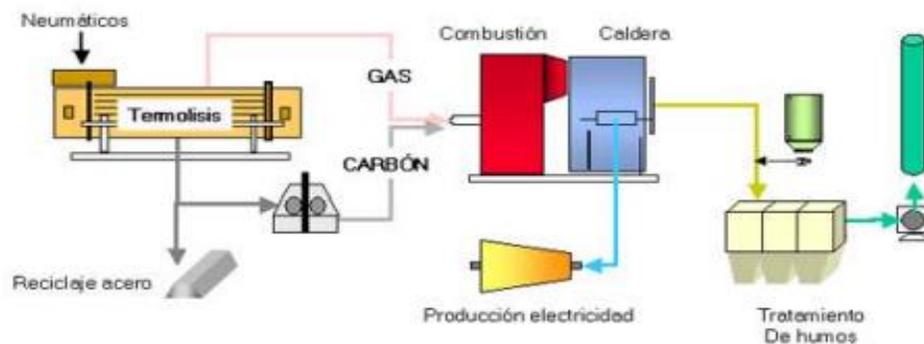
dentro de un termolizador en ausencia de oxígeno, con el fin de dissociar los enlaces químicos y de esta manera se obtienen nuevos materiales como carbón, hidrocarburos gaseosos, acero y aceite (Díaz, 2008).

Este proceso cuenta con un sistema de filtración y control de emisiones por lo que se garantiza la sostenibilidad de este proceso cumpliendo con la normatividad ambiental referente a emisiones.

Las ventajas de este proceso es que se realiza en ausencia de combustión por lo que no genera emisiones, y hay un aprovechamiento energético, puesto que el carbón y el gas se valorizan como combustible, la energía se recupera y se usa para la producción de vapor y/o electricidad, pero como desventaja es que la llanta debe pasar primero por el proceso de trituración y se requiere de una infraestructura de gran capacidad.

Figura 8.

Proceso de termólisis.



Tomado de Gobierno Local de Santa Cruz, 2018.

Reutilización

➤ Regrabado o Reesculturado: Consiste en montar la llanta usada y desgastada en una máquina eléctrica donde una cuchilla expuesta a una alta temperatura generada con electricidad corta los surcos originales para darles una mayor profundidad (Acero & Murcia, 2015), sin embargo, esta medida, puede generar un rompimiento de la banda de rodadura por su proximidad al rin, lo que podría ocasionar durante su circulación un accidente.

Figura 9.

Proceso de regrabado.



Tomada de (Autonomía, 2014)

➤ Reencauchado: Consiste en desprender la banda de rodadura y reemplazarla por una nueva, es necesario realizar una inspección de la llanta completa para verificar si es apta para este proceso y si requiere de reparación en alguna de las secciones. Este proceso deberá garantizar las condiciones óptimas y ofrecer las mismas funciones y garantías que una llanta nueva.

Figura 10.

Proceso de Reencauche.



Tomado de Publicación, 2019.

➤ Aplicación en Obras de Ingeniería: Esta alternativa aplica en obras de ingeniería civil tales como: Mecanismos de control de escorrentía, relleno de muros, drenaje, aislamiento de caminos, terraplenes, parachoques, barreras de protección, estabilización de taludes mediante muros de contención, entre otros.

MARCO NORMATIVO

Tabla 5

Marco normativo aplicado para llantas usadas en Colombia

Norma	Año	Descripción	Expedida por
Constitución Política de Colombia.	1991	El Art. 79 y 80 consagran el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y el deber del Estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables a fin de garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución y prevenir los factores de deterioro ambiental.	Presidencia de la Republica de Colombia
NTC – 5384	2005	Llanta reencauchada.	ICONTEC
Res. 0481	2009	Por la cual se expide el Reglamento Técnico para Llantas Neumáticas que se fabriquen o importen o comercialicen para uso en vehículos automotores y sus remolques.	Ministerio de Comercio, Industria y Turismo
Res. 6981	2011	Por la cual se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme en el Distrito Capital	Secretaria Distrital de Ambiente y Secretaría de Movilidad
Ley 1801	2011	Por la cual se expide el Código Nacional de Policía y Convivencia. Artículo 111. Comportamientos contrarios a la limpieza y recolección de residuos y escombros y malas prácticas habitacionales. Numeral 8. Arrojar basura, llantas, residuos o escombros en el espacio público o en bienes de carácter público o privado. Parágrafo 3. Frente al comportamiento descrito en el numeral 8 del presente artículo respecto a la disposición final de las llantas, los productores y/o comercializadores en coordinación con las autoridades locales y ambientales deberán crear un sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas.	Congreso de la Republica de Colombia
Acuerdo 602	2015	Por medio del cual se promueve la formulación del plan estratégico para el manejo, reutilización y aprovechamiento de llantas usadas en el distrito capital y se adoptan otras disposiciones.	Concejo de Bogotá D.C.
Dec 442	2015	Por medio del cual se crea el Programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas en el Distrito Capital y se adoptan otras disposiciones.	Alcaldía Mayor de Bogotá

Dec 265	2016	Por medio del cual se modifica el Decreto Distrital 442 de 2015 y se adoptan otras disposiciones.	Alcaldía Mayor de Bogotá
CONPES 3866	2016	Política Nacional de Desarrollo Productivo.	República de Colombia Departamento Nacional de Planeación
CONPES 3874	2016	Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos.	República de Colombia Departamento Nacional de Planeación
Res. 1326	2017	Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones.	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

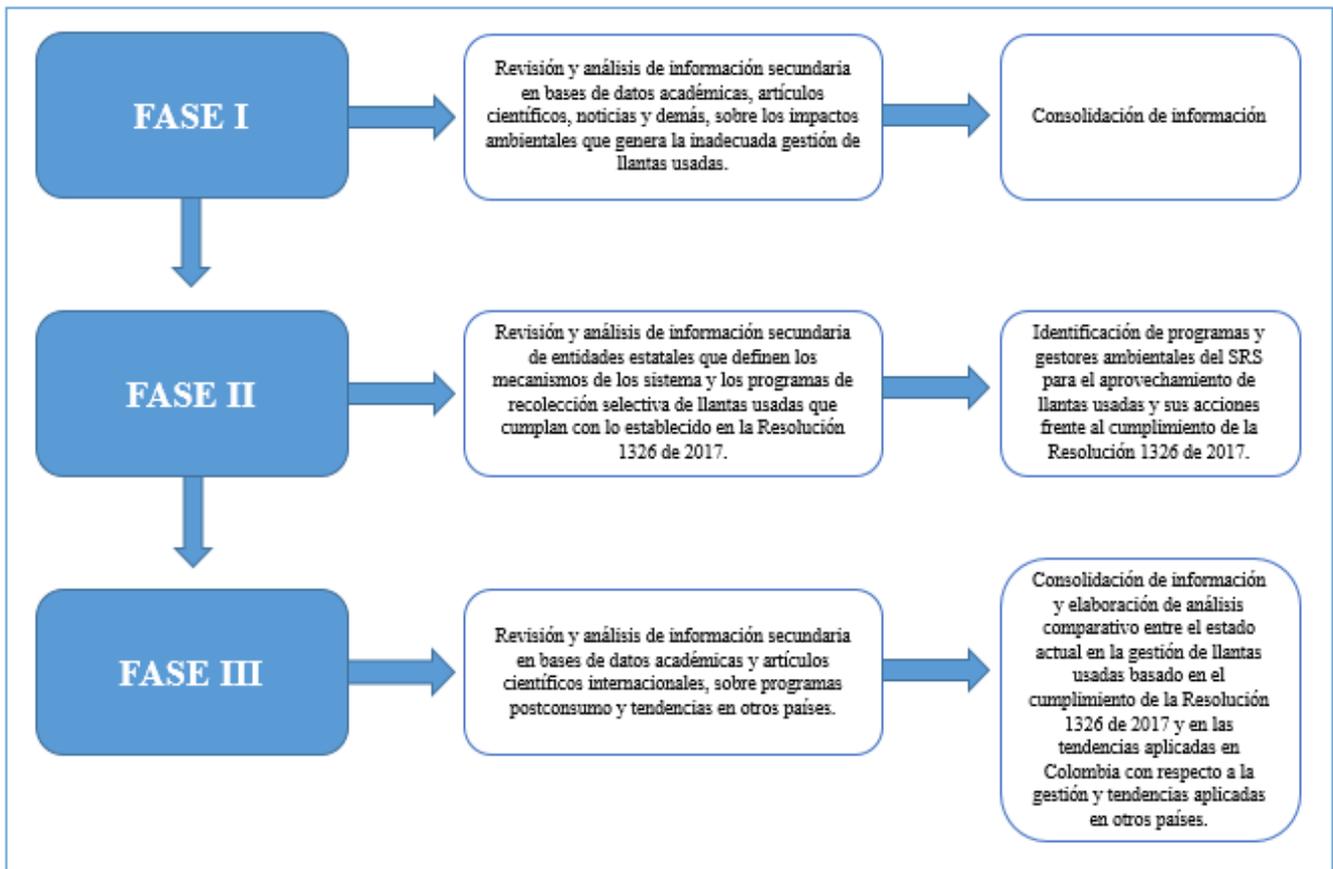
Nota. Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la monografía, se realiza un análisis global del comportamiento de la gestión de llantas usadas en Colombia bajo los requisitos de la Resolución 1326 de 2017 “Por la cual se Establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de llantas usadas y se dictan otras disposiciones”, esto a través de la revisión bibliográfica consultadas en diferentes fuentes secundarias como artículos científicos, bases de datos académicas, enciclopedias, revistas, noticias y guías técnicas que abordan el tema de interés.

Figura 4.

Metodología de cada objetivo específico.



Elaboración propia.

RESULTADOS

FASE I

Los impactos identificados en la revisión del documento “Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de neumáticos usados y de desecho Riesgos para la salud pública” elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA, elaborado para dar cumplimiento al Convenio de Basilea fueron los siguientes:

➤ Riesgos para la salud pública:

La acumulación e inadecuada disposición de llantas usadas, son susceptibles de acumular agua y otras sustancias, creando un hábitat ideal para la proliferación de vectores como el *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* mosquitos transmisores del dengue y la fiebre amarilla respectivamente, también puede adaptarse para la formación de madrigueras de fauna nociva como roedores responsables de propagar enfermedades tanto para el hombre como para otros animales y atraer otros vectores como cucarachas, arañas, ácaros, pulgas entre otros.

Otros aspectos que pueden afectar la salud pública son la generación de enfermedades que afecta el sistema respiratorio, nervioso, entre otros, producto de los impactos que se presentan a continuación en los riesgos para el medio ambiente.

➤ Riesgos para el medio ambiente:

- Componente aire: Las llantas están compuestas en un 48% de caucho y este está compuesto por elementos altamente comburentes como el zinc, azufre, selenio, cloruros, arcillas, resinas, alquitrán, entre otros, que al estar en contacto con el fuego producen gases de efecto invernadero como CO, CO₂, COV's, hidrocarburos aromáticos policíclicos, furanos, dioxinas, entre otros.

- Componente agua: En el proceso de combustión de llantas también se producen sustancias oleosas, este aceite es altamente contaminante para el suelo y para las fuentes hídricas.

Por otra parte, en muchas ocasiones las llantas usadas suelen ser tiradas a las fuentes hídricas como método de disposición, lo que causaría una acumulación y retención de otros residuos o material arrastrado, generando posibles desviaciones del cauce y afectaciones al medio acuáticos.

- Componente suelo: Las llantas son consideradas residuos especiales debido a que por su composición y estructura no pueden ser compactadas y considerando igualmente que tardan en degradarse aproximadamente 2.000 años, ocupando gran volumen en los rellenos sanitarios y por ende disminuyendo su vida útil, por tal motivo en la mayoría de los países del mundo los rellenos sanitarios ya no son una opción para la disposición final de llantas usadas, por otra parte,

en la combustión de llantas se genera cenizas que entran en proceso de lixiviación y también genera afectaciones al suelo y agua.

- Componente paisajístico: La acumulación e inadecuada disposición de llantas usadas, generan contaminación visual, esta problemática se debe a la falta de puntos de acopio adecuados y autorizados.

FASE II

Se realizó la revisión de cada una de las resoluciones donde la ANLA aprueba el sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Llantas Usadas, para cada uno de los programas posconsumo – SRS, mencionados en la tabla 6.

Tabla 6

SRS en los programas autorizados por la ANLA.

SRS	Tipo	Productores	Cobertura Comercio	Cobertura SRS	% Cubrimiento	Gestor Ambiental	Tratamiento / Aprovechamiento	Fuente
Corporación Posconsumo de Llantas Rueda Verde	Colectivo	69 vinculados a la ANDI, entre ellos: Olímpica S.A., Éxito S.A., Alkosto S.A., Colwagen, Nissan, Toyota, Ford Motor, Goodyear, Drum, etc.	Todo el territorio Nacional	20 Departamentos	100%	Parque Ambiental Mundo Limpio S.A. Reciclair Ltda	Trituración mecánica para elaboración de pisos para parques deportivos. Trituración mecánica para elaboración de pisos deportivos, exteriores, etc.	Resolución 0325 de 2012 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
Importadora de Llantas Especiales S.A	Individual	Importador propio	Bogotá D.C	Bogotá D.C	100%	Occidental de Cauchos S.A.S.	Trituración mecánica para elaboración de baldosas multiusos	Resolución 0482 de 2012 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
Kenworth de la Montaña S.A.S	Individual	Importador propio	14 municipios	Bogotá D.C., La Estrella - Antioquia y Yumbo-Valle	21,4%	Reciclair Ltda Parque Ambiental Mundo Limpio S.A. Occidental de Cauchos S.A.S	Trituración mecánica para elaboración de pisos deportivos, exteriores, etc. Trituración mecánica para elaboración de pisos para parques deportivos. Trituración mecánica para elaboración de baldosas multiusos.	Resolución 1512 de 2015 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"

Caribe Limpio	Colectivo	Electrocaribe Ltda. Mundial de Lubricantes Ltda	Barranquilla y Cartagena	Barranquilla y Cartagena	100%	Llantas y llantas	Reencauche.	Resolución 1611 de 2015 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
Distribuidora de Rines y Llantas - RINANDES	Colectivo	Distribuidora de rines y llantas - RINANDRES Rines y llantas Boyacá El Zar de las llantas TBC GROUP S.A.S	Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	100%	Ecollantas de La Sabana S.A.S.	Trituración mecánica para venta de granulo de caucho para la realización de parques infantiles y asfalto.	Resolución 1538 de 2016 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
Bus Center S.A.S. (Estrategia y Logística S.A.S.)	Individual	Comercializador: La Bodega de las llantas corporación	Medellín, Rionegro, Copacabana, Sabaneta y Santa Marta	Medellín, Rionegro, Copacabana, Sabaneta y Santa Marta	100%	Parque Ambiental Mundo Limpio S.A.	Trituración mecánica para elaboración de pisos para parques deportivos.	Resolución 1509 de 2015 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
Regigantes S.A.	Individual	Importador propio	Medellín, Rionegro, Bogotá, Cali, Bucaramanga, Villavicencio y Cúcuta	Medellín	63%	Parque Ambiental Mundo Limpio S.A. Rodar llantas S.A.S.	Trituración mecánica para elaboración de pisos para parques deportivos. Trituración mecánica para elaboración de repuestos y empaques de caucho.	Resolución 0199 de 2016 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
Green World Recycling S.A.S.	Colectivo	Importadores: Llancol S.A.S. Llantas HS Colombia S.A.S. Jota Tyres Flotas y Montajes S.A.S.	Bogotá, Medellín, Barranquilla, Puerto Colombia, Cartagena, Santa Marta y Valledupar.	Bogotá, Medellín, Barranquilla, Puerto Colombia, Cartagena, Santa Marta y Valledupar	100%	Green World Recycling S.A.S.	Pirolisis para generación de combustible y generación de nuevas materias primas.	Resolución 0636 de 2017 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
Sistema Verde S.A.S.	Colectivo	Importador: HA BICICLETAS S.A	Área Metropolitana de Medellín	Área Metropolitana de Medellín	100%	Cementos Argos EKO Group Colombia S.A.S	Pirolisis para generación de combustible. Reencauche.	Resolución 0638 de 2017 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
Comercializadora Distrillantas	Individual	Importador propio	Duitama, Sogamoso, Tunja, Samacá y Yopal	Duitama, Sogamoso, Tunja, Samacá y Yopal	100%	Renovadora de Llantas S.A. RENOBOY S.A	Reencauche.	Resolución 0200 de 2016 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"

Ecogestiones llantas	Colectivo	Importadores: Distribuciones Renacer S.A.S Tediscol LTDA Vitosha Trade S.A.S Maxirines S.A.S Radios y Rines S.A Reencaldas LTDA Llantas RT	Barranquilla, Bogotá, Dosquebradas, Manizales.	Barranquilla, Bogotá, Dosquebradas, Manizales.	100%	Ecollantas de La Sabana S.A.S. Ecowheel System S.A.S Magtoc S.A.S.	Trituración mecánica para venta de granulo de caucho para la realización de parques infantiles y asfalto. Trituración mecánica para venta de granulo de caucho para la fabricación de productos de caucho. Trituración mecánica para venta de granulo de caucho para la fabricación de productos de caucho.	Resolución 1710 de 2016 <i>"Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"</i>
Llantas e Importaciones Sagu S.A.S.	Individual	Importador propio	Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	100%	Reciclair Ltda	Trituración mecánica para elaboración de pisos deportivos, exteriores, etc.	Resolución 0314 de 2016 <i>"Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"</i>
Cooperativa Multictiva Wallancoop	Individual	Importador propio	Maicao, Manaure, Uribía, Riohacha, Valledupar, Barranquilla, Santa Marta, Codazzi y La Paz.	Maicao, Manaure y Uribía	33%	Indutrade Recycling S.A.S.	Trituración mecánica para venta de granulo de caucho para la fabricación de productos de caucho.	Resolución 0520 de 2016 <i>"Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"</i>
Interaseo Ambiental	Colectivo	Importadores: Reencafe S.A. Busscar de Colombia S.A.S.	Risaralda, Atlántico, Caldas, Antioquia, Risaralda y Quindío	Barranquilla, Soledad, Medellín, Envigado, Manizales, Ansema, Pereira, Belén de Umbría, Marsella, Dosquebradas, Quimbaya y Armenia	26,6%	Reencafe S.A.	Reencauche.	Resolución 1054 de 2017 <i>"Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"</i>
Crea verde S.A.S.	Individual	Iexport S.A.S.	Medellín	Medellín	100%	Parque Ambiental Mundo Limpio S.A.	Trituración mecánica para elaboración de pisos para parques deportivos.	Resolución 1425 de 2016 <i>"Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"</i>

Comercializadora de Insumos para el Transporte Ltda.	Individual	Importador propio	Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	100%	Reciclair Ltda	Trituración mecánica para elaboración de pisos deportivos, exteriores, etc.	Resolución 0782 de 2017 "Por la cual se aprueba un Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones"
--	------------	-------------------	-------------	-------------	------	----------------	---	---

Nota. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la revisión, se puede afirmar que el programa posconsumo para la gestión de llantas usadas “Rueda Verde” es el sistema de recolección selectiva pionero y líder en Colombia, con 69 empresas vinculadas a través de la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia – ANDI, estas empresas asociadas representan cerca del 80% del mercado nacional de llantas en el país.

Rueda verde ha gestionado la recolección de más de 6’500.000 de llantas usadas entre el año 2017 al 2021 (Retorna, 2021), donde se garantiza su adecuada gestión por medio del gestor ambiental “Parque Ambiental Mundo Limpio S.A” quienes a través del proceso de trituración mecánica obtienen material granulado para la elaboración de pisos para parques deportivos.

Es importante aclarar que a la ANDI a través de una alianza institucional y compromiso con las autoridades ambientales, se creó el programa especial “Grupo Retorna” donde diferentes programas posconsumo como **Rueda Verde**, Red Verde, Recoenergy, Pilas con el Ambiente, Cierra el Ciclo y EcoCómputo, involucrando no solo a los productores (importadores, comerciantes, distribuidores) sino también a los consumidores, pues es que gracias a este proyecto, grupo retorna realiza jornadas de recolección posconsumo para que pequeños generadores y la ciudadanía en general puedan entregar sus residuos como lo son las llantas usadas y realizar una adecuada gestión de los mismo.

Otro programa líder es “Sistema Verde” quienes han recolectado al igual que rueda verde 6’500.000 de llantas usadas, pero entre el año 2015 al 2021 (Sistema Verde, 2021) y gestionan el aprovechamiento de llantas usadas de HA BICICLETAS S.A, mediante la valorización energética a través del proceso de pirolisis que realiza Argos como gestor ambiental de este SRS.

En mi opinión, considero que el programa “Green World Recycling” es el SRS más eficiente con respecto a logística, puesto que este gestiona las llantas usadas de Llancol S.A.S., Llantas HS Colombia S.A.S., Jota Tyres Flotas y Montajes S.A.S., desde su recolección, almacenamiento, transporte y aprovechamiento a través del proceso de pirolisis para generación de combustible y generación de nuevas materias primas creando entonces un modelo económico sostenible y sólido en gran parte del país.

Por otra parte, en cuanto al porcentaje de cubrimiento de la cobertura geográfica teniendo en cuenta cada uno del alcance de los programas, se evidencia que el 75 % de los programas abarcan el 100 % de la cobertura del SRS de las zonas donde comercializan y distribuyen las llantas.

Finalmente, con respecto a los gestores ambientales, se puede evidenciar que el “Parque Ambiental Mundo Limpio S.A.”, es uno de los gestores más destacado para el aprovechamiento de llantas usadas, pues se encuentra en 5 de los 16 programas de los SRS.

Mundo limpio, se encuentra ubicado en Carmen de Viboral, Antioquía y ha sido de las primeras empresas en trabajar como una planta recicladora de llantas usadas. Esta empresa fue la responsable de producir 70 Ton de material granulado para la cancha de Rionegro y participo también para la elaboración de la cancha sintética del Atlético Bucaramanga. Mundo limpio ha logrado reciclar en 6 años más de 10.000 Millones de llantas (Mundo Limpio, 2014) y actualmente tritura y muele cerca de 1000 llantas por día.

FASE III

Se realizó la revisión bibliográfica y normativa en materia de gestión de llantas usadas en cada uno de los países que se tomaron de base para el estudio.

Tabla 7

Resumen gestión de llantas usadas en los países de estudio.

Pais	Aprox llantas generadas año	% Llantas aprovechada	Tratamiento destacado de aprovechamiento / valorización	Fuente
Chile	6,6 millones	32	Pirolisis para obtención de combustible en cementeras, trituración mecánica para la obtención de gránulos de caucho para uso en pisos, canchas y carpetas y reencauchado.	(Alomar, 2020)
Mexico	25 millones	15	Pirolisis para obtención de combustible en cementeras, trituración mecánica para la obtención de polvo de hule para la fabricación de pinturas o impermeabilizantes y reencauchado.	(Levet, 2017)
Costa Rica	130 mil	15	Obras de ingeniería como muros de contención o llantiones para el control de taludes y estabilización de suelos y reencauchado.	(Leiton, 2018)
Brasil	20 millones	45	Pirolisis para obtención de combustible en cementeras, trituración mecánica para la obtención de gránulos de caucho para uso en pisos, canchas y mezclas asfálticas y reencauchado.	(ANIP, 2017)

Alemania	60 millones	58	Trituración criogénica para obtener caucho excelso como materia prima para la elaboración de nuevas llantas, reencauchado y pirolisis para obtención de combustible en cementeras y plantas de energía.	(OPONEO, 2020) & (umwelttechnik, 2019)
España	20 millones	52	Reencauchado, pirolisis para obtención de combustible en cementeras, obras de ingeniería y trituración mecánica para la obtención de gránulos de caucho para uso en pisos, canchas y mezclas asfálticas.	(EFE Economía, 2017)
Colombia	5,3 millones	30	Trituración mecánica para la obtención de gránulos de caucho para uso en pisos, canchas y mezclas asfálticas, reencauchado de llantas y pirolisis para obtención de combustible en cementeras.	(Dueñas, 2020) &

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Con base al estudio y los resultados en la FASE II, se puede concluir que en Colombia los sistemas de tratamiento autorizados por el MADS más usados para el aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas son los procesos de trituración mecánica, reencauchado y pirolisis.

Ahora bien, en comparación con los países de estudio, hay coincidencia en las tendencias más destacadas para el tratamiento de llantas usadas, se evidencia que al igual que Colombia, todos los países del estudio realizan proceso de trituración mecánica, para la obtención de gránulos de caucho para uso en pisos, canchas y mezclas asfálticas, entre otros usos, el proceso de pirolisis para obtención de combustible en cementeras y el reencauchado de llantas. Por otra parte, Alemania es el único país dentro del estudio que usa el proceso de trituración criogénica para la obtención de caucho excelso como materia prima para la elaboración de nuevas llantas.

En el escenario Latinoamericano, se destaca las acciones de Brasil, quienes aprovechan casi la mitad de llantas usadas a través de la implementación de los modelos de REP en cuanto a la obligación a los productores y REC para vincular a los usuarios en el proceso de gestión de llantas usadas, por otro lado, Chile a pesar de que el porcentaje de aprovechamiento es menor que en Brasil, se resalta que en tan poco tiempo desde la implementación de medidas normativas ha logrado grandes avances en materia de gestión de llantas usadas, en cuanto a México pese a que tan solo se recupera el 15 % de llantas usadas, en este país se adapta el modelo de REC y se resalta que gracias a esta figura se identifican y se logran articular los sectores involucrados en toda la cadena de valor de llantas, considero entonces que para que este modelo tenga mejores resultados es necesario implementar un marco normativo obligatorio para usuarios y no un modelo de voluntariado.

En Colombia en el año 2019 se tenía un porcentaje de aprovechamiento del 30%, pero según la resolución 1326 de 2017 “*la meta mínima de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas de vehículos automóviles, camiones, camionetas, buses, busetas y tractomulas para el año 2019 es del 55%; en los años posteriores se debe garantizar incrementos anuales mínimos del 5% hasta alcanzar el 80% como mínimo en el año 2024*”, basados en esto, se evidencia el incumplimiento de la norma, no obstante, se ha notado que gracias a la implementación de los programas posconsumo y las diferentes jornadas realizadas por algunos programas del SRS en articulación con el gobierno se ha alcanzado una amplia recuperación de los mismos, con un panorama positivo para el cumplimiento de la resolución.

En el escenario de los países de la Unión Europea, se conoce que durante años han venido perfeccionando las medidas y acciones para el manejo de residuos y es notorio que nos llevan un avance en la gestión de llantas usadas, en estos países aparte de que el modelo de la REP es una guía y una medida bastante eficiente, también se resalta la labor del gobierno en materia de educación para el fortalecimiento de una cultura ciudadana acorde con las necesidades e intereses de estos países, siendo un modelo a seguir asertivo para los demás países del mundo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

➤ La responsabilidad extendida del productor es una estrategia eficiente para países como Alemania, España donde la cultura ciudadana es un factor fuerte y constante y existen políticas estrictas y sólidas, mientras que para Colombia, el panorama no es tan eficiente, considero que si bien Colombia es un país con cultura, de igual manera necesita mecanismos de refuerzo que le den solidez a las acciones de los ciudadanos, por eso considero que para un país como Colombia para fortalecer el modelo indicado, debe implementar la estrategia de Brasil, tomar ambos modelos para ejercer un control y una obligación no solo hacia el productor si no también hacia el usuario de llantas usadas.

➤ México y Brasil trabajan con un modelo diferente al resto, el modelo implementado es el de REC. La diferencia entre México y Brasil, es que este último también implementa la REP a través de la obligación hacia los productores, mientras que el modelo de REC se implementa a través de su legislación para obligar a todos los sectores involucrados como los usuarios de llantas, detallando ampliamente el funcionamiento de la gestión de llantas usadas, por otra parte, al igual que Colombia, en Brasil todos los programas posconsumo se encuentran normados, en este sentido la legislación brasileña es más clara y con responsabilidades enmarcadas en un mismo cuerpo legal, a diferencia de la legislación mexicana, pues esta es muy abierta y no son estrictas para los usuarios.

➤ En la mayoría de casos para los gestores ambientales en Colombia el ingreso que reciben por los diferentes procesos para el tratamiento, aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas, apenas alcanza para cubrir los costos fijos, por este motivo es necesario que los usuarios de las llantas sean conscientes de que deben pagar por la disposición final de las llantas y más que un tema que debe ser obligatorio, también debe ser de conciencia y cultura.

➤ Se ha demostrado que hay una excelente cobertura en los SRS en todo el territorio nacional, por lo que se evidencia que la inadecuada gestión de llantas en el país se debe a la falta de conocimiento en los ciudadanos.

➤ La falta de conciencia, cultura y conocimiento sobre la gestión de llantas usadas y las cadenas de recolección, genera que se definan acciones propias por los usuarios como el abandono en sitios no autorizados sin pensar en los impactos y afectaciones de estas acciones.

➤ Los grandes avances en los países de la Unión Europea como Alemania y España se deben en su mayoría a la cultura y conciencia ciudadana arraigada en estos países y aunque los países latinoamericanos como Brasil, Chile y Colombia van a la vanguardia exponencialmente

en la implementación de los modelos de REP y REC aspectos de REP, quedan algunos desafíos y medidas para Colombia como:

- Fortalecer el tema de cultura ciudadana mediante educación y fomento masivo de actividades y jornadas posconsumo y buenas prácticas ambientales para la gestión de llantas usadas.
- Establecer el rol del usuario como consumidor dentro de las acciones para la gestión de llantas usadas.
- Establecer y promulgar normas con miras a establecer un marco jurídico exhaustivo y coherente para el manejo de llantas usadas, a través del Plan Nacional de Desarrollo.
- Reestructurar los instrumentos económicos para poder aumentar los incentivos y fortalecer los SRS con el fin de promover y aumentar el reciclaje
- Promover y dar a conocer mercado del aprovechamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acciona. (2018). Generación y Gestión de Residuos Sólidos. *Sostenibilidad para Todos*. <https://www.sostenibilidad.com/medio-ambiente/generacion-gestion-residuos/>.
- Acero, A. E., & Murcia, E. R. (2015). *Guía Técnica para la Administración de Llantas en Autobuses de Transporte Urbano*. Bogotá, D.C. [Proyecto de grado como requisito para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento]. Repositorio Universidad ECCI. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/178>
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., (2020). Residuos Especiales y Peligrosos. *Secretaría Distrital de Ambiente*. <http://ambientebogota.gov.co/en/web/sda/residuos-especiales-y-peligrosos#:~:text=Residuos%20especiales%20y%20peligrosos,ambiente%2C%20cuando%20es%20inadecuadamente%20manejado>.
- ANDI. (2019). Estadísticas del Sector. *Comité de Llantas de la ANDI*. <http://www.andi.com.co/Home/Camara/31-comite-llantas>.
- ANLA. (2019). Sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos – SRS Llantas Usadas. *Portal de la ANLA*. <http://portal.anla.gov.co/sistema-recoleccion-selectiva-y-gestion-ambiental-residuos-srs-llantas-usadas>
- Alomar, J. M. (2020). Chile Neumáticos busca desarrollar tecnología e innovación nacional en reciclaje de caucho para cumplir con las metas de la Ley REP. *País Circular*. <https://www.paiscircular.cl/industria/reciclaje-de-neumaticos-ley-rep/>
- Autonoción. (2014) Redibujado de Neumáticos. *Mundo del Motor*. <https://www.autonocion.com/video-el-redibujado-de-neumaticos-ojo-que-puede-costarte-carro/>
- Bancolombia. (2021). Mercado de llantas: importación y exportación en Colombia 2021. *Sector automotor, Bancolombia*. <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/negocios/actualizate/comercio-internacional/venta-de-llantas-sector-automotor>
- Cámara de Comercio. (2006). *Guía para el Manejo de Llantas Usadas: Un Sector Transporte con Operación más Limpia*. Bogotá D.C. Kimpres Ltda. <http://hdl.handle.net/11520/14583>
- Carlider. (2021). Mantenimiento del Neumático [Imagen]. *Lassa Neumático*: https://www.carlider.es/Que-partes-tiene-un-neumatico_es_1_36_0.html
- CINC. (2018). *Antecedentes técnicos, económicos y sociales para la elaboración de los Decretos Supremos que establecerán las metas de recolección y valorización de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)*. Cámara de la Industria del Neumático de Chile A.G. <https://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/06/16.-CINC-Camara-de-la-Industria-del-Neumatico-de-Chile.pdf>

- Continental. (2012). La evolución de la llanta. *The Future in Motion*. <https://www.continentaltire.mx/truck/continental-tire/acerca-de-continental/unidades-de-negocio/llantas-de-camion/historia-de-la-llanta>.
- Díaz, P. D. (2008). *Reciclaje de Neumáticos y su Aplicación en la Construcción*. Valdivia, Chile [Tesis para optar al Título de Ingeniero Constructor]. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcd339r/doc/bmfcd339r.pdf>
- Dueñas, M. V. (2020). *Iniciativas Nacionales para el Reciclaje de Llantas Usadas en Colombia*. Bogotá D.C. [Monografía para optar el título de Especialista en Gestión ambiental]. Repositorio Fundación Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7844/1/233203-2020-I-GA.pdf>
- Economía 3. (2021). Diferencias entre la Economía Lineal y la Economía Circular. *Información para el Liderazgo*. <https://economia3.com/diferencias-economia-circular-lineal/>.
- EFE Economía. (2017). España, quinto país europeo en generación de residuos de neumáticos usados. *El País*. https://elpais.com/economia/2013/06/01/agencias/1370086128_998558.html
- Figueroa, A. B., Gil, Z. R., Jenny Medina Moreno, Y. C., & Ramírez, L. B. (2021). *Gestión de Llantas Usadas en la Ciudad de Tunja, Boyacá*. Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1627>
- Fuentes, J. D., & Trujillo, J. T. (2015). *Alternativas para el Manejo de Llantas Usadas en la Ciudad de Bogotá*. Bogotá, D.C. [Trabajo de grado modalidad monografía presentado como requisito para optar al título de Ingeniero en Saneamiento Ambiental]. Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4006/proyecto%20de%20grado%20JJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gobierno de la Republica de Colombia, (2019). Estrategia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Bogotá D.C., Colombia. Presidencia de la República; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.
- Gobierno Local de Santa Cruz. (2018). Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de Tenerife. Vasco.
- Günter, E & Fernández, O. (2018). *Estudio Regional sobre la figura REP en Latinoamérica en comparación con Alemania y España bajo el Marco Legal de la Unión Europea*. Santo Domingo, República Dominicana: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Leiton, P. (2018). Empresa en Costa Rica inauguró primera recicladora de llantas en Centroamérica. *La Nación*. <https://www.nacion.com/economia/negocios/empresa-tica-inauguro-primera-recicladora-de/673GQT2UHVDUFNUFZRMJRUY76A/story/>
- Levet, V. (2017). Llantas Usadas, uno de los Grandes Problemas de México. *Forbes México*. <https://www.forbes.com.mx/este-emprendedor-mexicano-quiere-tus-llantas-ponchadas/>

- Made in China. (2020). Trituradora de llantas/neumáticos usados/máquina de reciclaje de caucho de neumáticos aplastante maquinaria. *Connecting Buyer with Chinese Suppliers*. https://es.made-in-china.com/co_xchrjx/product_Tire-Crusher-Tire-Recycling-Machine-Used-Tire-Rubber-Crushing-Machinery_eosisyyig.html
- MAGRAMA. (2016). Responsabilidad Ampliada del Productor. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacionambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/responsabilidad-ampliada/
- MADS. (2021). Llantas Usadas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/llantas-usadas/>
- MADS. (2021). Guía de Manejo Ambiental del Flujo de Llantas en la Industria Minera. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/2021/08/GUI%CC%81A_MANEJO_AMBIENTAL_LLANTAS_INDUSTRIA_MINERA_1.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 1326 de 2017 “*Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental y Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones*”. Bogotá D.C: Diario Oficial.
- Moscoso, M. (2018). El Reciclado de Neumáticos y sus ventajas para el Medio Ambiente. *Natura Medio Ambiental*. <https://www.natura-medioambiental.com/reciclado-neumaticos-ventajas-medio-ambiente/>
- Mundo Limpio. (2014). Mundo Limpio S.A ha reciclado 10 mil llantas. *Parque Ambiental Mundo Limpio S.A.S*. <https://www.youtube.com/watch?v=QOU1jRcCnU4>
- Naupari, M. (2018). Combustión de Neumáticos. Universidad de Buenos Aires. *RPP Noticias*: <https://rpp.pe/vital/salud/la-combustion-de-neumaticos-produce-mas-de-34-compuestos-quimicos-que-afectan-a-la-salud-noticia-1116278>.
- OPONEO. (2020). Altreifenentsorgung in Deutschland. *Zeit Zu Wechseln*. <https://www.oponeo.de/blog/altreifenentsorgung>.
- Pedraza, L. M. (2018). *Evaluación de la Efectividad del Programa de Posconsumo Ecocómputo a través de la Incorporación de los Principios Rectores Establecidos por la OCDE para las Iniciativas de Responsabilidad Extendida*. Repositorio Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4890>
- PNUMA. (2011). *Directrices Técnicas para el Manejo Ambientalmente Racional de Neumáticos Usados y de Desecho*. Colombia: Convenio de Basilea. <https://docplayer.es/23269024-Convenio-de-basilea-directrices-tecnicas-directrices-tecnicas-para-el-manejo-ambientalmente-razional-de-neumaticos-usados-y-de-desecho.html>
- Publicación. (2019). Obtenido de El reencauche de llantas, un tema de ahorro y ecología. *Publi Camión*. <https://publicacion.com/noticias/ecologia/61-el-reencauche-de-llantas-un-tema-de-ahorro-y-ecologia>

- RECICLANIP. (2020). Veja para onde são destinados os pneus inservíveis. *Principais Destinações*. https://www-reciclanip-org-br.translate.google.com/translate/formas-de-destinacao/principais-destinacoes/?_x_tr_sl=pt&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=nui,sc
- Retorna, G. (2021). Mecanismo de Entrega de Llantas Usadas. *Rueda Verde*. <https://www.ruedaverde.com.co/#quienessomos>.
- Robayo, L. (2020). Legislación: La Responsabilidad Extendida del Productor cambia el paradigma de los residuos. *Mundo PMMI*. <https://www.mundopmmi.com/empaque/sustentabilidad/article/21139011/legislacion-la-responsabilidad-extendida-del-productor-cambia-el-paradigma-de-los-residuos>
- Semana. (2021). En Colombia, cada año 950.000 llantas usadas van a parar a la basura. *Semana Economía*. <https://www.semana.com/economia/inversionistas/articulo/en-colombia-cada-ano-950000-llantas-usadas-van-a-parar-a-la-basura/202129/>
- SIGNUS. (2021). Reciclaje NFU. Obtenido de Aplicaciones de los NFU: <https://www.signus.es/aplicaciones-neumaticos-reciclados/>
- Sistema Verde. (2021). Responsabilidad Ambiental Industrial. Obtenido de Posconsumo de Llantas: <https://www.sistemaverde.com.co/servicios/posconsumo-de-llantas>.
- Umwelttechnik. (2019). EU Recycling. *Kommt die Altreifenentsorgung in Deutschland unter die Räder*. <https://eu-recycling.com/Archive/24940#:~:text=Insgesamt%2086.000%20Tonnen%20an%20Gummi%20granulat%20gingen%20in%20den%20Export.&text=Was%20die%20energetische%20Nutzung%20von,Ersatzbrennstoff%20in%20die%20Zementindustrie%20finden>.
- Villa, J. A., & Carrasco, A. G. (2015). *Estudio de Prefactibilidad de una Planta Generadora de Materia Prima a Base de Neumáticos Desechados*. Chile. [Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica] Repositorio Universidad del Bío Bío. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/591/1/Pereira_Carrasco_%20Alexis_Gerardo.pdf
- Wastetireoil. (2019). Horno de Pirolisis. *DOING*. https://es.wastetireoil.com/Pyrolysis_plant/Pyrolysis_Plant/continuous_model_waste_tire_pyrolysis_plant_231.html
- Woo, E. d., & Melo, F. A. (2020). *Análisis de Sistemas de Recolección Selectiva y de Llantas Usadas en el Mundo*. Bogotá, D.C. [Proyecto de grado para optar al Título de Especialistas en Gestión de Proyectos] Repositorio Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/35776>
- Zarini, A. (2011). *Alternativas de Reutilización y Reciclaje de Neumáticos en Desuso*. Buenos Aires. [Tesis para optar al Título de Ingeniería Industrial]. Repositorio Instituto Tecnológico de Buenos Aires - Universidad Privada. <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/507/Z37%20-%20Alternativas%20de%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20reciclaje%20de%20neum%C3%A1ticos%20en%20desuso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>