

IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES PARA EL APROVECHAMIENTO  
DEL GRANULO DE CAUCHO RECICLADO SOPORTADO EN VIGILANCIA  
ESTRATÉGICA. UN ANÁLISIS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Neri Daniela Vargas Rojas

Asesor:

Profesor. Walter Murillo

Co-Asesor:

William Alejandro Orjuela Garzón

Línea de Investigación:

Línea de Biosistemas Integrados

Cohorte XXV

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

BOGOTÁ D.C.

04 DE MAYO DEL 2022

Contenido	
1.	INTRODUCCIÓN ..... 7
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN ..... 9
3.	OBJETIVOS ..... 11
4.	JUSTIFICACIÓN ..... 11
5.	MARCO TEÓRICO..... 13
5.1	Economía ambiental ..... 14
5.2	Economía circular ..... 14
	<b>5.3 Ecología industrial</b> ..... 16
5.4	Los Fallos del Mercado..... 18
5.5	Externalidades..... 18
5.6	Ineficiencia de Mercado y Externalidad Óptima ..... 21
6.	MATERIAL Y MÉTODOS..... 24
7.	RESULTADOS..... 26
	Vigilancia estratégica ..... 26
7.1	Vigilancia de mercados ..... 26
7.1.1.1	Proceso productivo del granulo de caucho reciclado..... 26
7.1.1.2	Tipo de granulo de caucho reciclado según su proceso y uso ..... 30
7.1.1.3	Costos de producción del granulo de caucho reciclado ..... 32
7.1.1.4	Mercados Potenciales..... 33

7.2	Vigilancia Tecnológica .....	37
7.3	Vigilancia Normativa .....	44
7.4	Debilidades y fortalezas del tejido económico.....	48
7.5	Barreras o Drivers .....	49
7.6	Oportunidades y Fortalezas.....	52
8.	Estrategias Sostenibles de Aprovechamiento de Granulo de Caucho Reciclado ...	54
8.1	Modelo de Negocio Circular del Granulo de Caucho Reciclado .....	56
8.1.1	Industria de Llantas.....	57
8.1.2	Consumidores.....	58
8.1.3	Recicladores .....	58
8.1.4	Centros de acopio.....	59
8.1.5	Estado o ente gubernamental.....	59
8.2	Modelo logístico.....	60
8.3	Cadenas de valor .....	61
9.	DISCUSIÓN .....	63
10.	CONCLUSIONES .....	69
11.	RECOMENDACIONES.....	72
12.	BiBLIOGRAFIA.....	74
13.	Anexos .....	80
	Anexo 1.....	80

## Índice de Figuras

Figura 1 Caso clásico de una externalidad Negativa .....	20
Figura 2 Mercado de un bien o servicio contaminante .....	22
Figura 3 Relación Beneficios Costos .....	22
Figura 4 Etapas de la vigilancia estratégica .....	25
Figura 5 Estrategia para el trabajo de campo .....	26
Figura 6 Frases productivas del granulo de caucho reciclado .....	29
Figura 7 Tipos de granulo de caucho reciclado por grosores .....	31
Figura 8 Clasificación de uso según el tamaño .....	31
Figura 9 Número de investigaciones anuales .....	38
Figura 10 Áreas de conocimiento .....	39
Figura 11 Número de investigaciones por autor .....	41
Figura 12 Número de investigaciones por país .....	42
Figura 13 Análisis DOFA Normativa Vigente .....	45
Figura 14 Debilidades y fortalezas del tejido económico de Bogotá.....	49
Figura 15 Mecanismos de gestión y política pública hacia la economía circular .....	55
Figura 16 Líneas de acción para los mecanismos de gestión.....	56
Figura 17 Modelo de negocio circular del granulo de caucho reciclado .....	57
Figura 18 Modelo logístico .....	61
Figura 19 Cadena de valor de Michael Porter.....	62
Figura 20 Actividad de la empresa .....	65
Figura 21 Percepción en la aplicación del GCR .....	66
Figura 22 Uso del granulo de caucho reciclado de manera obligatoria .....	67

**Resumen.** El granulo de caucho reciclado (GCR), se genera a partir del procesamiento de las llantas usadas o de desecho, se realiza este tipo de aprovechamiento ya que dicho residuo tiene diferentes aplicaciones como: construcción de vías, diseño de baldosas para parques y jardines, impermeabilización de canchas sintéticas, entre otros. Actualmente en diferentes ciudades del país, se han creado empresas que se encargan de procesar las llantas usadas en granulo de caucho reciclado (GCR), sin embargo, en la ciudad de Bogotá aún no cuenta con un mercado potencial que permita establecer una dinámica creciente en relación a la demanda de aquel residuo para que se convierta en materia prima para distintas utilidades. Existe desconocimiento de los impactos positivos para el medio ambiente, mayor difusión de los efectos que conduce la empleabilidad del granulo de caucho reciclado en diferentes campos como: obras civiles, infraestructura vial, mezcla para asfáltica, etc., De este modo el presente documento identificará las alternativas sostenibles para el aprovechamiento del granulo de caucho reciclado soportado en vigilancia estratégica., que pretenden impulsar este mercado hacia un enfoque sostenible. Por tal razón, se identifican los mercados potenciales y empresas objetivo que consideren del uso del granulo de caucho reciclado en Bogotá. Posteriormente se establecen las debilidades y fortalezas del tejido económico de la ciudad para el aprovechamiento eficiente del GCR. Así mismo se establecen estrategias sostenibles encaminadas hacia el aprovechamiento de granulo de caucho reciclado como materia prima, esto con el fin de plantear en términos generales recomendaciones que impulsen dicho tanto el uso del residuo reciclado como la aplicabilidad en el sector de infraestructura para la ciudad y den posible solución al poco conocimiento que se tiene sobre este, a partir de la teoría ambiental y económica.

**Palabras Claves:** Granulo de Caucho Reciclado, Desarrollo Sostenible, Economía Circular, Externalidad, Mercado.

**Clasificación JEL:** D11, D62, Q50

**Abstract.** Recycled rubber granules (RRC) are generated from the processing of used or scrap tires. This type of utilization is carried out because this waste has different applications such as: road construction, design of tiles for parks and gardens, waterproofing of synthetic courts, among others. Currently in different cities of the country, companies have been created that are in charge of processing used tires into recycled rubber granules (RRC), however in the city of Bogota there is still no potential market that allows establishing a growing dynamic in relation to the demand for that waste to become raw material for different utilities, ignorance of the positive impacts on the environment, greater dissemination of the effects that leads to the employability of recycled rubber granules in different fields such as: civil works, road infrastructure, mixture for asphaltics, etc., In this way, this document will identify sustainable alternatives for the use of recycled rubber granules supported by strategic monitoring, which aim to drive this market towards a sustainable approach. For this reason, potential markets and target companies that consider the use of recycled rubber granules in Bogota are identified. Subsequently, the weaknesses and strengths of the city's economic fabric for the efficient use of GCR are established. Likewise, sustainable strategies aimed at the use of recycled rubber granules as raw material are established, with the purpose of making general recommendations that promote the use of recycled waste and its applicability in the infrastructure sector for the city and provide a possible solution to the little knowledge that exists about it, based on environmental and economic theory.

**Key words:** Recycled Rubber Granules, Sustainable Development, Circular Economy  
Externality, Market.

**JEL Classification:** D11, D62, Q50

# **IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES PARA EL APROVECHAMIENTO DEL GRANULO DE CAUCHO RECICLADO SOPORTADO EN VIGILANCIA ESTRATÉGICA. UN ANÁLISIS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

## **1. INTRODUCCIÓN**

Existen problemas asociados al cambio climático y al medio ambiente como la disposición inadecuada de residuos sólidos que perturba la conservación del medio ambiente, toda vez que se prevé un aumento de estos; dado el desarrollo económico la industrialización y la implantación de modelos económicos que conllevan al aumento sostenido del consumo. En consecuencia, han impactado significativamente sobre el volumen y la composición de los residuos producidos por las sociedades del mundo, entendiendo a los residuos sólidos como aquel: “objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, y que son susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien” (UAESP, 2017).

Por otra parte, es importante hacer énfasis en la poca responsabilidad que tiene la sociedad a la hora de contaminar y acrecentar cada día más los impactos ambientales a nivel mundial, sin embargo, es indispensable tener en cuenta distintos aportes a partir de teorías relacionadas a la problemática ambiental del manejo inadecuado de los residuos sólidos como lo es: Economía ambiental, Economía circular, Ecología industrial, externalidades, fallos de mercado, entre otros., de esta manera entender desde distintos campos y puntos de vista.

En Colombia, de acuerdo con la resolución 1457 de 2010, la cual es modificada por la 1326 de 2017 las llantas usadas son aquellas que han finalizado su vida útil, es decir que no se pueden utilizar para su propósito original dado el desgaste o daño, por lo cual, se convierten en un residuo sólido. Pero debido a su volumen, la dificultad que representa su degradación en el tiempo y la potencialidad que tienen los elementos que las constituyen para ser aprovechados nuevamente, se catalogan como residuos especiales y requieren de un manejo diferenciado al de los demás residuos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010)

En consecuencia, la pregunta problema planteada para el presente trabajo de investigación fue ¿Cuáles son las alternativas sostenibles para el aprovechamiento del granulo de caucho reciclado que se pueden establecer a través de un ejercicio de vigilancia estratégica para la ciudad de Bogotá?

Dado lo anterior, por medio de esta investigación se realizará la identificación de las alternativas sostenibles para el aprovechamiento del granulo de caucho reciclado en Bogotá, a partir de un análisis de la vigilancia estratégica y caracterización de los mercados potenciales y empresas eventualmente puedan incluir dicho residuo como materia prima dentro de los procesos productivos creando un nuevo mercado por medio de estrategias de economía circular. Por ello, se realizó recolección de información documental de fuentes secundarias (bases de datos científicas y de mercado) entes públicos y privados relacionados al objeto de estudio; posteriormente determinar los mercados en relación a lo analizado proponiendo estrategias que den pie al uso del granulo de caucho reciclado en la ciudad.

Finalmente, se obtuvieron resultados para establecer estrategias sostenibles encaminadas hacia el aprovechamiento de granulo de caucho reciclado como materia prima obteniendo



múltiples usos y así contribuir de manera eficiente a la ciudad desde el punto de vista económico, social y ambiental.

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

En la ciudad de Bogotá D.C. aún no cuenta con un sector encargado de la transformación y aprovechamiento de las llantas usadas para la obtención de granulo de caucho reciclado. Solo en el último reporte del año 2020 por parte de la secretaria de Ambiente de Bogotá se realizaron “214 operativos de inspección y 796 de seguimiento y control a establecimientos de acopio de llantas en Bogotá, logrando de esta manera controlar 2.628 toneladas de neumáticos que se aprovecharán dentro de procesos de economía circular y que no generarán afectaciones ambientales” (Bogotá A. d., 2020). Lo anterior equivale solamente al 10,11 % de las llantas desechadas anualmente, por lo tanto, se puede estimar que alrededor de 26.000 ton no fueron aprovechados, o por lo menos no se cuenta con datos sobre su disposición lo cual presume del posible impacto negativo y poco favorable sobre el entorno económico y ambiental relacionado con este residuo.

Es de mencionar que se deben delimitar las estrategias, impactos y caracterizaciones tanto económicas como ambientales del uso y aprovechamiento del granulo de caucho reciclado; teniendo en cuenta el marco legal que está en vigencia hasta el día de hoy siendo la resolución 1457 del 29 de Julio del 2010 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

En este sentido, se requiere la identificación de alternativas de aprovechamiento que permitan el uso y transformación de este residuo, en especial del granulo de caucho reciclado, buscando alianzas estratégicas con entidades nacionales e internacionales que provean tecnologías sostenibles. Es decir, que se realice un reconocimiento de tecnologías innovadoras que promuevan este tipo de aprovechamiento y a la vez caracterizar los mercados que pueden

utilizar el granulo de caucho reciclado como materia prima con el fin de crear un mercado encaminado a ofrecer este producto y por ende obtener ingresos a partir de la comercialización de dicho residuo en la ciudad de Bogotá.

En consecuencia, a lo anterior y al escaso desarrollo desde el punto de vista económico y ambiental; surgen los siguientes problemas: 1-Escasas estrategias económicas y ambientales frente a los distintos usos del granulo de caucho reciclado como materia prima. 2- débil caracterización de los posibles mercados para la empleabilidad de dicho residuo sólido reciclado. 3-Desinterés en la búsqueda de tecnologías limpias para el procesamiento de las llantas usadas para la obtención de granulo de caucho reciclado. 4- Baja de gestión ambiental y carencia en la responsabilidad extendida del productor por parte de las empresas encargadas de la producción de llantas. 5- poco apoyo por parte de las entidades gubernamentales frente a alianzas estratégicas en relación a empresas privadas junto con empresas públicas para la inversión de innovación tecnológica para su adecuada aplicación en el procesamiento de dicho residuo sólido, causando pérdida de ingresos económicos en la comercialización del granulo.

De acuerdo a lo anterior se plantea la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las alternativas sostenibles para el aprovechamiento del granulo de caucho reciclado que se pueden establecer a través de un ejercicio de vigilancia estratégica para la ciudad de Bogotá?

### 3. OBJETIVOS

#### Objetivo General

Identificar alternativas sostenibles para el aprovechamiento del granulo de caucho reciclado soportado en vigilancia estratégica para la ciudad de Bogotá

#### Objetivos Específicos

- Identificar los mercados potenciales y empresas objetivo que consideren del uso del granulo de caucho reciclado en Bogotá
- Establecer las debilidades y fortalezas del tejido económico de la ciudad para el aprovechamiento eficiente del granulo de caucho reciclado
- Plantear estrategias sostenibles encaminadas hacia el aprovechamiento de granulo de caucho reciclado como materia prima

### 4. JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Bogotá, existen distintas problemáticas ambientales, entre las cuales se encuentran el manejo inadecuado de las llantas usadas que son abandonadas y desechadas en lugares no autorizados como corredores viales, canales, zonas verdes contando con una cifra aproximadamente de 11´400.000 de llantas usadas en la ciudad según lo emitido por parte de la DIAN para el año 2020 (Revista SEMANA, 2021) ; sin que se les den el manejo adecuado o el aprovechamiento a estos desechos sólidos. Sin embargo, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) expidió una política pública que regula y controla dicho problema, pero aún no se cuenta con plantas procesadoras para el uso y aprovechamientos de las llantas usadas para la obtención de granulo de caucho reciclado.

Es de mencionar, que la Secretaría Distrital de Ambiente estableció que las llantas de desecho son un producto compuesto por diferentes materias primas, la mayoría derivadas del petróleo y por ende la inadecuada disposición final genera impactos negativos, tales como: perturbaciones en el paisaje o entorno y afecciones en la salud y seguridad de los individuos. En la ciudad de Bogotá D.C., ya sea por falta de control de las diferentes autoridades o por el desinterés de los actores involucrados en el consumo y posterior desecho de las llantas, estas se encuentran en diferentes lugares públicos de la ciudad (Díaz Mendoza, Pierre Del Castillo, & Magri, 2011).

Dado lo anterior, por medio de esta investigación se realizó la identificación de las alternativas sostenibles para el aprovechamiento del granulo de caucho reciclado en Bogotá, a partir del análisis de la vigilancia estratégica y caracterización de los mercados potenciales y empresas que incluyan dicho residuo como materia prima dentro de los procesos productivos creando un nuevo mercado por medio de estrategias de economía circular. Por ello, se hizo recolección de información documental de fuentes secundarias (bases de datos científicas y de mercado) entes públicos y privados relacionados al objeto de estudio; posteriormente se determinó los mercados en relación a lo analizado proponiendo estrategias que den pie al uso del granulo de caucho reciclado en la ciudad.

En consecuencia, se obtendrán resultados para establecer alternativas que complementen la recolección, reciclaje y aprovechamiento de las llantas usadas obteniendo múltiples usos y así contribuir de manera eficiente a la ciudad desde el punto de vista económico, social y ambiental.

## 5. MARCO TEÓRICO

Partiendo de la definición de economía como aquella ciencia social que se encarga de estudiar los problemas de la producción, la distribución y del consumo de bienes y servicios de las sociedades, y el concepto de medio ambiente como “un complejo sistema de interacciones caracterizado por un entramado de interrelaciones de factores y fenómenos, físicos bióticos, socioeconómicos y culturales en continua interacción” (Sala, 1995), es posible definir a la economía ambiental como aquella rama que examina el impacto que posee la economía sobre el medio ambiente y la importancia que tiene el entorno ambiental para la economía, con el objeto de crear un equilibrio entre lo económico, lo social y lo ambiental. (Kolstad, 2001) (Guzmán A., 2016)

En consecuencia, dadas las definiciones anteriores es importante introducir el concepto de desarrollo sostenible como “la capacidad de una sociedad para cubrir las necesidades básicas de las personas sin perjudicar el ecosistema ni ocasionar daños en el medio ambiente. De este modo, su principal objetivo es perpetuar al ser humano como especie, satisfaciendo sus necesidades presentes y futuras, mediante el uso responsable de los recursos naturales.” (ambiental, 2018)

Es cada vez más evidente que la búsqueda de la sostenibilidad y del desarrollo sostenible exige integrar factores económicos, sociales, culturales, políticos y ecológicos (CNUMAD, 1992; Gallopín y otros, 2001; Kates y otros, 2001). Requiere la articulación constructiva de los criterios que abordan el desarrollo de arriba hacia abajo con las iniciativas de base, que van de abajo hacia arriba. Exige tener en cuenta al mismo tiempo los aspectos locales y globales y la forma en que se relacionan recíprocamente. (Gallopín, 2003)

Dado lo anterior, el daño al entorno o medio ambiente es considerado como una falla en

el mercado, lo que genera un inadecuado uso de sus facultades, propiciado principalmente por las externalidades, los mercados imperfectos, entre otros. Es aquí donde los aportes de algunos economistas, tales como: Jeffrey Sachs, Barry Field, y Diego Ázqueta Oyarzun. (Guzmán A., 2016) (Jesús Ángel Dopico Castro, 2010)

### **5.1 Economía ambiental**

Según Barry Field “la economía ambiental se sitúa en los dos campos, pero sobre todo en el de la microeconomía. Se concentra principalmente en cómo y por qué las personas toman decisiones que tienen consecuencias ambientales. Además, se ocupa de estudiar las maneras como se pueden cambiar las políticas e instituciones económicas con el propósito de equilibrar un poco más esos impactos ambientales con los deseos humanos y las necesidades del ecosistema en sí mismo.” (Field, 1995)

De acuerdo a lo anterior, es indispensable hacer énfasis en la poca responsabilidad que tienen las sociedades por no contaminar, valiéndose de intereses económicos sin asumir el costo y daño ambiental satisfaciendo las necesidades monetarias por ende los consumidores aún no cuentan con las herramientas adecuadas de como desechar de manera correcta los bienes que cumplen la vida útil y mucho menos cual podría ser su aprovechamiento para darle un segundo uso de tal manera que se disminuya como tal la externalidad negativa y se abra un mercado sostenible. A partir de allí, se puede comprender que estrategias e instrumentos son necesarios para darle una mejor eficiencia a la política pública.

### **5.2 Economía circular**

A través de los años los modelos económicos han superado los límites del Planeta agotando de manera incalculable su capacidad física. Es claro que no se va a dejar de producir y

mucho menos de consumir cualquier tipo de bien, sin embargo, si se puede lograr una sostenibilidad entre lo que se utiliza para producir como materia prima, el proceso de transformación que se lleva a cabo hasta llegar al resultado final o sea la obtención del producto. Pero allí no acaba dicho proceso ya que al adquirirlo el consumidor posee gran responsabilidad ya que de allí depende de que tan buen uso le dé y después de cumplir la vida útil.

Dado lo anterior, en medio de tal preocupación ambiental se introduce y cobra fuerza el concepto de economía circular siendo una de las alternativas más viables por implementar actualmente; siendo esta como la “transición hacia una economía circular que no se limita a ajustes que reducen los impactos negativos de la economía circular, sino que representa un cambio sistémico. Ella construye resiliencia a largo plazo, genera oportunidades económicas y de negocios, proporciona beneficios ambientales y sociales.” (Foundation, 2017)

Según Founding Partners of the Ellen MacArthur Foundation “Una economía circular es un sistema industrial restaurador o regenerativo por intención y por diseño. Sustituye el concepto de “caducidad” por el de “restauración”, se desplaza hacia el uso de energías renovables, eliminando el uso de químicos tóxicos, que perjudican la reutilización, y el retorno a la biosfera, y busca en su lugar, la eliminación de residuos mediante un diseño optimizado de materiales, productos y sistemas y, dentro de estos, modelos de negocios.” (Foundation, 2017)

En concordancia con el concepto anterior, lo que pretende la economía circular es realizar una reutilización y aprovechamiento de los residuos sólidos desechados de manera sistemática, que no se quede en el proceso de reciclaje, sino que trascienda y se dé un segundo uso para retornar al consumidor, y de esta manera minimizar más no eliminar el impacto ambiental por los distintos procesos productivos y a su vez los comportamientos consumistas destructores para el entorno natural. (Agency, 2021)

### 5.3 Ecología industrial

Robert Underwood Ayres, economista y físico, su carrera a girado entorno en la aplicación de las leyes de la termodinámica, pionero en la ecología industrial siendo un concepto que él introdujo en la economía hacía finales de la década de los 80's. La ecología industrial, resalta desde distintos puntos de vista un modelo de producción que sea acorde a la evolución de los sistemas naturales, dicho lo anterior el concepto se despliega de la economía ecológica buscando conectar los principios de la economía con los de la biología.

Es de mencionar, que la ecología industrial es una estrategia que permite que el sistema industrial incluya procesos eficientes y eficaces garantizando sostenibilidad con base en los ecosistemas biológicos basado en el modelo de economía circular. Es decir, que es respaldada por la ecología biológica como sistema teniendo como objetivo en replicar o asemejar el funcionamiento de los ecosistemas naturales, a través del desempeño de los ciclos de los recursos extrayéndolos, utilizándolos y devolviéndolos a sus ecosistemas originarios. (González, 2009)

Además, la aplicación de dicho concepto requiere criterios técnicos y ambientales, conocer los procesos industriales e implementación de tecnologías innovadoras; por lo tanto, es indispensable involucrar todos los actores orientados hacia la ecología, con el fin de ahorrar y transformar los recursos de manera sostenible sin afectar a terceros sino al contrario que sea optimo es por esto que las empresas con procesos productivos que causan externalidades negativas al entorno, pueden estructurar estrategias a partir de la ecología industrial obteniendo resultados significativos en términos ambientales, económicos, y sociales.

Cabe resaltar, que las practicas industriales tradicionales que han venido desarrollando los sector de manufactura de pequeña a gran escala han incurrido en daños irreversibles en la



mayoría de casos para los ecosistemas, siendo incompatibles con la evolución ambiental y el cambio climático; por ello es importante promover, implementar y ejecutar estrategias ancladas hacia la economía circular de la mano con la ecología industrial teniendo en cuenta: 1- Reciclar y compartir los recursos, es decir, que los actores se deben complementar, ya que los residuos que se obtengan de un proceso productivo debe ser compatible con otro para que se utilizar. 2- Las empresas que implemente dichas estrategias deben desarrollarse dentro del mismo territorio, para que los costos logísticos sean mínimos y eficientes. 3- Analizar el ciclo de vida del producto y el proceso productivo que conlleva en términos sostenibles. 4- Utilizar herramientas para estudiar cada materia prima integradas en la producción para la obtención del producto final. 5- Manejar canales de comunicación con los clientes, y sectores para fortalecer la estrategia sostenible de la ecología industrial en pro de todos los actores involucrados. 6- Promover políticas ambientales enfocadas a los procesos productivos industriales, producto final, producto después de cumplir su vida útil para posteriores transformaciones como insumo para producir otros productos.

Finalmente, el gran reto de la ecología industrial es limitar el sobrante de los recursos que se emplearon, minimizar el impacto ambiental y administrar de manera adecuada los recursos naturales; esto requiere tener un enfoque sistemático desde los procesos de reciclaje transformando los residuos después de cumplir su vida útil dando como resultado un segundo uso para reintegrarlos en otros procesos productivos.

## 5.4 Los Fallos del Mercado

Los mercados son el resultado de la interacción entre los agentes económicos, garantizando que la economía sea eficiente en el sentido de Pareto<sup>1</sup>, no obstante, esta regla se cumple en ciertas circunstancias o condiciones, pues los mercados no son satisfactorios, y esta situación es denominada fallos del mercado. Este escenario se produce cuando la provisión que realiza un mercado de un bien o servicio no es eficiente o porque el equilibrio del mercado provee una menor cantidad de un determinado bien de lo que sería eficiente. En términos generales, estas fallas surgen por las imperfecciones del mercado. (Stiglitz, 2000) (Rodríguez C, 2013)

Según Stiglitz (2000) el axioma fundamental de la economía del bienestar parte de que la economía solo es eficiente en el sentido de Pareto solo en ciertas circunstancias o condiciones. Existen seis condiciones fundamentales en las que los mercados no son eficientes en el sentido de Pareto. Estas fallas constituyen un argumento a favor de la intervención del Estado, pues, los mercados por sí solos fallan de forma evidente, donde las principales fallas son: 1. Presencia de Externalidades positivas y/o negativas; 2. Falla de la Competencia perfecta; 3. Existencia de Bienes Públicos; 4. Asimetrías de la información; 5. Paro, inflación, desequilibrio y 6. Mercados Incompletos (Jeannot, 2000)

## 5.5 Externalidades

Bator (1958) en una primera aproximación define externalidad como parte de un concepto más amplio que llama fallas de mercado. Su análisis también incluía problemas del

---

<sup>1</sup> La eficiencia en el sentido de Pareto (1848-1923) consiste en que las asignaciones de recurso que tienen la propiedad de que no es posible mejorar el bienestar de ninguna persona sin empeorar el de alguna otra. Es lo que normalmente se refiere en economía a la eficiencia. Para que los mercados sean eficientes en el sentido de Pareto, tiene que haber competencia perfecta.

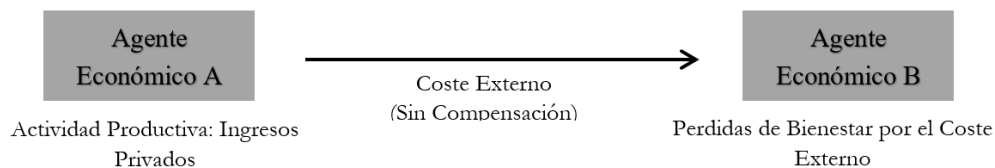
mercado que se alejaban mucho del concepto de externalidad, en particular a las causas que generaban a cada uno de estos y a las soluciones que se proponen para resolverlos. Por lo tanto, se necesita acotar el fenómeno en una definición menos genérica. Baumol y Oates (1988), proponen una condición que sería suficiente para la existencia de una externalidad. Estos argumentan que “una externalidad se manifiesta siempre que la utilidad o producción de un agente económico incluye variables reales cuyos valores son elegidos por otros individuos sin prestar atención sobre los efectos en bienestar de los primeros”.

Esta definición nos permite diferenciar el concepto de externalidad con el de externalidad pecuniaria. Una externalidad pecuniaria es aquella en donde la actividad de un individuo afecta las circunstancias monetarias de otro; o alternativamente afecta la restricción presupuestaria de otro. Esta por lo general se manifiesta cuando hay cambios en precios de bienes en la economía y, a diferencia de una externalidad real, no desplaza la función de utilidad o producción de otro individuo.

Las externalidades son otro tipo de falla del mercado, y es el efecto de las acciones de un Individuo en el bienestar de otro, y este efecto puede ser negativo y/o positivo. Dado que los compradores y los vendedores no tienen en cuenta los efectos externos de sus actividades económicas así sean positivos o negativos, el equilibrio del mercado no es eficiente cuando hay externalidades. Es decir, el equilibrio no maximiza el beneficio de la sociedad en su conjunto.

La consecuencia de un mercado que presenta efectos externos es que en general la asignación que se da en el equilibrio competitivo no es Pareto óptima. Es decir, la cantidad de externalidad asignada por el mercado será superior a la socialmente óptima, en el caso que fuese negativa. Es por esto por lo que se necesita algún instrumento, de precio o cantidad, para corregir el problema de asignación.

*Figura 1 Caso clásico de una externalidad Negativa*



**Fuente:** Elaborado por el Autor tomado de (Jesús Ángel Dopico Castro, 2010)

Los mercados afectados por externalidades no asignan eficientemente los recursos, dado que los niveles de producción y los gastos para controlar la externalidad, son erróneos. Por ejemplo, “el caso de una empresa que podría reducir su nivel de contaminación gastando recursos. Aunque el beneficio social sería grande, la empresa no tiene ningún incentivo privado para gastar el dinero” (Stiglitz, 2000, pág. 248). Aunque no siempre se presentan externalidades negativas, algunos agentes económicos producen beneficios llamados externalidades positivas, en estos mercados, la externalidad beneficia a otras personas, por lo que el costo social de producción es menor que el costo privado.

Algunas de las externalidades están relacionadas con el consumo, por ejemplo, si a un consumidor se ve afectado por la producción o el consumo de otros y de igual manera, existe externalidades en la producción cuando las decisiones de una empresa influyen en la producción de otra empresa. En ambos argumentos, se generan tanto externalidades negativas como positivas. En ese sentido, los agentes internalizan la externalidad cuando tienen cuenta los costos y las ganancias externas, si las externalidades se internalizan completamente, la asignación es eficiente, así el gobierno no tomará partido en ello. (Varian, 2006)(Krugman, Wells, & Olney, 2011)

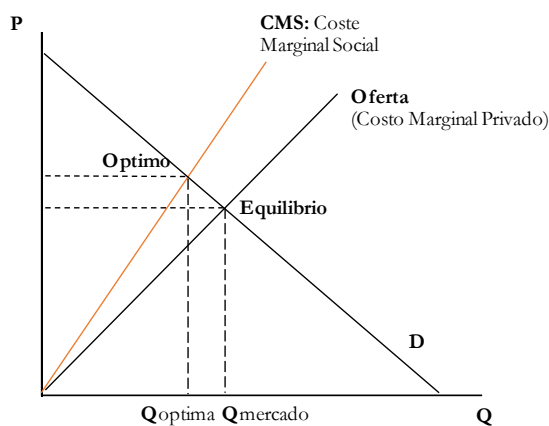
## 5.6 Ineficiencia de Mercado y Externalidad Óptima

La contaminación ambiental es un coste externo o externalidad negativa, el cual depende básicamente de dos efectos, el primero es el efecto físico procedente de la aparición de residuos contaminantes en el medio ambiente y el segundo es la consecuencia resultante de la reacción de los agentes económicos ante al efecto físico (Turner & Pearce, 1992).

Estos dos efectos pueden plantearse desde una pérdida de utilidad para los individuos implicados, y esta disminución de los niveles de bienestar se debe a que la contaminación está generando una externalidad para aquellos individuos que no son responsables de los procesos productivos y/o consumo que causan tal contaminación (Jesús Ángel Dopico Castro, 2010)

En este aspecto y dado lo anterior, la teoría plantea que se puede aceptar ciertos niveles de contaminación, pues existe un nivel óptimo de contaminación para el que se maximiza el bienestar conjunto de la sociedad. La lógica común y neoclásica manifiesta la existencia de un nivel de contaminación óptimo, que imposibilita pensar como solución eficiente la eliminación de la externalidad de la contaminación, dado el hecho de que tanto el contaminador como el afectado disfrutan de los mismos derechos. (Turner & Pearce, 1992)

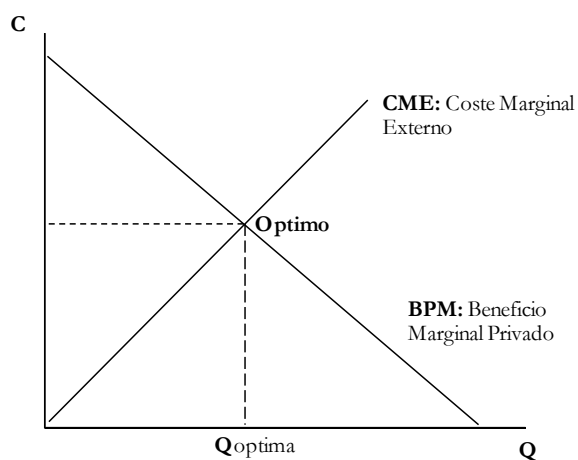
Figura 2 Mercado de un bien o servicio contaminante



**Fuente:** Elaborado por el Autor.

La teoría del óptimo de contaminación se ilustra mediante los gráficos 1 y 2. En el gráfico 1 se representa el mercado de un bien y/o servicio con un proceso de producción que genera contaminación, en el gráfico 2 se representan los beneficios privados y el coste externo generados por la actividad contaminante.

Figura 3 Relación Beneficios Costos



**Fuente:** Elaborado por el Autor.

El nivel de producción que representa un óptimo privado del agente contaminante en un escenario de competencia perfecta es  $Q$  mercado, que representa el equilibrio del mercado considerando la curva de oferta como la curva de coste marginal privado y, a su vez, es el nivel de producción en el que el beneficio marginal privado neto (BMP) se hace nulo. La recta representativa del BMP es decreciente a medida que aumenta el nivel de producción. Si se introduce el coste marginal externo (CME) generado por la actividad contaminante, bajo el supuesto de que dicho CME es creciente a medida que aumenta el nivel de contaminación, obtenemos un nuevo punto óptimo que, en este caso es el óptimo social. En la gráfica 1 se produce un desplazamiento no paralelo hacia arriba de la curva de oferta, que ahora es la suma de CMP y CME, es decir, la nueva oferta se deriva del coste marginal social (Jesús Ángel Dopico Castro, 2010) (Turner & Pearce, 1992)

El nivel óptimo de contaminación será el resultante del equilibrio de mercado con costes sociales o de la igualdad entre BMP y CME. Este óptimo social es el nivel de actividad en el que se maximiza la suma de los beneficios menos la suma de los costes. De esa forma se alcanza un nivel de contaminación correspondiente a una producción socialmente óptima, identificable con el punto  $Q$  óptimo, en ese punto se cumple la condición de óptimo de Pareto en presencia de costes externos, en el sentido de que se igualan el precio y el coste marginal social.

Este planteamiento funciona para explicar por qué no es una alternativa eficiente la contaminación cero, pues, la desaparición de la contaminación sólo se puede lograr eliminando totalmente la producción del bien contaminante, lo cual resulta difícil de pensar, ya que para lograr un nivel de contaminación cero habría que alcanzar prácticamente una situación de actividad económica cero (Jesús Ángel Dopico Castro, 2010)

## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

Para este propósito, la metodología utilizada en este proyecto se basa en la investigación de tipo mixta; es decir inductiva, descriptiva y exploratoria donde se realizó recolección de datos primarios, adicional a esto un análisis de la información para analizar las alternativas económicamente viables y sostenibles para el aprovechamiento del granulo de caucho reciclado a partir de las llantas usadas en Bogotá, mediante la aplicación de un ejercicio de vigilancia estratégica, articulado dentro de la economía circular colombiana.

Es de mencionar que la recolección de datos a realizar se obtuvo a través de entrevistas, encuestas, recepción de documentos tanto de entidades públicas como privadas en la ciudad de Bogotá, tomando como muestra: Empresas dedicadas a ejecutar y elaborar infraestructuras viales y obras civiles, y entes gubernamentales. Sin embargo, antes de recopilar la información cuantitativa para su posterior análisis, se hizo una descripción de cada uno de los actores que se encuentran implicados dentro del abandono y desaprovechamientos de las llantas usadas para su correcto uso y posterior transformación en granulo de caucho reciclado.

Por otro lado, dentro de la vigilancia estratégica que consiste en un proceso sistemático para la captación y análisis de información científica (base de datos como: scopus, clarivate analytics, Google scholar), de mercado y normatividad, por parte de las entidades del sector privado y público en la ciudad de Bogotá, permitiendo entender el mercado poco conocido del granulo de caucho reciclado a partir del aprovechamiento de las llantas usadas.

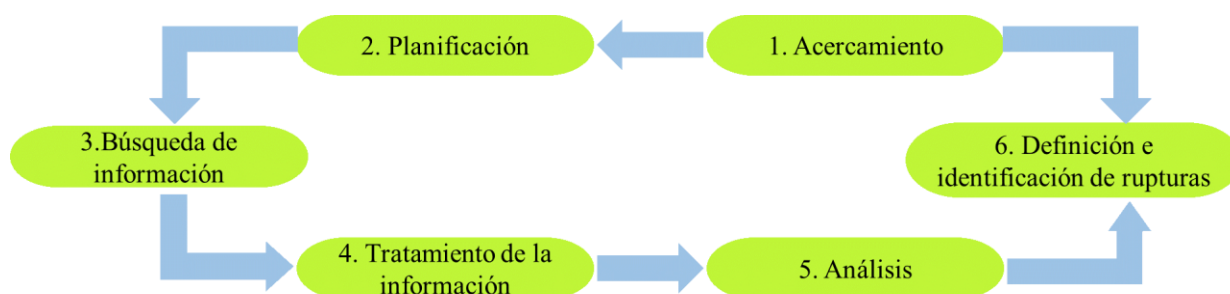
Dicho lo anterior se establecieron palabras clave para la búsqueda de información en las bases de datos de Scopus como: granulo de caucho, caucho triturado, llanta que se encuentran dentro del tema de GCR, además de la ventana de tiempo a partir de la cual se toma en cuenta la información a indagar siendo desde el año 2011 en adelante, se realizó la combinación de las



palabras clave para una obtención de resultados específica al tema comenzando por caucho triturado, gránulo de caucho y goma triturada con el fin de acotar la mayor información posible y de esta manera revisar de todo lo que resultó seleccionar lo relevante y significativo; en harás de plasmar resultados con fundamentos tanto teóricos como descriptivos y procesamiento de datos.

No obstante, se contemplarán distintas etapas para llevar a cabo dicho método el cual conlleva lo siguiente:

*Figura 4 Etapas de la vigilancia estratégica*

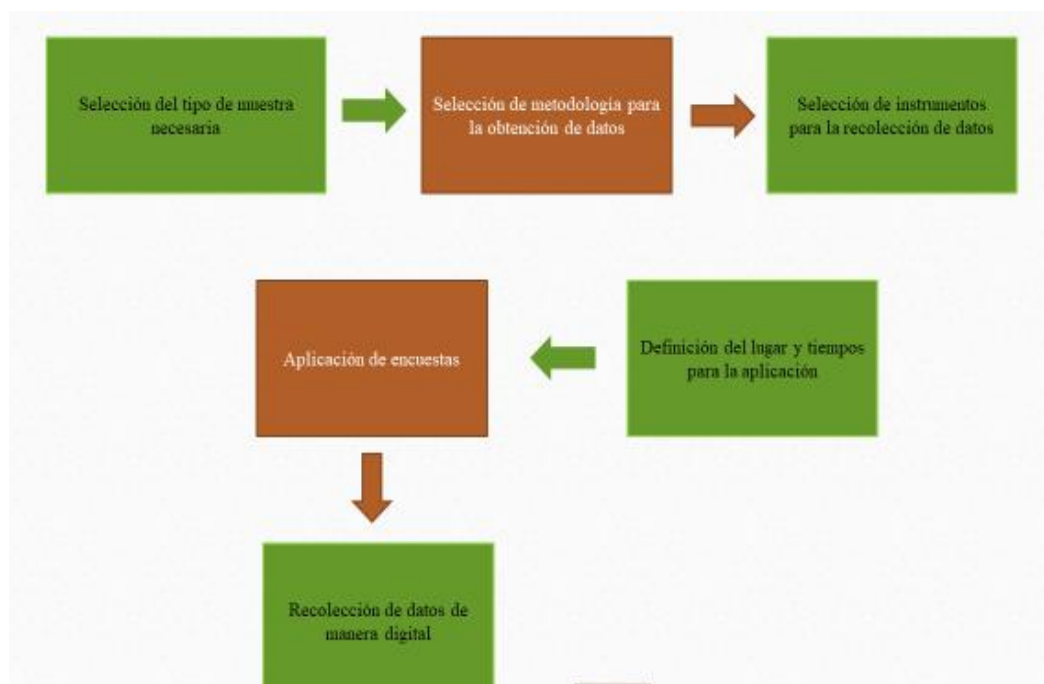


Fuente: Elaborado por el Autor en base a (Ricardo Benjamín Perilla Maluche, 2020)

Durante la estrategia de campo se selecciono la población a partir del analisis de las estadísticas del sector en el cual tiene mayor impacto el uso de granulo de caucho reciclado, en este caso fue el sector de infraestructura y obra civiles en la ciudad de Bogotá. Después de esto, se procedio a escoger la metodología y el instrumento por el cual se obtuvieron los datos siendo la encuesta , acto seguido se delimito el tamaño de la muestra del sector tomando como referencia el 66% de total (75 empresas encuestadas tanto públicas como privadas) de las empresas previamente inscritas al sector anteriormente nombrado, se diseñó la encuesta de tal forma que recopiló los objetivos de la investigación conteniendo preguntas de selección múltiple y preguntas abiertas permiendo entender en terminos cualitativos para su analisis respectivamente, y finalmente se

aplicó la encuesta de manera digital por la plataforma Google formularios donde cada empresa iba consignando la información que se pedía y por medio de correo electrónico notificaron las respuestas respectivas logrando optimizar los tiempos.

*Figura 5 Estrategia para el trabajo de campo*



Fuente: Elaborado por el Autor.

## 7. RESULTADOS

### Vigilancia estratégica

#### 7.1 Vigilancia de mercados

##### 7.1.1.1 Proceso productivo del granulo de caucho reciclado

Dentro del mercado del granulo de caucho reciclado se deben tener en cuenta los siguientes procesos que se llevan a cabo con las llantas usadas para su adecuado aprovechamiento y transformación entendiendo el funcionamiento de este mercado nuevo. Se clasifican en tres grupos:

1. Reutilizables: Las llantas que presentan desgastes que no superen los 1,66mm
2. Reencauchables: Son las llantas que presentan condiciones óptimas los cuales aún pueden ser reparadas y reutilizadas
3. No reencauchables: se encuentran en avanzado estado de deterioro por lo cual no son aptos para ser reutilizados dado que cumplieron con su vida útil los cuales serán procesado para convertirlo en el GCR. (Leidy Viviana Patiño, 2017)

De este último grupo se obtiene el granulo de caucho reciclado que a su vez se obtienen los diferentes materiales o compuestos que tiene la llanta los cuales también puede ser reutilizables, el uso de dicho material en la construcción de infraestructura vial se refleja en mejor durabilidad, mejora la calidad del asfalto al ser mezclado con el GRC para la pavimentación o reparcho. (Roychand R., 2020)

La modificación al asfalto adicionando el GCR mejora notablemente la condiciones y propiedades técnicas (S. Wang, 2015) lo cual se ha demostrado con estudios y pruebas piloto, que mejora la durabilidad hasta en un 50% frente a las mezclas comunes, la aplicación puede ser usada mediante dos procesos, seco y húmedo, mediante el proceso seco se usa el GCR como un agregado mientras que en el proceso húmedo se usa como un modificador de la mezcla.

Con base en lo anterior el costo del uso del proceso húmedo es más costoso frente al seco aproximadamente entre un 20% a 40% dependiendo del tipo de proceso. En cuanto al húmedo es más costoso frente a la inversión, pero si tenemos en cuenta la relación costo-beneficio se puede concluir que es el mejor proceso dado que extiende la vida útil de la vía construida o reparada. Se ha demostrado que resulta ser más rentable usar asfalto modificado adicionando el GNR, actualmente se usan estas mezclas es decir que se reducen los costos en cuanto a la infraestructura vial.

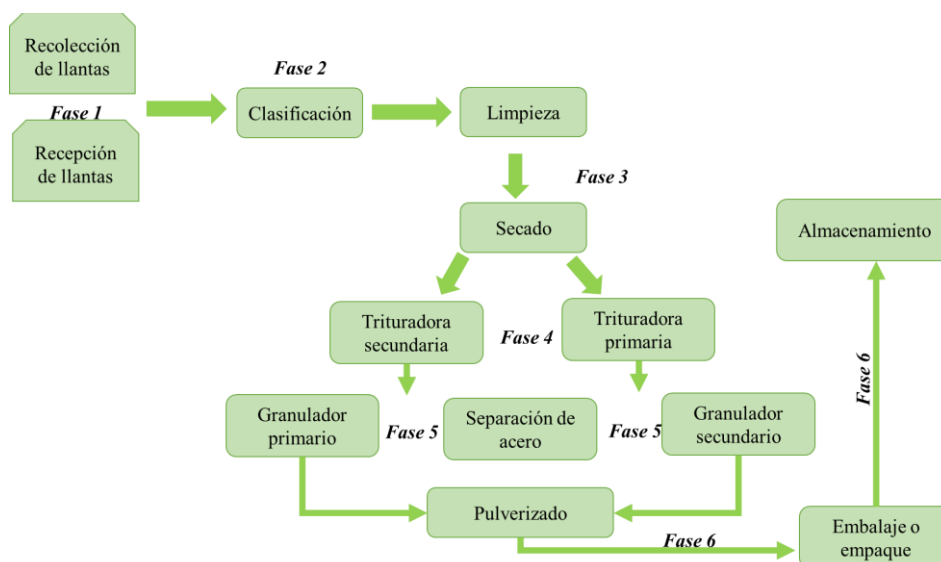
Cabe resaltar, la cantidad de llantas de que se requieren aproximadamente son 3 a 4 unidades para la obtención de granulo de caucho reciclado para ser utilizado en mezcla asfáltica, entonces a la hora de producir una tonelada de GCR son necesarias procesar 250 llantas por lo tanto en relación a tiempo de procesamiento se realiza una transformación a gran escala sin embargo es importante establecer específicamente que tipo de tecnología se puede adquirir en termino de eficiencia productiva y a la vez la demanda que tenga dicha materia prima.

Por último, cabe resaltar las fases productivas del GCR empezando por:

- Recolección y clasificación de llantas: De acuerdo a la estrategia para la recolección, se debe realizar una clasificación de acuerdo con el estado en que se encuentren las llantas usadas.
- Limpieza: Se realiza el lavado de las llantas con el fin de dejarlas limpias de cualquier agente contaminante.
- Secado y almacenamiento: las llantas deben ser ubicadas en un lugar especial que garantice que se encuentran libres de agua, jabón y que están totalmente secas.
- Trituradora primaria: La llanta después de estar en óptimas condiciones, pasa por unas cuchillas realizando cortes que reduzcan el tamaño para pasar a la siguiente fase.
- Trituradora secundaria: Los cortes obtenidos anteriormente, ahora en esta etapa son reducidos mucho más con medidas aproximadas de 300 milímetros a 50 milímetros.
- Granulador primario: Esta máquina reduce el tamaño de los pedazos provenientes de la trituradora secundaria, en esta etapa los granos que se obtienen son de 16 mm.
- Separación de acero: En dicha fase, se separa el 99 % del acero encontrado en las llantas por medio de un separador magnético.

- Granulado secundario: Allí se encuentran dos molinos de refinación, en los que una vez se han molido los granos caen en una banda transportadora, la cual conduce el material a otra pieza rotativa que tiene tres parrillas de tres diferentes tamaños con orificios que van de 0,5 mm a 3 mm.
- Pulverizado: Durante esta etapa, el caucho se encuentra ya libre de los componentes que inicialmente tenía (acero, malla textil, residuos), por lo cual reduce su tamaño a 0,5 mm y es necesario que pase por un molino pulverizador de caucho que utiliza un proceso de embrague de discos rotatorios en sentidos adversos. De esta manera se obtiene el granulo de caucho reciclado.
- Empacado y almacenamiento: En la etapa final, el gránulo de caucho reciclado se deposita en una tolva, que contiene el gránulo seco, luego empacado y embalado en sacos especiales de 50 kg, para ser ubicados en la zona de almacenamiento.

*Figura 6 Frases productivas del granulo de caucho reciclado*



Elaborado por el Autor.

### *7.1.1.2 Tipo de granulo de caucho reciclado según su proceso y uso*

En este ítem, se describen los diferentes procesos que se llevan a cabo para la obtención de GCR estableciendo brevemente los impactos que tienen hacia el medio ambiente y según en lo que se vaya a utilizar ya que tienen distintos grosores en la textura del granulo con características técnicas.

- Termólisis: es una reacción química en la que un compuesto se separa por lo menos en dos componentes cuando se somete a un aumento de temperatura.
- Incineración: es un proceso que se produce gracias a la combustión de las llantas usadas en este caso en particular hasta que estas se conviertan en cenizas. Es un proceso altamente tóxico y contaminante dado que desprende gases y partículas cancerígenas suspendidas en el ambiente.
- Pirólisis: es la descomposición térmica de la llanta usada en ausencia de oxígeno o cualquier para producir gas parecido al propano, aceite industrial, coque y acero.  
(Charlotte Abdy, 2022)
- Desvulcanización: proceso por el cual un material termoplástico (llanta usada) se convierte en termostable, con el cual se mejora su dureza y elasticidad.
- Trituración: proceso de reducción de tamaño de la llanta usada lo cual implica una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza. Existe la trituración mecánica, que no maneja químicos, ni calor, la cual tritura por un sistema de corte hasta disminuir el volumen del caucho. El acero uno de los componentes principales, siendo retirado por medio de una máquina que separa los alambres de la llanta. Los componentes, como las fibras, son separados en otros equipos. En este tipo de reciclaje es que producen nuevos productos lo que disminuye el daño al medio ambiente. La

trituration mecánica es el proceso más utilizado en Colombia y en otros países para la recuperación de llantas y obtención de otros productos como el GCR.

- Regeneración: se caracteriza por que rompe las cadenas que lo componen y así se obtiene la materia prima (granulo de caucho reciclado), que, aunque tiene grandes diferencias con el material original, sirve para volver a vulcanizarse y fabricar caucho.

Finalmente se desglosan los diferentes grosores del granulo de caucho reciclado según la empleabilidad en el cual se vaya a utilizar, a continuación, se establece los usos versus el tamaño del granulo.

*Figura 7 Tipos de granulo de caucho reciclado por grosores*



Elaborado por el autor. Fuente: (Cauchos Dinámicos SAS, s.f.)

*Figura 8 Clasificación de uso según el tamaño*

Usos	Grosor del GCR (mm)
Mezcla asfáltica	0,35 a 0,55
Baldosas, areas sociales	0,5
Topes	2,00 a 3,00
Pisos parques	0,5
Suelas de zapatos	0,35 a 0,55
Tapetes	1,25 a 4,00
Gramas sintéticas	0,7 a 3,00

Elaborado por el autor. Fuente: (Cauchos Dinámicos SAS, s.f.)

### ***7.1.1.3 Costos de producción del granulo de caucho reciclado***

A continuación, se realiza una recopilación de información y análisis de los costos de producción del GCR, a nivel mundial grandes multinacionales y compañías han logrado posicionarse de manera exitosa el mercado de materias primas recicladas obteniendo recaudación de dinero de manera acrecentada garantizando un producto de buena calidad y durabilidad según en lo que emplee.

De acuerdo a lo anterior, en países como China siendo un país potencia han esquematizado en primera medida la inversión que se debe hacer en maquinaria que cuente con la tecnología propicia para llevar a cabo la transformación de llantas en este caso teniendo en cuenta que la adquisición es elevada desde cualquier punto de vista que sea observe; a través del tiempo ha cobrado mayor importancia el uso de productos reciclados para reintegrarlos dentro otras cadenas productivas, sin embargo el hecho de que sean de segundo uso no significa que sean fáciles de triturar sino al contrario conllevan a un tratamiento mucho más cuidadoso y exhaustivo para que tenga un desempeño exitoso en los sectores que lo adquieran.

Sin embargo, en países como México, Brasil, España han optado por alquilar las máquinas para disminuir los costos de inversión con empresas que cuenten con la tecnología según el presupuesto que posean y el tipo de granulo de caucho que quieran obtener ya que como se describía anteriormente existen diferentes tipos de acuerdo a la utilidad que vaya a tener.

Por múltiples razones, es indispensable establecer alianzas estratégicas con las mismas empresas fabricantes de llantas, Estado, entidades públicas ambientales para poder financiar la planta trituradora y transformadora de llantas usadas. Además de identificar los costos iniciales, se debe calcular y asignar el precio de granulo de caucho reciclado teniendo en cuenta los costos logísticos siendo de gran importancia dentro de este mercado, cabe resaltar que las empresas



comercializadoras de llantas pagan un valor por kilogramo por concepto de recolección y obtención de un certificado de disposición de materiales.

Por lo tanto, de acuerdo al precio promedio que se realizó a partir de lo reportado para el año 2017 que fue de COP \$200/kg, para el 2022 será aproximadamente de COP\$300/Kg sumándole los gastos logísticos y el IVA del 19% asumiendo los impuestos de manera legal comercialmente. Entonces, se tiene un precio calculado matemáticamente para colocarlo al mercado de COP\$900 por kilogramo de granulo de caucho reciclado, por ejemplo el costo que se invierte en vías asfálticas elaboradas con materiales convencionales tiene un precio de COP\$ 1.473 por kilogramo aproximadamente (precio de referencia para el año 2021), es decir que si se añade el GCR en distintos usos puede que aumente los costos productivos por unidad pero la relación costo/ beneficio compensa dicho aumento garantizando durabilidad y mantenimiento a mediano y largo plazo.

Por último, es importante mencionar que se debe posicionar el mercado del granulo de caucho reciclado de tal forma que se invierta más en la materia prima nacional para evitar adquirirla a través de importaciones, garantizando fortalecer el mercado local para ciudad de Bogotá e impulsándola a nivel nacional dentro del territorio colombiano y formalizarlo ya que según medio informativos hay pequeñas empresas que lo hacen de manera ilegal con un precio de venta inferior evadiendo impuestos comerciales, por lo tanto dificulta que el mercado tenga una tendencia creciente ante los sectores que vayan a invertir en dicha materia reciclada.

#### ***7.1.1.4 Mercados Potenciales***

En Colombia existen varias empresas dedicadas a la producción de gránulo de caucho reciclado, en particular en la ciudad de Bogotá aún no se cuenta con exactitud cuantas empresas

desempeñan dicha actividad que estén registradas ante la cámara de comercio según lo reportado en las bases de datos indagadas. Sin embargo, a pesar del vacío de información, se tomaron en cuenta primero las entidades públicas en Bogotá que pueden llegar a usar el granulo de caucho reciclado como materia prima teniendo en cuenta los diferentes usos que se describen anteriormente donde se desempeña con mayor énfasis en la elaboración de asfalto para realizar infraestructura vial específicamente y adicional para realizar obras civiles.

Es por esto, que se aplicaron encuestas a empresas públicas como: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), y Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), relacionadas al sector anteriormente nombrado y a su vez a las empresas privadas que representan el mercado potencial que va adquirir el granulo de caucho reciclado donde se encontró 114 empresas registradas tomando una muestra aleatoria de 75 empresas representando el 66% del total. Posteriormente, se aplicó la encuesta diseñada con 10 preguntas tanto cerradas como abiertas respectivamente, que dieran resultados desde la percepción del mercado que tienen con respecto al granulo de caucho reciclado, contando con profesionales especializados (arquitectos, ingenieros civiles, ingenieros en transporte y vías) y a partir de allí saber que tan interesados y receptivos están en conocer, utilizar y promover la implementación de esta materia prima reciclada resultantes de las llantas usadas en Bogotá.

En primer lugar, las actividades de las empresas privadas y públicas encuestadas concentran las actividades en: Construcción de obras civiles, construcción-Infraestructura vial y civil, consultoría y ejecución de proyectos de infraestructura, coordinación, asesoramiento y monitoreo de las políticas y acciones de gobierno, y administración de infraestructura de transporte., contando con un 45% de representación en construcción de infraestructura vial y civil, lo que demuestra que si existe un mercado potencial en Bogotá, dado que la ciudad cuenta

con un participación significativa en la ejecución de proyectos relacionadas a dichas actividades.  
(Movilidad, 2017)

En segundo lugar, la percepción que tienen los profesionales desde su área que desempeñan en cada una de las empresas acatan de manera afirmativa el uso del granulo de caucho reciclado en la ejecución de diferentes proyectos que vayan a desarrollar en un mediano y largo plazo, sin embargo manifiestan que falta mayores estudios por parte de los entes públicos que regulan y ejecutan licitaciones de infraestructura vial y civil, ya que esto va a permitir que se difunda con mayor fundamentación tecnológica, estratégica y con rigor la utilización que implica el GCR desde el ámbito empresarial, comercial, tanto para quien lo produce como para quienes lo van a consumir, esto implica que se dinamice el mercado del granulo de caucho reciclado.

En tercer lugar, las empresas tienen una posición bastante contundente a la hora de implementar el GCR ya que según los resultados manifiestan el 100% de aceptación de esta materia prima, teniendo en cuenta que disminuyen los costos dentro de los presupuestos a presentar ya sea para obras públicas o privada y además expresan que da un valor agregado para las empresas a puertas de los inversionistas tanto nacionales como internacionales, es decir que van a tener beneficios no solo económicos sino sociales y por supuesto ambientales.

En cuarto lugar, se tomó en cuenta acotar dentro de la normatividad ambiental colombiana (decreto, ley, o política pública) para que se contemple dentro de los lineamientos el uso del granulo de caucho reciclado donde se despliegue la importancia que tiene desde distintos escenarios, a lo que respondieron las empresas que estaban de acuerdo que de una u otra manera fuera reglamentario o como requisito para ejecutar las licitaciones, proyecto de infraestructura en general con un porcentaje del 91 %, demostrando que si están dispuestos a que se generen estrategias sostenibles a través de instrumentos legales que de una u otra manera se regule con

mayor rigurosidad.

Sin embargo, también se estableció si lo harían de manera voluntaria lo cual dio un resultado del 97% pero haciendo la salvedad de los siguientes criterios para que se haga de esta manera como: condiciones técnicas que se presente frente al uso en obras de infraestructura, teniendo claras las especificaciones y en qué tipo de construcción puede ser usada, Si lo tendría en cuenta a la hora de desarrollar nuevos proyectos, claro de ante mano sabiendo las condiciones de uso del mismo siempre y cuando se hayan estudiado y demostrado sus propiedades y características.

Finalmente, es importante resaltar la percepción que tienen frente a la poca información y difusión acerca del uso del granulo de caucho reciclado (GCR) dentro del sector de infraestructura en el cual se encuentran las empresas, donde manifestaron lo siguiente: Debe de realizar mayor divulgación ya que es de gran importancia para minimizar el impacto negativo que causa en el medio ambiente, hay muchas opciones que permiten la utilización y el reaprovechamiento de materiales contaminantes, pero desafortunadamente, es la falta de información que no nos brinda la oportunidad de evaluar y adoptar dichas estrategias para mitigar daños al medio ambiente, es un tema de gran importancia hoy en día que generan las llantas abandonadas, pero respecto al uso del granulo de caucho se ha hecho pocas investigaciones al respecto.

En consecuencia, a lo anteriormente expresado por parte de las empresas, se percibe una acogida significativa sin embargo dejan en claro que el sector carece de mayor información con respecto al granulo de caucho reciclado como materia prima sea cual sea su uso, sugieren que las investigaciones no solo se queden plasmadas sino que se hagan estudios tecnológicos, pruebas piloto que demuestren con resultados tangibles porqué es importante tener en cuenta dicho

residuo sólido en Bogotá, donde se esquematice un mercado sostenible con beneficios no solo en términos monetarios sino sociales.

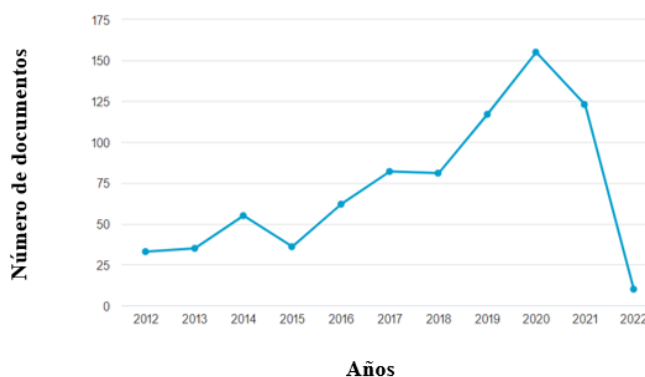
## **7.2 Vigilancia Tecnológica**

La metodología que se utilizó en esta investigación fue la vigilancia estratégica, donde se partió inicialmente en seleccionar las palabras clave (granulo de caucho, caucho triturado, llanta ) que se encuentran dentro del tema del granulo de caucho reciclado, adicional a esto se realizó la ecuación de búsqueda que requiere la base de datos utilizada Scopus como:

(( ( TITLE-ABS-KEY ( "Crushed rubber" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "rubber granule" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "crumb rubber" ) ) ) AND ( ( TITLE-ABS-KEY ( "tire\*" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "tyre\*" ) ) ) ) PUBYEAR > 2011., para realizar una búsqueda avanzada y de esta manera obtener resultados científicos que respalden la información recopilada a través de fuentes primarias y secundarias a nivel nacional e internacional.

A través del tiempo, como se puede evidenciar en la siguiente figura 9 el granulo de caucho reciclado ha generado mayor interés investigativo los últimos 10 años teniendo en cuenta la importancia de aprovechar los residuos sólidos reciclados en pro del cuidado y preservación del medio ambiente.

*Figura 9 Número de investigaciones anuales*

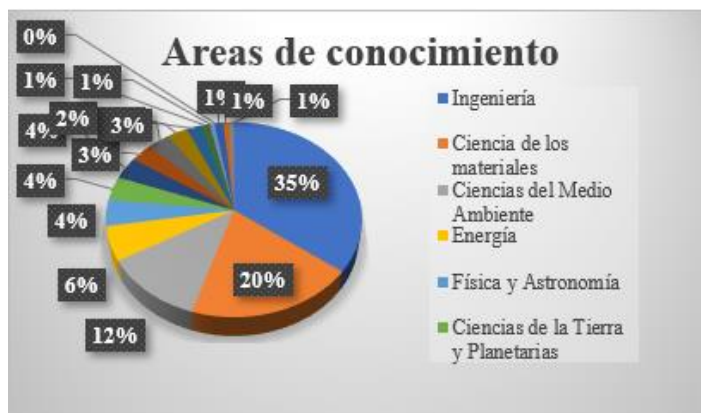


Fuente: Elaborado por el Autor. Datos: (Scopus, 2021)

Cabe resaltar, que los resultados que se encontraron en la base de datos indagada Scopus, muestra tendencias favorables en relación al uso y aprovechamiento del granulo de caucho reciclado, dando respaldo a los datos recopilados por medio de las encuestas que se aplicaron en el sector de infraestructura y obras civiles en la ciudad de Bogotá, es decir que dicho sector tiene una percepción significativa frente a la utilización del residuo solido reciclado en mención en un mediano y largo plazo.

A continuación, se observa como el granulo de caucho reciclado se utiliza desde diferentes áreas del conocimiento, donde el 36% representa la mayor participación en el campo de la ingeniería seguido de la ciencia de los materiales con una participación del 20 % y por último en las ciencias del medio ambiente con un 12% de participación; lo que indica que dicho residuo tiene gran impacto en disciplinas relacionadas para dar contundencia al sector de infraestructura siendo un mercado representativo y a la vez potencial para la empleabilidad del GCR desde el punto de vista económico, social y ambiental para la ciudad de Bogotá.

Figura 10 Áreas de conocimiento



Fuente: Elaborado por el Autor. Datos: (Scopus, 2021)

Es de mencionar, las investigaciones que han realizado distintos autores que han enfocado sus intereses por identificar la importancia de rescatar el GCR y como es su aplicabilidad desde distintos campos profesionales, toda vez que sea favorable en primera instancia en términos ambientales y luego en términos de rentabilidad que impulsen el desarrollo del entorno donde se desarrollen, esto permite que por medio de la vigilancia estratégica responda a los cambios que se vienen aproximando a través del tiempo en relación al aprovechamiento de residuos fuera de uso y lo que implica en el momento de su aplicabilidad desde un entorno sostenible, identificando mecanismos que beneficien no solo el sector empresarial, sino que sea un trabajo conjunto con el sector productivo en vista del cuidado, protección y preservación medio ambiental teniendo en cuenta que la industria productiva de llantas no tiene sustitutos y cada vez más en Bogotá se acrecienta el número de vehículos de todo tipo lo que conlleva a que este producto se demande sostenidamente.

Por otro lado, las patentes que se encontraron en la base de datos internacionales, se encontraron patentes como: la obtención de material compactado a partir del caucho de neumáticos, destacando cifras acrecentadas en España de los neumáticos que cumplen su vida útil contando

con 305.000 Ton., frente a este existe la legislación europea a nivel local y nacional para darle un adecuado tratamiento a este tipo de residuos incluyendo a los distintos actores implicados dentro de dicha problemáticas ambiental, además se establecieron los objetivos para el reciclaje y reutilización de dicho residuo enfocado hacia la línea medio ambiental ambiciosa.

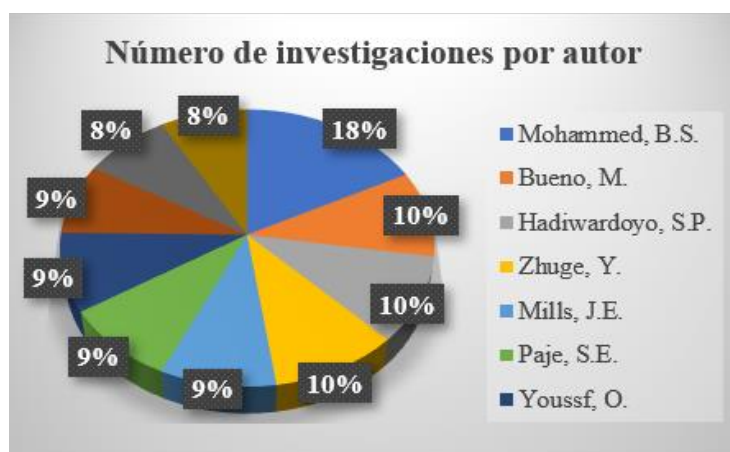
También se encontró como segunda patente la utilización de caucho reciclado (CR) en obras viales en Latinoamérica propuesto por los autores Gerardo Botasso y Adrián Cuattrocchio; indicando las fallas que presentan los pavimentos asfálticos elaborados con materias primas convencionales mostrando fisuras, huecos, entre otros, de esta forma plasman la importancia de implementar otro tipo de materiales para la elaboración de asfalto tomando en cuenta el caucho reciclado para aplicarlo en la mezcla asfáltica convirtiéndolo en materia prima modificadora que se adapta y es compatible a las condiciones que demanda el mercado de infraestructura vial. (Cuattrocchio, 2007) Los autores también señalan en términos de costos operacionales y de inversión la empleabilidad de dicho residuo sólido reciclado obteniendo beneficios positivos en todo sentido toda vez que se realicen un adecuado manejo en pro del cuidado del medio ambiente, por lo tanto, es indispensable la preservación de los recursos naturales, consumo de energías, etc.

Como tercera patente el autor Guillermo Castro analiza la problemática ambiental ante la fabricación masiva de neumáticos y la manera en cómo hacer desaparecerlas después de cumplir su vida útil, de tal manera dicho esto genera dificultades y fallas ambientales graves en los últimos años. Además, describe los componentes que poseen los neumáticos siendo nocivos alguno de ellos para la salud humana y el medio ambiente; por lo tanto, es indispensable buscar y establecer métodos para lograr reciclar coherentemente este residuo sólido ante la masiva



fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez cumplen su vida útil sin embargo, enfatiza en la falta de políticas que regulen y controle dicha problemática para lograr que se realice un manejo adecuado y limpio de los neumáticos fuera de uso. (Castro, 2007)

*Figura 11 Número de investigaciones por autor*



Fuente: Elaborado por el Autor. Datos: (Scopus, 2021)

La presente investigación también se enfoca en los avances científicos que ha tenido el GCR a nivel mundial, partiendo de escenarios estratégicos económicamente viables, innovadores ambientalmente y prósperos socialmente; visualizando cada perspectiva hacia un desarrollo más equilibrado, por lo tanto, entre los países que han sido pioneros en abordar temáticas ambientales que trasciendan fronteras se encuentran: China, Estados Unidos, India, Malasia, Australia, Italia, entre otros., siendo los dos primeros países potencia del mundo que tienen economías dinámicas con índices de desarrollo y crecimiento económico de gran impacto, donde las industrias tienen producciones a gran escala con cifras alarmantes en relación a la contaminación que causan siendo poco favorables pero que buscan estrategias sostenibles que de una u otra manera resarzan los efectos ambientales dentro y fuera de sus territorios.

Figura 12 Número de investigaciones por país



Fuente: Elaborado por el Autor. Datos: (Scopus, 2021)

Cabe resaltar que la vigilancia estratégica garantiza que el desarrollo de la investigación permita establecer el nivel de significancia en torno a la información que se obtiene a través de bases de datos internacionales mostrando innovación, sectores potenciales, seguimiento del tema de interés y los que emergen alrededor que dan impulso a la información que se obtiene por otros medios dando concordancia de lo que se quiere identificar y establecer en primer orden el mercado potencial en la ciudad de Bogotá que va a utilizar el granulo de caucho reciclado como materia prima en el sector de infraestructura y construcción, dando a conocer las fortalezas y debilidades desde la articulación económica, ambiental y social que puede tener y por último plantear estrategias sostenibles encaminadas hacia el aprovechamiento de dicho residuo.

Finalmente, es de mencionar las tendencias que muestran los resultados encontrados en la base de datos Scopus con un total de 853 documentos del total donde hay una participación de 67,5 % de artículos científicos, seguido de un 22,9% de documento de conferencia, y el restante con 9,6% correspondiente a apartados de libros, revistas y reseñas. Las investigaciones que se encontraron plasman un análisis del granulo de caucho reciclado con enfoques hacia diferentes sectores como anteriormente se mostró en los gráficos con mayor énfasis en el sector de

ingeniería, infraestructura vial y civil explicando los casos de éxito en la aplicación de dicha materia prima (GCR) en contraste con las problemáticas ambientales a nivel mundial, estableciendo lo que se requiere y conlleva el reintegro de un producto reciclado dentro de la cadena productiva de otro producto.

Por lo tanto, la problemática asociada al desconocimiento de la disposición y utilidad del granulo de caucho reciclado como materia prima indujo a los gobiernos iniciaran la implementación dentro de las regulaciones ambientales para disminuir la contaminación generada por las llantas usada, además esto incentiva a la industria para que emplee el GCR dentro de los procesos productivos. Dicha estrategia, fue implementada inicialmente en la normatividad para ser regulada y dar cumplimiento por Taiwán siendo país pionero seguido de China, Estados Unidos, Japón y países de la Unión Europea de tal forma que dichas regiones tienen el mayor grado de desarrollo en cuanto a: Legislación, patentes, tecnologías sostenibles, investigación con respecto a dicho procesamientos de residuos sólidos reciclados como el granulo de caucho reciclado.

Los países en vías de desarrollo han enfatizado en la utilización de materias primas recicladas según las dinámicas del mercado teniendo como objetivo disminuir poco a poco las externalidades negativas para el entorno, en conjunto con el desarrollo de la industria de reciclaje en cada nación respaldado directamente por reglamentación y normatividad vigente; por lo tanto la globalización se ha encargado que en los países en vía de desarrollo implementen políticas ambientales eficientes y efectivas partiendo desde la conciencia ambiental desde el ámbito cultural hasta retribuciones económicas por la empleabilidad de residuos sólidos reciclados en procesos productivos. (V. Ramirez, 2013)

Según lo evidenciado en los artículos resultantes durante la búsqueda del granulo de caucho reciclado, reflejan gran interés por ahondar en estudios de las posibles aplicaciones de dicho residuo generando un valor agregado, incursionando en nuevas aplicaciones ampliando las posibilidades de utilizarlo en distintas manufacturas. Es decir, que esto conlleva a plantear alternativas y estrategias que sean económicamente atractivas, mayor posibilidad de comercializarlo y por ende aumentar los volúmenes de adquisición.

Por ejemplo, algunos expertos en biotecnología y procesos químicos han evaluado la posibilidad de utilizar partículas de GCR en absorciones acústicas gracias a la capacidad de absorción de sonido de baja frecuencia (ondas) obteniendo una barrera contra el ruido. De tal forma, que distintos investigadores como ingenieros químicos, civiles, ambientales y biotecnólogos, detectaron que el campo potencial para emplearlo es en modificadores para asfalto, pavimentos y concretos con propiedades químicas y físicas significativas desde todo punto de vista.

Por último, se identificaron distintas líneas de investigación que apuntan a generar mayor valor agregado en sistemas de descontaminación en medios acuosos, ecológicos, generación de energía quiere decir que puede ser empleado como combustible, sin embargo este tema sigue en fase de investigación y exploración al respecto recalcando que el tema del granulo de caucho reciclado como materia prima tiene retos científicos con alta relevancia cada vez más, pero que requieren mayor atención antes las problemáticas ambientales que hay hasta el día de hoy asociado al manejo adecuado y optimo del GCR.

### **7.3 Vigilancia Normativa**

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, dentro de la definición de sus objetivos y funciones principales implementó rigiéndose bajo las siguientes bases para el

desarrollo apropiado de sus funciones las cuales incluyen ser la institución que: estructura, define, orienta y regula la gestión ambiental en el marco de las políticas que deben ser implementadas dentro del territorio nacional para garantizar el desarrollo sostenible. (Ambiente, 2011)

Desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se expide la resolución 1457 del 29 de Julio del 2010 que tiene por objeto establecer cargos a los productores de llantas que se comercializan en el país; presentar e implementar los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas con el propósito de prevenir y controlar la degradación del medio ambiente. Los productores estarían en la obligación de presentar un informe anual detallado a la Agencia Nacional de Licencias Ambientales; sobre la ejecución del sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas hasta el 31 de marzo.

De acuerdo a lo anterior, se realizó un análisis de la normatividad vigente teniendo en cuenta las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas a través de la matriz DOFA como se observa a continuación:

*Figura 13 Análisis DOFA Normativa Vigente*

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
Frente a la problemática de las llantas de desecho en Colombia se evidencia que existen decretos y resoluciones vigentes como la 1457 de 2010 que es modificada por la 1326 del 2017; los cuales establecen los lineamientos para hacer un uso adecuado de estos residuos, evitando la contaminación del	La principal oportunidad que se observa derivada de las llantas de desecho en la ciudad de Bogotá radica en la creación de un programa de recolección y transformación de llantas usadas que sea Distrital. Esto generaría beneficios económicos a la ciudad y se reduciría

<p>medio ambiente, espacios públicos, contaminación del aire que se da por la quema de llantas a cielo abierto.</p> <p>El decreto 442 de 2015 tiene por objeto “Crear el programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas en la ciudad de Bogotá”.</p> <p>Se crearon programas de aprovechamiento de llantas de desechos en Colombia</p> <p>Se hace un seguimiento anual y se debe presentar un informe al MADS y ANLA, para mantener actualizados los puntos de recolección y verificar el avance en el cumplimiento de las metas.</p> <p>Cada año se hace un aumento de las metas de recolección de las llantas con el fin de alcanzar el 100% de las llantas desechadas cada año.</p>	<p>enormemente la acumulación de llantas en diferentes sectores públicos de la ciudad.</p>
<p><b>Debilidades</b></p>	<p><b>Amenazas</b></p>
<p>Las resoluciones actuales buscan obligar a los productores y comercializadores de llantas a encargarse de crear sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental, sin embargo, la</p>	<p>Al no existir un control por parte de las autoridades pertinentes, en cuanto las sanciones, aumenta la disposición</p>

<p>norma quedo con muchos vacíos, pues i), no es claro el proceso para la debida disposición de los residuos por parte de los generadores, ii) excluyo de la regulación la disposición de llantas de motocicletas, a pesar de las 400.000 motos matriculadas en Bogotá, iii) se excluyeron muchos sectores que hacen parte del problema, como lo son los monta llantas y talleres de vehículos y iv) no propone mecanismos de posconsumo, lo cual se convierte en el problema principal, pues las bodegas que reciben las llantas, han llegado a su capacidad máxima de almacenamiento, lo que dificulta su disposición y genera riesgos ambientales.</p> <p>La SDA ha buscado formas alternativas para la utilización de las llantas usadas, por medio de una nueva norma que busca usarlas como materia prima para la fabricación de granulo de caucho reciclado, sin embargo Bogotá no cuenta con una planta de trituración de llantas usadas, por lo tanto es necesaria la</p>	<p>inadecuada de las llantas tiende a aumentar.</p> <p>Como las llantas no son residuos ordinarios, los operadores de aseo no las pueden recoger ni llevar a un relleno sanitario. En 2010, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial firmó la resolución 1457, en la que obliga a los productores y comercializadores de llantas a encargarse de crear sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental. Sin embargo, la norma se quedó corta, pues quienes más botan llantas a la calle son los talleres y los monta llantas, que no están incluidos en la norma.</p> <p>El programa de la ANDI es solo una iniciativa. Por lo que no es la única entidad responsable de estos desechos sea la ANDI, aún faltan 130 empresas</p>
--	--

<p>intervención del Ministerio de Ambiente y de la ANLA, como autoridad competente, para la creación de una norma que no solo se establezca los responsables de la recolección selectiva de las llantas usadas, sino que incentive el posconsumo, dando alternativas para su aprovechamiento.</p>	<p>que no tienen un sistema establecido y siguen funcionando sin ninguna sanción de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales</p>
<p><b>Fuente:</b> Elaborado por los Autor.</p>	

Según lo analizado en la normativa vigente, inicialmente el problema se centró en determinar quién era el encargado de la recolección y disposición de las llantas, mientras el daño ambiental seguía sin una solución efectiva. La Asociación Nacional de Industriales ANDI, sostuvo que su colectivo no tenía la obligación legal de recolectar las llantas que se encuentran abandonadas en Bogotá, pues si bien, la ANDI se ha encargado, desde hace cuatro años de incentivar y desarrollar el programa de posconsumo de llantas usadas, su labor no es hacerse cargo del problema ambiental, que le corresponde a la Alcaldía y a las autoridades ambientales, sino garantizar que sus asociados realicen de manera adecuada el proceso de recolección y disposición de llantas, a pesar de no tener la obligación legal de hacerlo y por lo tanto integren estrategias para la producción de materia prima reciclada como el granulo de caucho GCR. (V. Ramirez, 2013)

#### **7.4 Debilidades y fortalezas del tejido económico**

En este apartado, se da a conocer las debilidades y fortalezas del tejido económico del mercado del granulo de caucho reciclado, según lo que se apreció a través de las encuestas aplicadas durante la investigación e información recopilada en documentos como artículos y revistas



esquematisando el análisis del comportamiento y percepción del sector potencial identificado y de la ciudad de Bogotá social, económica y ambiental.

*Figura 14 Debilidades y fortalezas del tejido económico de Bogotá*

<b>Debilidades</b>	<b>Fortalezas</b>
1. Las industrias grandes o de producción a gran escala no permite el desarrollo masivo de propuestas que ayuden al medio ambiente, como el aprovechamiento del uso de materias primas recicladas como lo es el granulo de caucho reciclado.	1. Bogotá como ciudad principal y capital puede lograr obtener apoyos financieros con recursos de entidades que promueven estrategias sostenibles, teniendo en cuenta que el desarrollo que ha tenido los últimos años ha permitido que la población cuente con cifras que demuestran que es un entorno potencial en aras de inversión y tencificación de infraestructura vial y civil.
2. Bogotá al ser la ciudad capital de Colombia, cuenta con un mercado ambicioso el cual ha logrado monopolizar los mercados que estan ligados directamente con el sector de infraestructura vial y civil.	2. La ciudad cuenta con tener una participación del 39 % en sector de infraestructura, ejecutando el 78,2 % de proyectos y licitaciones tanto viales como civiles en Bogotá, es decir que existe gran potencial para establecer estretegias sostenibles que contribuyan de manera positiva economicamente, socialmente y ambientalmente.
3. La ciudad aún no cuenta con apoyo por parte del Estado a las pequeñas y medianas empresas, que realizan el procesamiento y obtención del granulo de caucho recilado, teniendo en cuenta que dicho proceso requiere de una inversión de capital tecnologico bastante grande y tampoco ha buscado alianzas estrategicas con empresas internacionales.	3. Bogotá ha realizado inversiones con el fin de hacerle frente a los problemas estructurales de la movilidad de la ciudad, por tal razón puede contemplar acoger un nuevo mercado que además de ser restable en terminos de costos va darle un plus adicional en terminos de desarrollo sostenible.
4. Las entidades públicas como el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), y Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), no han puesto mayor empeño es realizar pruebas piloto o contar con los profesionales que pongan en marcha el uso del granulo de caucho reciclado.	4. Bogotá se encuentra en una de las ciudades que moviliza más personas en Latinoamerica, donde ha abiertos sus puertas para generar cada vez más empleos, sin embargo con la preocupación ambiental que se ha venido sintiendo con mayor impacto, es importante crear y acoger empresas que contribuyan no solo al desarrollo y crecimiento economicamente sino sosteniblemente con productos que tengan direccionamiento al cuidado del medio ambiente.
5. Bogotá no cuenta con una planta de trituración de llantas usadas, por lo tanto es necesaria la intervención del Ministerio de Ambiente y de la Anla, como autoridad competente, para la creación de una norma que incentive el posconsumo, dando alternativas para su aprovechamiento de dicho residuo solido reciclado	

Fuente: Elaborado por el Autor en base a (Infraestructura, 2020)

## 7.5 Barreras o Drivers

Teniendo en cuenta el capítulo anterior donde se identifica los mercados potenciales de los cuales pueden dar uso al granulo de caucho reciclado, es importante establecer las barreras o drivers que se encuentran dentro de dicho mercado en contraste a las oportunidades que se encuentran emergidas en distintos ámbitos como: económico, político, social y ambiental.

Actualmente en diferentes ciudades del país, se han creado empresas que se encargan de procesar las llantas usadas en granulo de caucho reciclado (GCR), sin embargo, en la ciudad de Bogotá aún no cuenta con un mercado potencial que permita establecer una dinámica creciente

en relación a la demanda de aquel residuo para que se convierta en materia prima para distintas utilidades.

- **Desconocimiento de los impactos positivos para el medio ambiente.**

Uno de los mayores beneficios del uso de granulo de caucho reciclado es el beneficio o impactos positivos para el medio ambiente, puesto que este residuo se obtiene de la trituración de las llantas usadas, adicional si se puede utilizar como insumo o componente adicional para la mezcla de asfalto para infraestructura vial, lo cual asegura una mayor durabilidad en las carreteras. Sin embargo, aún no se cuenta con la información suficiente que permita difundir dichos impactos ambientales, promoviendo el uso del granulo de caucho reciclado en diferentes sectores de la ciudad de Bogotá de manera responsable y sostenible.

- **Poca difusión de información con respecto al uso del granulo de caucho reciclado como materia prima.**

Se sabe que existen programas de recolección de llantas fuera de uso, como y en donde se deben reciclar, pero es poca la información que hace referencia a la transformación y aprovechamiento de las llantas recolectadas convirtiéndolas en GCR siendo materia prima para la fabricación de diferentes productos entre ellos la fabricación de asfalto utilizándolo en el sector de infraestructura vial. Por lo tanto, esto ha ocasionado una gran barrera para poder emplearlo, es decir, que es importante que se realicen investigaciones y pruebas piloto que permitan establecer la utilización del GCR y su comportamiento en cada uno de sus usos respectivos.

- **Producción limpia y adquisición de equipos.**

Dentro de la cadena de aprovechamiento del granulo de caucho reciclado se utiliza maquinaria que realiza la separación y transformación de las llantas usadas realizando la separación de los

principales componentes ( Caucho natural, caucho sintético, negro de humo, acero, malla textil y antioxidantes), donde no resulta ser contaminante hasta el momento según estudios, pero la adquisición de la tecnología que se necesita a lo hora de invertir tiene un costo elevado en comparación a otras tecnologías para otros procesos productivos, es por ello que resulta ser una barrera a la hora de adquirirla por esto es importante buscar apoyos económicos tanto privados como públicos para la obtención de estos equipos de tal manera que se garantice una producción limpia en pro del ambiente.

- **Disminución de costos**

Utilizando el granulo de caucho reciclado hace que disminuyan los costos en la inversión de materia prima significativamente entre un 30% a 40% dependiendo el tipo de uso que tenga este residuo ya que puede variar, por lo tanto, si se implementa dicho residuo permite que el costo/beneficio sea ecuánime. Desde el punto de vista empresarial hace que sea atractivo en términos presupuestales y por ende da un plus o valor agregado sostenible a la compañía que lo implemente a puertas de un entorno amigable con el medio ambiente, siendo llamativo para inversionistas extranjeros y porque no dentro de la misma ciudad. (Gabriel Jaime Peláez Arroyave, 2017)

- **Beneficios tributarios por la utilización de granulo de caucho reciclado**

Los beneficios en cuanto al pago de impuestos o demás temas tributarios ambientales son otorgados a las empresas que aprovechan los residuos sólidos reciclados como el GCR y que cubren aquel porcentaje por contaminar dentro de cualquier proceso productivo; además en la actualidad cobra mayor valor el hecho contaminar donde se esquematizó en políticas públicas respaldadas por lo objetivos de desarrollo sostenible a nivel mundial, es decir que toda empresa que cause algún daño a un tercero o externalidad debe asumir una tasa por contaminar. Es por esto

que si se emplea como materia prima el granulo de caucho reciclado permite que dentro del proceso productivo disminuya la contaminación para la obtención del producto final, entonces tributariamente disminuye el valor que asume la empresa o sector y así poder retribuir en una pequeña parte al medio ambiente de lo que se ha explotado por décadas y a la vez mejorando la calidad de vida de la población.

### **7.6 Oportunidades y Fortalezas**

#### **- Generación de empleo para las personas del sector.**

Lo que se pretende mostrar en dicha investigación, es dar a conocer las oportunidades en términos de generación de empleo en la ciudad de Bogotá; a través de la creación de empresas que transformen las llantas usadas que recolectan las empresas encargadas para obtener granulo de caucho reciclado, capacitando al personal que vaya a trabajar tanto hombres como mujeres en la producción de dicho residuo utilizando tecnología innovadora, y esto permitirá que se cree un nuevo mercado sostenible.

#### **- Mayor durabilidad en las infraestructuras tanto civiles como viales**

Es un producto que ofrece durabilidad y calidad cuando es usado en la construcción de obras de ingeniería civil, así como en infraestructura vial por lo cual el GCR ofrece y mejora las especificaciones técnicas al mezclarlo con el asfalto de esta manera garantiza un tiempo prolongado de la vida útil del asfalto.

#### **- Beneficio social, económico y ambiental**

Los beneficios se aprecian en todos los aspectos pues nos encontramos en un sistema en el cual, si un elemento falla los demás también es decir que se da un efecto domino; en este sentido se contribuye a mejorar la calidad de vida desde la apertura de un nuevo mercado,

aumentar las unidades de empleo, contribuir en el crecimiento y desarrollo económico de la ciudad de Bogotá de manera positiva, inversión en materias primas recicladas para diferentes utilidades, dar un enfoque sostenible a las empresas que empleen el granulo de caucho reciclado, brindar un valor agregado a los productos o bienes que produzcan cualquier empresa, y por ultimo lograr concientizar cada vez más a la población en la importancia del cuidado y preservación del cualquier tipo de entorno, que las acciones sean en pro del medio ambiente y no en contra de manera coherente disminuyendo los impactos negativos.

- **Disminución del número de llantas abandonadas en Bogotá**

Cuando se transforma y se aprovecha la obtención del GCR a partir de las llantas recolectadas y recicladas de las calles o puntos dispuestos para dicho residuo en Bogotá, causa una disminución notoria y significativa en las cifras de llantas abandonadas en la ciudad, de esta manera es una fortaleza positiva y permite que todos los actores (Estado, consumidores, productores y recicladores) implicados en dicha problemática entiendan la importancia de desechar, reciclar y reutilizar las llantas fuera de uso de manera adecuada.

- **Búsqueda de alianzas con empresas ensambladoras de vehículos de todo tipo de medio de transporte**

Creando un nuevo mercado del granulo de caucho reciclado es necesario e indispensable establecer alianzas con las empresas dedicadas al ensamblaje de vehículos y productoras de llantas entendiendo que la inversión inicial que se debe hacer en tecnología es alta en comparación a otras, con el fin de incentivar la creación de nuevos modelos de negocio eliminando las barreras económicas en el momento de conseguir la maquinaria necesaria para el procesamiento de las llantas usadas garantizando de manera eficiente y eficaz que se logre

obtener el GCR teniendo en cuenta que dichas compañías tienen los medios económicos suficientes para adquirir el capital tecnológico.

- **Establecer y exigir por parte de los entes gubernamentales a través de instrumentos legales (leyes, decretos y políticas públicas) el uso del granulo de caucho en el sector de infraestructura.**

De manera voluntaria muy pocas empresas dedicadas a la infraestructura civil o vial no acogen el uso del GCR en sus obras dado que no existe una reglamentación o un mecanismo por el cual establezca o se reglamente el uso del GCR en dicho sector el cual es el mercado potencial para que adquieran dicho producto reciclado, por lo tanto es necesario que desde el punto de vista legal ambiental se esquematice dentro de los decretos, leyes y resoluciones relacionados a el granulo de caucho reciclado procedente de las llantas usadas, de esta forma también se genera una obligación a incluirlo en diferentes actividades productivas.

## **8. Estrategias Sostenibles de Aprovechamiento de Granulo de Caucho Reciclado**

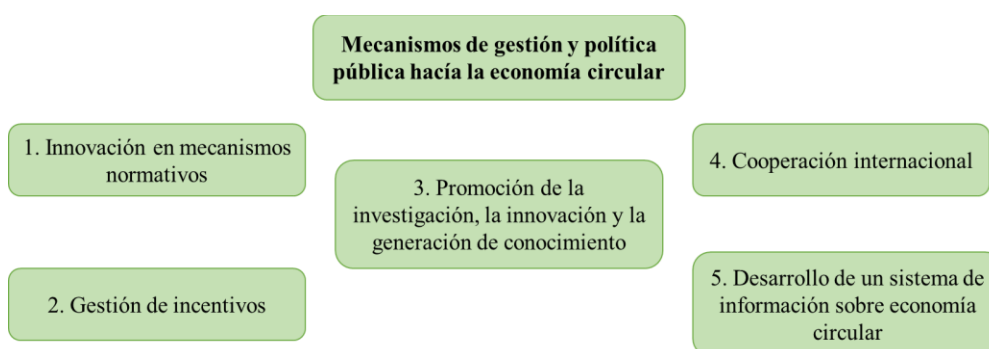
La estrategia nacional de economía circular colombiana esta alineada con fundamentos del desarrollo sostenible promoviendo la eficiencia de los recursos (agua, energía y materiales), teniendo en cuenta la protección y recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales. Por medio de dicha estrategia, pretende cumplir las metas de Crecimiento Verde aumentando la tasa de reciclaje y utilización de los residuos sólidos en todo el territorio nacional, y a la vez reduciendo los gases de efecto invernadero.

Cabe resaltar el objeto del modelo de economía circular es sistémico donde impulsa, promueve y establece la transformación de los sistemas productivos pasando de estructuras lineales a circulares; esto conlleva a buscar cambios innovadores desde lo micro hasta lo macro.

Para lograrlo, es necesario y fundamental contar con actores claves tanto del sector público como privado partiendo en la promoción, socialización de lo que pretende dicho modelo sostenido de cifras que demuestren él porque es importante adoptar nuevas estrategias sostenibles que disminuyan las tasas de contaminación en el país contando con el apoyo de entidades regionales al interior de cada departamento según las necesidades y problemáticas que tengan en su entorno.

Dentro de la estrategia de economía circular se plantean los siguientes mecanismos de gestión y política pública, es decir que las entidades estatales tienen claridad en la transformación hacia la economía circular como:

*Figura 15 Mecanismos de gestión y política pública hacia la economía circular*



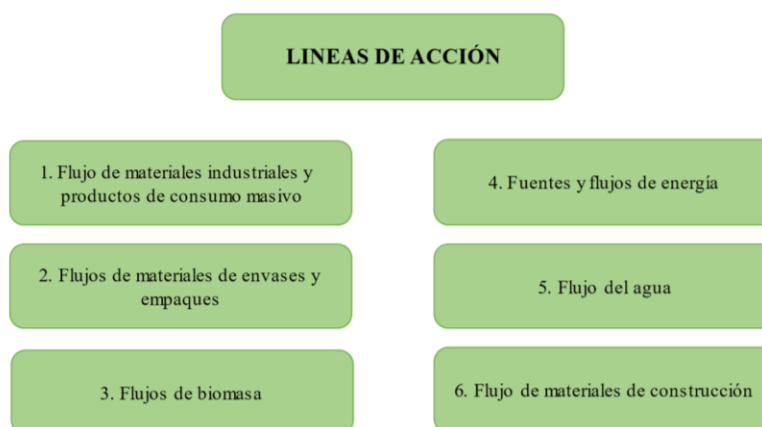
Fuente: Elaborado por el Autor en base a (Colombia, 2019)

De acuerdo con lo anterior, los mecanismos de gestión hacen énfasis en seis líneas de acción dentro de la economía colombiana como se muestra en la siguiente figura 16, allí se establecen indicadores junto con metas proyectadas en un corto y largo plazo, de esta manera convocar actores hacia la innovación de modelos de consumo y producción convirtiéndolos en modelos circulares. Es importante, realizar mesas de trabajo con las entidades públicas como vehículo para trabajar en conjunto con comisiones regionales que beneficien no solo en

términos económicos, sino sociales y ambientales, por ende, se valorizarán los recursos de tal forma que se reducirán los costos productivos.

Adicionalmente, dichos beneficios permitirán que se den apertura a nuevos mercados por medio del consumo sostenible, fuentes de financiación, innovación de infraestructura, modelo de negocios fortaleciendo las cadenas de valor siendo generadores de productividad eficaz, concientizar a la población para que tengan sentido de pertinencia del cuidado y conservación de los recursos naturales para tener una calidad de vida colectiva y esto se logra a partir de hábitos de consumo coherentes con el medio ambiente junto con procesos productivos sostenibles.

*Figura 16 Líneas de acción para los mecanismos de gestión*



Fuente: Elaborado por el Autor en base a (Colombia, 2019)

### **8.1 Modelo de Negocio Circular del Granulo de Caucho Reciclado**

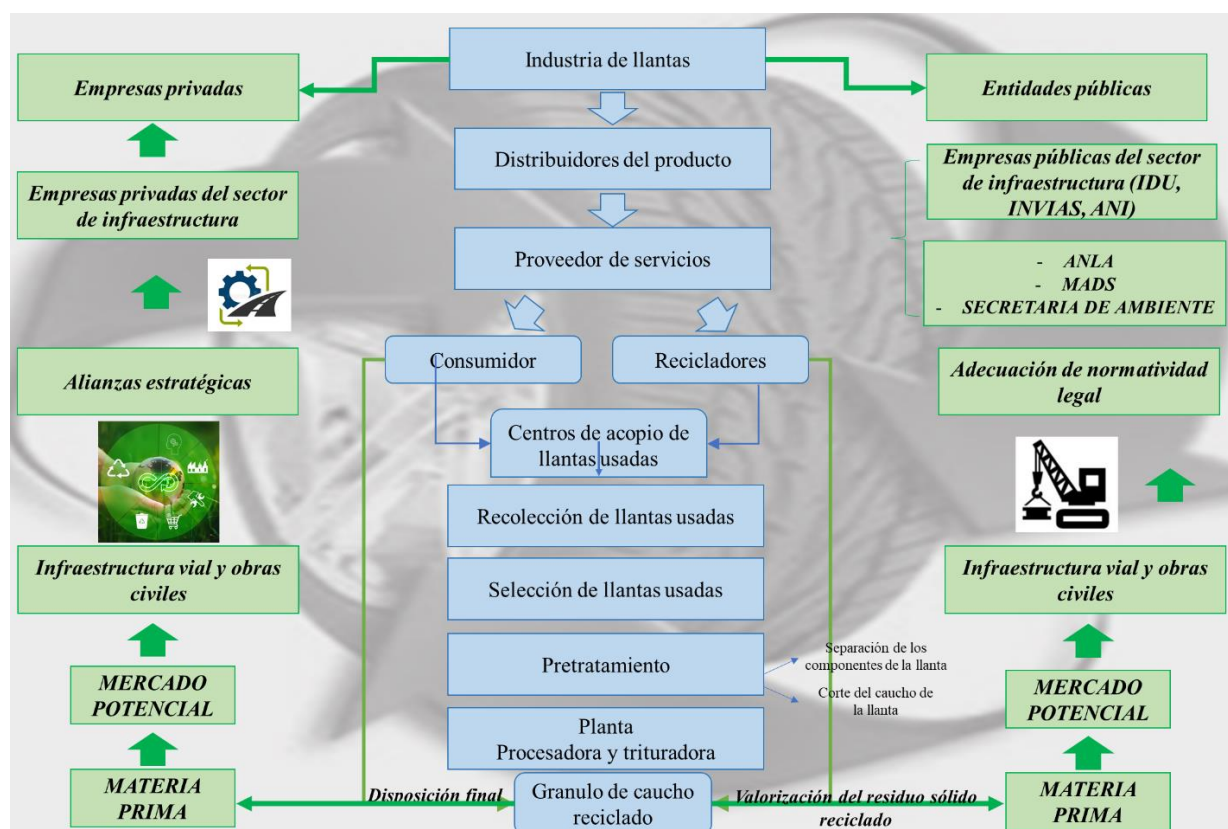
Los modelos de negocio circulares consisten en cerrar los ciclos productivos para evitar, mitigar y disminuir los impactos al medio ambiente de manera eficiente; además con el respaldo de la estrategia nacional de economía circular que busca reintegrar dentro de los procesos



productivos los residuos que quedan de aquel producto inicial quiere decir que se da un segundo uso como materia prima en distintos procesos industriales o el sector que lo requiera. (Ferdous W., 2021)

De acuerdo con lo anterior, se procede a describir y establecer en que consiste el mercado del granulo de caucho y cómo funciona el modelo de negocio circular de acuerdo a ciertos parámetros:

Figura 17 Modelo de negocio circular del granulo de caucho reciclado



Elaborado por el autor.

### 8.1.1 Industria de Llantas

La responsabilidad social de las industrias reside en la implementación de programas para

el uso eficiente de los recursos naturales. Por ejemplo, el programa la Corporación Rueda Verde liderado por la ANDI, tiene vinculadas a 75 empresas entre fabricantes e importadores de llantas, importadores de vehículos y ensambladoras, que tienen por objetivo, la trituración mecánica de las llantas para obtener granulo o pulverizado y así ser utilizado en el mobiliario urbano. Sin embargo, el porcentaje que recogen y transforman es bajo con respecto a las llantas que son desechadas anualmente, además Bogotá se queda corta en infraestructura que cuente con el procesamiento de dicho residuo, por tal razón es indispensable que se realicen alianzas estratégicas con el sector tanto privado como público.

### ***8.1.2 Consumidores***

Teniendo en cuenta que las llantas no tienen bienes sustitutos se hace necesario su uso de una u otra manera, ya sea que este producto este a un precio bajo o elevado es necesaria su compra o utilización para el funcionamiento de los vehículos, transporte de carga. Por ende, los consumidores deben conocer e informarse en donde y como deben hacer entrega de las llantas usadas adecuadamente.

También cabe resaltar, el papel que tienen las empresas dedicadas a infraestructura vial y civil siendo el mercado potencial para adquirir el granulo de caucho reciclado (GCR) como materia prima, convirtiéndose en actor importante desde otro tipo de consumidores aprovechando de manera sostenible dicho residuo reciclado.

### ***8.1.3 Recicladores***

Cuando la llanta es desechada por el consumidor en lugares inadecuados, como los espacios públicos, lotes baldíos, existen agentes económicos que se lucra de las llantas de desecho a partir de la venta, o en ocasiones recurren por quemarlas para extraer de ella el acero que es uno

de los componentes con mayor valor en el mercado; existen asociaciones de recicladores organizadas, donde se le ofrece un incentivo para que lleven las llantas a estos centros y así se les pueda dar un mejor manejo. Sin embargo, la no creación de un mercado y de una cultura de uso de materiales reciclados, en específico del caucho, cuyas propiedades y precios lo hacen atractivo para diversos sectores de la industria, hacen que el agente económico (reciclador) no posea un incentivo para llevar un adecuado proceso de disposición de las llantas usadas.

#### ***8.1.4 Centros de acopio***

Teniendo en cuenta que en Bogotá el 30% de las llantas usadas son desechadas en lugares no permitidos o no autorizados por los entes administrativos como en la calle, lotes baldíos, ríos o canales de la ciudad. Por tal motivo la Secretaría Distrital de Ambiente, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Unidad Administrativa de Servicios Públicos (UAESP), creó aproximadamente 100 puntos de acopio y recolección de llantas usadas a lo largo y ancho de la ciudad, los cuales tienen como requisito garantizar la recolección y gestión ambiental de las llantas usadas, que posteriormente serán reutilizadas como insumos para el asfalto, construcción de parques, canchas sintéticas entre otros. La responsabilidad de estos centros de acopio se fundamenta en aliarse con empresas de procesamiento de neumáticos, para así no generar un acumulo de llantas sin ningún fin y lograr transformarlas en granulo de caucho reciclado dándole valorización económica en un nuevo mercado.

#### ***8.1.5 Estado o ente gubernamental***

El estado tiene participación por medio de políticas y resoluciones como la 1326 del 7 de julio de 2017, el cual tiene por objeto “Establecer a cargo de los productores de llantas que se comercializan en el país, la obligación de formular, presentar e implementar y mantener actualizados los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, con el fin

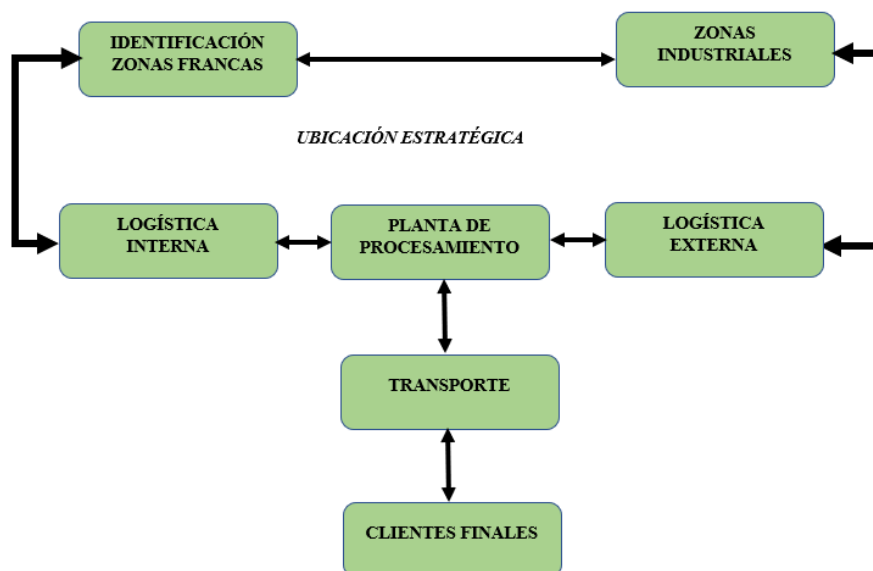
de prevenir y controlar la degradación del ambiente” (Ambiente, Resolución 1326 de 2017, 2017). El Estado debe propender por la creación y aplicación de una política pública transversal que incluya a cada uno de los actores o agentes económicos del mercado de las llantas de desecho donde justifique la importancia de emplear como materia prima el granulo de caucho una vez identificado el mercado potencial como lo es el sector de infraestructura vial y civil, para que de una u otra forma se establezcan las razones ambientales, económicas, sociales del porque se debe utilizar en pro del mejoramiento de la calidad de vida desde todo punto de vista.

## **8.2 Modelo logístico**

Consiste en segmentar un esquema ordenado y lógico donde se establezcan las etapas que permitirán llevar a cabo el sistema productivo del granulo de caucho reciclado, encaminado por estrategias que disminuyan en términos de costos, tiempo e inversión y aumenten en términos de rentabilidad. (Valdés, 2014)

A continuación, se da a conocer una breve ilustración de la gestión logística con cada una de sus etapas:

Figura 18 Modelo logístico



Fuente: Elaborado por el autor.

El modelo logístico para el granulo de caucho reciclado parte desde la ubicación estratégica de la planta de procesamiento donde llegan las llantas usadas con las cuales se da inicio a la producción y transformación que posteriormente darán origen al producto final (GCR), que será empacado, transportado y distribuido a los clientes finales.

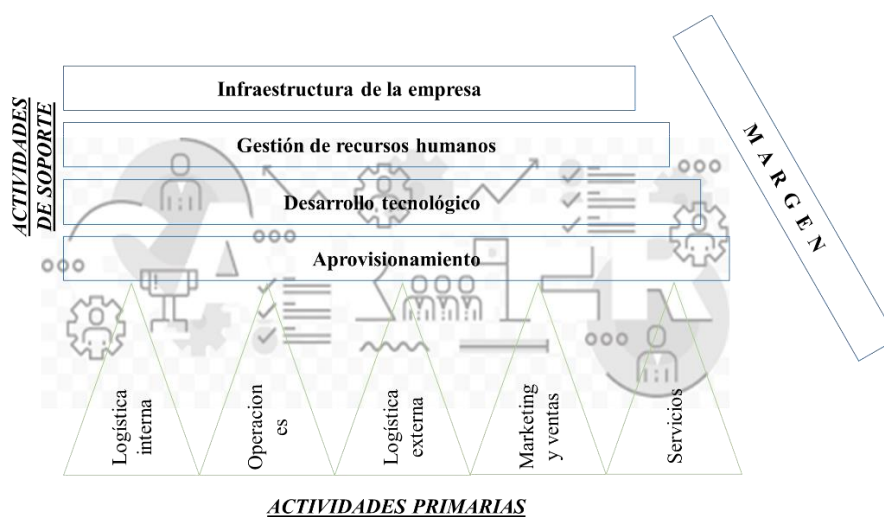
Es de mencionar que dentro del procesamiento del GCR se puede tener varias especificaciones de acuerdo a la demanda del mercado con base en el producto al cual va dirigido el GCR como lo puede ser la fabricación de baldosa para parque, tope llantas o ya sea para uso de infraestructura vial incorporándolo a la mezcla asfáltica.

### 8.3 Cadenas de valor

En la cadena de valor, se encuentran los enlaces que existen entre proveedores y consumidores que forman parte del sistema de mercado, es decir que se encuentran vinculadas las transacciones comerciales, innovaciones, servicios, investigaciones, entre otros. Dicho lo

anterior, permite que se amplíen las oportunidades de mercado con un enfoque eficiente para el uso del granulo de caucho reciclado de tal manera que tenga circularidad dentro del sector en el cual se vaya a tomar en cuenta como materia prima o en otras palabras como recurso.

*Figura 19 Cadena de valor de Michael Porter*



Elaborado por el autor. Fuente: (Porter, 1989)

De acuerdo a la ilustración 11 se observa lo que comprende la cadena de valor según Michael Porter, siendo una herramienta de gestión que permite analizar cada una de las actividades que aportan valor a la empresa en el proceso productivo de cualquier tipo de bien o servicio que se dividen en dos partes como:

- Actividades primarias

Consisten en el desarrollo del producto, en este caso el granulo de caucho reciclado a partir de la transformación y aprovechamiento de las llantas usadas generando claramente un valor.

Es de mencionar, que se encuentran 5 actividades como: logística interna, producción, logística externa, marketing y ventas, servicio de post venta.

- Actividades de soporte o apoyo

Son aquellas actividades que permiten el adecuado funcionamiento a nivel interno y externo de la empresa desde la gestión de manera general empresarial, gestión financiera, tener el personal adecuado y por supuesto contar con inversión de infraestructura e innovación tecnológica.

Cabe resaltar las actividades que se encuentran consignadas como: infraestructura de la empresa, gestión de recursos humanos, tecnología, y aprovisionamiento.

Es importante, de qué manera se puede acercar a un adecuado funcionamiento del procesamiento de las llantas usadas para ser transformadas en granulo de caucho reciclado teniendo en cuenta que la inversión en infraestructura y tecnología es base fundamental para contar con un proceso productivo eficaz en contraste con la identificación del mercado potencial (sector de infraestructura vial y civil) respaldado por la gestión financiera en aras de dar apertura a un mercado con un valor agregado/ventaja competitiva en relación a costo beneficio de tal manera que aporte no solo en términos tangibles sino intangibles para la ciudad de Bogotá.

## **9. DISCUSIÓN**

De acuerdo con lo anterior, se analizó a partir de la teoría citada ( Ineficiencia de mercados, externalidad óptima, fallos de mercado, ecología industrial, economía circular, economía ambiental, y externalidades) que dicho residuo solido reciclado contribuiría

significativamente al sector de infraestructura vial y civil, en contraste con lo reportado por parte de la Cámara de Comercio de Bogotá indicando: “El sector de construcción en Bogotá aporta el 19.7% del PIB de la ciudad y ha generado cerca de 678.000 empleos. En los últimos 5 años, el sector de la construcción ha crecido en promedio cerca del 8%, consolidándose como uno de los sectores que más impulsa el crecimiento del país.” (Bogotá I. i., 2021) Por lo tanto, esto demuestra que el granulo de caucho reciclado (GCR) va a ser utilizado en dicho sector, donde entrará en la dinámica de la economía circular colombiana teniendo en cuenta las estrategias que proponen allí contribuyendo de manera sostenible para Bogotá, brindando alternativas amigables con el ambiente impulsando no solamente el sector de infraestructura, sino que los beneficios estarán representados en todos los puntos de vista.

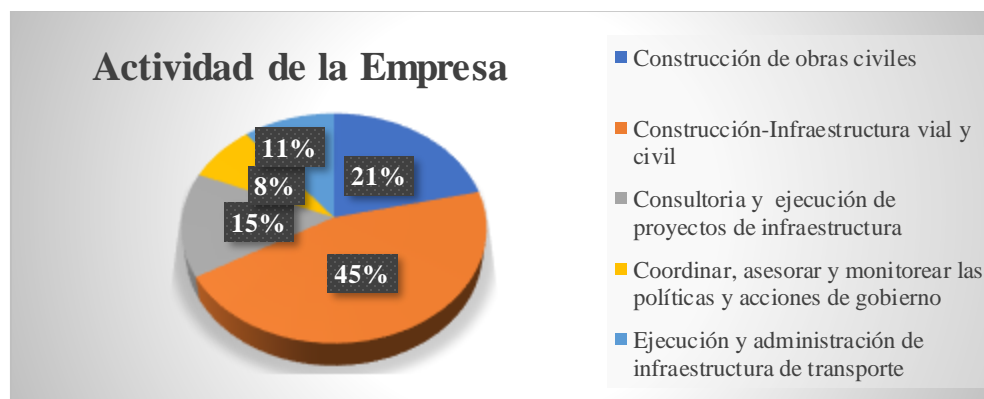
Es por esto, que se aplicaron encuestas a empresas públicas como: Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), y Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), relacionadas al sector anteriormente nombrado y a su vez a las empresas privadas que representan el mercado potencial que va adquirir el granulo de caucho reciclado donde se encontró 114 empresas registradas tomando una muestra aleatoria de 75 empresas representando el 66% del total. Posteriormente, se aplicó la encuesta diseñada con 10 preguntas (abiertas y cerradas) respectivamente que dieran resultados desde la percepción del mercado que tienen con respecto al granulo de caucho reciclado, contando con profesionales especializados (arquitectos, ingenieros civiles, ingenieros en transporte y vías) y partir de allí saber que tan interesados están en conocer, utilizar y promover la implementación de esta materia prima reciclada resultantes de las llantas usadas en Bogotá.

En primer lugar, las actividades de las empresas privadas y públicas encuestadas concentran las actividades en: Construcción de obras civiles, construcción-Infraestructura vial y civil,



consultoría y ejecución de proyectos de infraestructura, coordinación, asesoramiento y monitoreo de las políticas y acciones de gobierno, y administración de infraestructura de transporte., contando con un 45% de representación en construcción de infraestructura vial y civil, lo que demuestra que si existe un mercado potencial en Bogotá, dado que la ciudad cuenta con un participación significativa en la ejecución de proyectos relacionas a dichas actividades. (ver grafica 7)

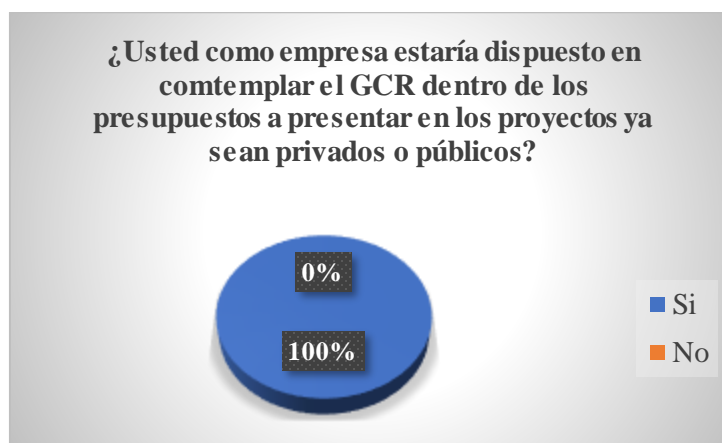
*Figura 20 Actividad de la empresa*



Elaborado por el autor. Fuente: Aplicación encuesta.

En segundo lugar, la percepción que tienen los profesionales desde su área que desempeñan en cada una de las empresas acatan de manera afirmativa el uso del granulo de caucho reciclado en la ejecución de diferentes proyectos que vayan desarrollar en u mediano y largo plazo, sin embargo manifiestan que falta mayor estudios por parte de los entes públicos que regulan y ejecutan licitaciones de infraestructura vial y civil, ya que esto va a permitir que se difunda con mayor fundamentación tecnológica, estratégica y con rigor la utilización que implica el GCR desde el ámbito empresarial, comercial, tanto para quien lo produce como para quienes lo van a consumir, esto implica que se dinamice el mercado del granulo de caucho reciclado. (Ver grafica 8)

*Figura 21 Percepción en la aplicación del GCR*

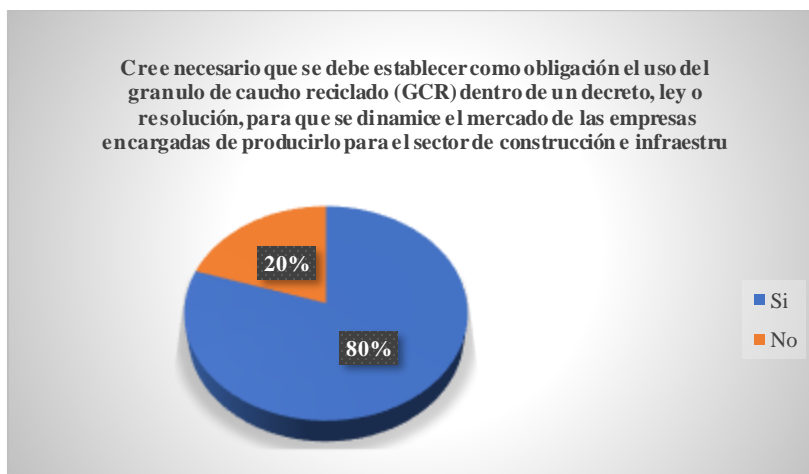


Elaborado por el autor. Fuente: Aplicación encuesta.

En tercer lugar, las empresas tienen una posición bastante contundente a la hora de implementar el GCR ya que según los resultados manifiestan el 100% de aceptación de esta materia prima, teniendo en cuenta que disminuyen los costos dentro de los presupuestos a presentar ya sea para obras públicas o privada y además expresan que da un valor agregado para las empresas a puertas de los inversionistas tanto nacionales como internacionales, es decir que van a tener beneficios no solo económicos sino sociales y por supuesto ambientales.

En cuarto lugar, las empresas manifiestan que si es necesario con un resultado del 80% del total como se puede observar en la gráfica 9, para que se establezcan dentro de un decreto, ley o resolución como obligación el uso del granulo de caucho reciclado (GCR) como materia prima, para que se dinamice el mercado y que a su vez tengan algún tipo de incentivo económico (tasa de descuento) reflejado en impuestos por emplearlo dicho residuo solido en los procesos de infraestructura que lleven a cabo.

Figura 22 Uso del granulo de caucho reciclado de manera obligatoria



Elaborado por el autor. Fuente: Aplicación encuesta.

Es de mencionar, que el análisis que se realizó de los datos tanto teóricos como numéricos en relación al granulo de caucho reciclado (GCR) dan fundamento para que la teoría den mayor énfasis en lo que se quiere mostrar en la investigación, donde la economía ambiental cobra importancia ya que se centra en cómo y por qué las personas toman decisiones que tienen repercusiones ambientales de menor a mayor impacto, y de esta manera cambiar o modificar los instrumentos ya sean a través de normatividad ambiental que se están promoviendo en términos económicos, ambientales y sociales con el propósito de equilibrar los efectos desde todo punto de vista.

Por otro lado, al transcurrir el tiempo los modelos de desarrollo económicos en la ciudad de Bogotá han tenido que acotar el medio ambiente como parte fundamental a la hora de realizar planes de desarrollo para la población, donde los intereses no queden en acaparar los presupuestos que se disponen, sino que se piense más allá como en mejorar la calidad de vida de los ciudadano aumentando la productividad y competitividad logrando una sostenibilidad entre

lo que se consume como en lo que se produce y como se puede darle un segundo para un aprovechamiento óptimo ambiental y económicamente hablando como lo sustenta el concepto de economía circular representado un cambio sistemático, buscando estrategias que disminuyen las externalidades negativas que produce el abandono acrecentado de las llantas usadas y como estas se pueden convertir en un residuo reciclado como materia prima con distintos usos dando un aprovechamiento sostenible.

Cabe resaltar, por qué se tomó en cuenta el sector de infraestructura de obras civiles y viales, siendo una de las actividades más dinámicas de la economía tanto a nivel local como nacional incrementando la productividad de otros sectores económicos, es por esto que el granulo de caucho reciclado va tener una interacción importante sin dejar de lado que hay fallas de mercado como lo plantea Stiglitz pero que esto hace que tenga valor para lograr introducir un mercado poco conocido, que tendrá que romper esquemas y sobre todo fuerzas de mercado monopolizadoras de grandes empresas.

Finalmente, es importante destacar en como la teoría ambiental y económica citada en esta investigación respalda la problemática planteada que tiene el desaprovechamiento del granulo de caucho reciclado que se obtiene a partir de las llantas usada en Bogotá, y muestra que tipo de herramientas se pueden implementar para la externalidades negativas ocasionadas por dicho bien disminuya y que además se logre poco a poco un desarrollo sostenible parcial toda vez que se tenga en cuenta la economía circular y por supuesto ambiental, ya que en contraste con los datos obtenidos a partir de las encuestas demuestras que si hay un mercado

potencial en la ciudad y adicionalmente, existe un interés por parte de uno de los sectores que tiene gran representación en la ciudad.

## 10. CONCLUSIONES

En Bogotá D.C. las llantas no están consideradas como residuo peligroso; sin embargo, éstas se componen de un gran número de sustancias con notaciones peligrosas, las cuales tienen un impacto en la salud si no se da el manejo apropiado. Pero ¿Quién realiza la transformación y aprovechamiento de llantas usadas en granulo de caucho reciclado? de esto se desprende que si bien existen colectivos como Sistema Verde y Rueda Verde consignados en los apartes de la resolución vigente solamente realizan la recolección y transporte de las llantas usadas más no existe una planta que transforme y realice el respectivo procesamiento para la obtención de GCR.

De acuerdo a lo anterior, en contraste con la información que se encontró durante la investigación, se estableció que el mercado potencial que se encontró es el sector enfocado en infraestructura y obra civiles ya que el granulo de caucho reciclado (GCR) es empleado como materia prima para distintos usos (asfalto, topes, baldosas, etc.) teniendo beneficios en términos ambientales, económicos y sociales.

Por otro lado, cabe resaltar que según lo evidenciado a través de los datos que se obtuvieron a partir de las encuestas con relación a la percepción que tienen los profesionales como ingenieros de vías, civiles y arquitectos con respecto al uso del GCR; hacen referencia enfáticamente en que se reglamente de una u otra manera la empleabilidad de este dentro la política pública ambiental vigente nombrada anteriormente para que las empresas tengan incentivos económicos reflejados en los impuestos que deben pagar anualmente.

También se evidenció a través de la vigilancia estratégica y de mercados por qué el sector

de infraestructura y obras civiles es el potencial para la utilización del granulo de caucho reciclado como materia prima, ya que Bogotá siendo la ciudad capital de Colombia tiene el mayor porcentaje de inversión en este sector contribuyendo significativamente al PIB para el país. Además, las patentes encontradas a través de la vigilancia tecnológica apuntan a las pruebas piloto que se han realizado en distintos continentes como Asia, Europa y parte de Sur América durante los últimos años con mayor énfasis estableciendo la importancia de reintegrar un residuo reciclado (GCR) dentro la economía circular con múltiples beneficios.

Existen entidades que realizan la recolección, transporte y disposición final de llantas de desecho, es indispensable buscar y establecer alianzas estratégicas que permitan dar apertura un nuevo mercado de granulo de caucho reciclado, de esta manera garantizando darle un valor agregado a dicho residuo reciclado en su empleabilidad como materia prima con un mercado potencial identificado durante esta investigación, siendo el sector de infraestructura vial y obras civil contando con un porcentaje de participación económico ente 50% y 60 % con respecto al crecimiento y desarrollo económico de la ciudad de Bogotá.

Hoy por hoy hay más de 150 empresas importadoras y comercializadoras de llantas, que no han dado cumplimiento a la regulación y sobre las cuales no ha recaído ninguna actuación por parte de la autoridad ambiental competente, pues solo hasta que se reportó el incendio el año pasado, la Secretaria Distrital de Ambiente prendió las alarmas sobre la problemática de llantas en la Capital, y se interesó en implementar lo establecido en la Resolución 1457 de 2010.

Dicha resolución buscaba obligar a los productores y comercializadores de llantas a encargarse de crear sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental, sin embargo, la norma quedo con muchos vacíos, pues 1), no es claro el proceso para la debida disposición de los residuos por parte de los generadores, 2) excluyo de la regulación la disposición de llantas de motocicletas,

a pesar de las 400.000 motos matriculadas en Bogotá, 3) se excluyeron muchos sectores que hacen parte del problema, como lo son los montadores y talleres de vehículos y 4) no propone mecanismos de posconsumo, lo cual se convierte en el problema principal, pues las bodegas que reciben las llantas, han llegado a su capacidad máxima de almacenamiento, lo que dificulta su disposición y genera riesgos ambientales tal como el incendio de noviembre de 2014.

Hasta ahora la SDA está buscando alternativas para la utilización de las llantas usadas, por medio de una nueva norma que busca usarlas como materia prima para la fabricación de granulo de caucho reciclado para diferentes usos como asfalto, baldosas para jardines, suelas de zapatos, etc., sin embargo Bogotá no cuenta con una planta de trituración de llantas usadas, por lo tanto es necesaria la intervención del Ministerio de Ambiente y de la ANLA, como autoridad competente, para la creación de una norma que no solo se establezca los responsables de la recolección selectiva de las llantas usadas, sino que incentive el posconsumo, dando alternativas sujetas a la estrategia nacional de economía circular colombiana para su aprovechamiento.

Ahora bien ya se tiene mayor claridad en que alternativas y estrategias se pueden establecer y promover para el mejoramiento del medio ambiente, mayor contribución al desarrollo de Bogotá, apertura de un mercado sostenible poco conocido pero con grandes beneficios de esta forma se podrán obtener consolidación de la competitividad frente a otras economías, modelos basados en función de una producción ligada directamente primero al cuidado del medio ambiente, contando con respaldo del sector público de infraestructura y entidades ambientales encargadas y por supuesto con el sector privado, uniendo fuerzas tanto investigativas, económicas y de inversión.

Este es un problema acumulativo y para resolverlo urgen nuevas alternativas de gestión ambiental. Los planes de posconsumo aplicados con tecnología sostenible con la adecuada

maquinaria que se requiere para la transformación y obtención de granulo de caucho reciclado ayudarían a la eliminación total y segura de las llantas, a diferencia de la quema que se hace a cielo abierto, contaminando el medioambiente por el desprendimiento de compuestos tóxicos como monóxido y dióxido de carbono. Así, la ausencia de un plan de manejo posconsumo también se refleja en una acumulación desorganizada que genera incendios, contaminación del paisaje urbano, criaderos de zancudos y ratas, con la consecuente transmisión de enfermedades.

Finalmente, las normas vigentes para Colombia no tienen claridad sobre el aprovechamiento de las llantas usadas, no existe un párrafo, artículo o párrafo que delimite la importancia de realizar una transformación adecuada de las mismas dando como resultado una materia prima (GCR) con múltiples usos y a su vez que “obligue” a los sectores que lo puedan emplear de manera eficaz y eficiente, explicando el costo/beneficio que pueden obtener desde el punto de vista social, económico y ambiental a través de tasas de descuento por utilizar dicho residuo reciclado disminuyendo en primera medida externalidades negativas para el entorno.

## **11. RECOMENDACIONES**

El presente estudio represento un reto, toda vez de la poca o prácticamente nula existencia de datos sobre la cantidad real de llantas usadas en la ciudad de Bogotá D.C., se habla de cifras aproximadas más no de cifras concretas. En ese sentido, se recomienda a los entes reguladores un mejor control y estructuración de un sistema de información que permita evaluar los impactos de las llantas de uso a futuro y el número de llantas aprovechadas para la obtención de granulo de caucho reciclado.

De otra parte, es recomendable una política pública que en lo posible incluya un costo de transacción, incentivos a los sectores que utilicen un porcentaje de materia prima reciclado como GCR o que la incluyan en su totalidad dentro de los procesos que lleven a cabo.



Es recomendable la investigación y creación de nuevos mercados futuros los cuales le puedan dar el mejor manejo a las llantas fuera de uso y sus derivados, ya que en algunos casos en las plantas trituradoras de llantas unos de sus componentes reutilizables es el granulo de caucho, pero este se acumula en grandes cantidades puesto que aún no existe un mercado firme que de buen uso a este producto.

Es de mencionar, que el Estado debería asignar un departamento a nivel nacional que se encargue de: recolección de datos y avances del funcionamiento de los programas propuestos por el MADS y así dar cumplimiento a las políticas públicas establecidas para mitigar la externalidad causada por las llantas usadas.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- Agency, A. N. (2021). *Circular economy roadmap for plastics, glass, paper and tyres* .  
Australia.
- ambiental, C. (2018). *Linea verde*. Obtenido de <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/conciencia-ambiental/Que-es-el-desarrollo-sostenible.asp#>
- Ambiente. (06 de Julio de 2017). *Resolucion 1326 de 2017*. Recuperado el 26 de 02 de 2016, de  
Resolucion 1326 de 2017:  
<http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d9-res%201326%20de%202017.pdf>
- ayed Alyousef, W. A. (2021). Potential use of recycled plastic and rubber aggregate in  
cementitious materials for sustainable construction: A review. *Journal of Cleaner  
Production*, 329.
- Bogotá, A. d. (29 de Octubre de 2020). *Bogotá*. Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/control-la-disposicion-de-llantas-usadas-en-bogota?fbclid=IwAR1T6KkSqLuS3Ls7GYustb4DWQVrwIJ7kJPsmP-dJKI7QEjvvTQ5pkfdprk>
- Bogotá, A. M. (2019). *Estudio Económico del sector de la construcción* . Bogotá: Instituto de  
Desarrollo Urbano.
- Bogotá, I. i. (2021). *Infraestructura y proyectos de ciudad*. Bogotá: Camara de Comercio de  
Bogotá.
- Cámara y Comercio de Bogotá D.C. (2006). *Guía para el manejo de llantas usadas*. Bogotá  
D.C.: Editorial Kimpres Ltda.

- Castro, I. G. (2007). *Reutilización, reciclado, y disposición final de neumáticos* . Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.
- Cauchos Dinámicos SAS*. (s.f.). Obtenido de <https://www.cauchosdinamicos.com/caucho-granulado-sbr/>
- Celemín, J. P. (2007). EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE VIDA AMBIENTAL:DEFINICIONES CONCEPTUALES, ELABORACIÓN DE ÍNDICES Y SU APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE MAR DEL PLATA, ARGENTINS. *CONICET*, 28.
- Charlotte Abdy, Y. Z. (2022). Pyrolysis of polyolefin plastic waste and potential applications in asphalt road construction: A technical review. *ScienceDirect*, 180.
- Coase, R. H. (1960). *EL PROBLEMA DEL COSTO SOCIAL*. The Journal of Law and Economics.
- Colombia, G. d. (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. .
- Cuattrocchio, G. B. (2007). *Estado de la utilización de caucho reciclado en obras viales en Latinoamérica. Aplicaciones*. La Plata, Argentina: Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.
- Díaz Mendoza, C., Pierre Del Castillo, J., & Magri, K. M. (2011). Problemática del manejo de llantas usadas generadas por el parque automotor en la ciudad de Cartagena. *Desarrollo Regional y Competitividad* , 51-62.
- Ecotiregreen*. (s.f.). Obtenido de <https://ecotiregreen.com/productos/>

- Fedesarrollo. (2014). *Importancia Económica del Sector Automotor en Colombia*. Bogotá D.C. .
- Ferdous W., M. A. (2021). Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Field, B. (1995). *Economía Ambiental*. Pag. 3-23.
- Foundation, E. M. (2017). *Ellen Macarthur Foundation*. Obtenido de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>
- Gabriel Jaime Peláez Arroyave, S. M. (2017). *Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura. Applications of recycled rubber: a literature review*. Ciencia e ingeniería Neogranadina.
- Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico*. Santiago de Chile: CEPAL.
- (2017). *Global Rubber Industry Performance*.
- González, G. C. (2009). *Una revisión de los principios de la ecología industrial*. Ciudad de México: Departamento de Producción Económica de la UAM–Xochimilco.
- Guzmán A., R. (2016). *Residuos Sólidos Urbanos: Un Análisis Económico de la Política Pública Ambiental Aplicado al Distrito Federal, Para una Gestión Integral y Eficiente*. Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Economía.
- Infraestructura, C. C. (2020). *Distribución de las empresas del sector de la construcción*. Bogotá: Camara Colombiana de la Infraestructura.
- Jeannot, F. (2000). De las Fallas del Mercado a las Fallas de las Organizaciones. *Revista de Análisis de Económico*, 5-33.

- Jesús Ángel Dopico Castro, G. I. (2010). *Economía sostenible. Teoría y política*. España: Netbiblo, S. L.
- Kolstad, C. (2001). *Economía Ambiental*. USA: Oxford.
- Krugman, P., Wells, R., & Olney, M. (2011). *Introducción a la Economía*. España: Reverté S.A.
- Leidy Viviana Patiño, M. A. (2017). *Llantas usadas materia prima para pavimentos y múltiples ecoaplicaciones*. Bogotá: Universidad EAN.
- Li, D. Z. (2020). Mix design and mechanical properties of rubberized cement stabilized soil pavers (RCSS) . *Lecture Notes in Civil Engineeringx*.
- Line, M. (2020). *Market Line Industry Profile Global Tires & Rubber*.
- Michael W. Rouse, R. L. (2013). *Apparatus for shredding rubber tires and other waste materials*. Estados Unidos de America.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostebible. (2010). *Resolución 1457*. Bogotá.
- Movilidad, A. M. (2017). *Estudio Económico del sector de la construcción*. Bogotá: Instituto de desarrollo humano.
- Perfecto, C. L. (2018). *Circular Economy for a Sustainable Future*. Barcelona, España: Sustainn.
- Porter, M. (1989). *La Cadena de Valor de Michael Porter*.
- Revista SEMANA*. (16 de Abril de 2021). Obtenido de <https://www.semana.com/economia/inversionistas/articulo/en-colombia-cada-ano-950000-llantas-usadas-van-a-parar-a-la-basura/202129/>
- Ricardo Benjamin Perilla Maluche, W. (2020). *Análisis del futuro: Algunos metodos alternativos a la "caja de herramientas de la prospectiva francesa"*. Tolima: Universidad del Tolima.

Rodríguez C, V. (2013). Fallas del Mercado y Regulación Económica: ¿La Regulación Ejercida por el Gobierno Permite Lograr un Mejor Funcionamiento de los Mercados?

*Quipukamayoc*, 99-111.

Roychand R., G. R. (2020). A comprehensive review on the mechanical properties of waste tire rubber concrete. *Construction and Building Materials*.

S. Wang, Q. W. (2015). Asphalt modified by thermoplastic elastomer based on recycled rubber . *Construction and Building Materials*.

S.A.S, C. E. (s.f.). *Cauchos Especiales Malaca S.A.S*. Obtenido de

<https://www.cauchosmalaca.com/>

Sala, L. F. (1995). *Política Económica del medio ambiente*. Barcelona: Cedecs.

Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2006). *Economía*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.

Saurez, R. (24 de Octubre de 2016). *El Tiempo*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2018, de

<https://m.eltiempo.com/vida/ciencia/reciclaje-de-llantas-en-colombia-52722>

*Scopus*. (2021).

*Scopus*. (2021). Obtenido de

<https://scopus.proxymanizales.elogim.com/term/analyzer.uri?sid=811a94536065f5f8488>

03f43ec6cae43&origin=resultslist&src=s&s=%28+%28+%28+TITLE-ABS-

KEY+%28+%22Crushed+rubber%22+%29+OR+TITLE-ABS-

KEY+%28+%22rubber+granule%22+%29+OR+TITLE-ABS-KEY+%28+%22crumb+r

*SIGNUS*. (2017). Obtenido de Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados:

<https://www.signus.es/sobre-signus/>

Slideshare. (21 de 12 de 2006). *Reciclado de Neumaticos fuera de uso*. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/jose1001/reciclaje-neumaticos>

- Stiglitz, J. E. (2000). *La Economía del sector público* . Barcelona: Antoni Bosch, Editor S.A.
- Tiempo, E. (2014). Las llantas en desuso, las nuevas invasoras del espacio en Bogotá. *El tiempo*.
- Turner, R. K., & Pearce, D. w. (1992). Sustainable Development: Ethics and Economics. *Centre for Social and Economic Research on the Global Environment*, 09-92.
- V. Ramirez, J. (2013). Evolución de la Normativa Ambiental Colombiana en Función de las Tendencias Mundiales del Desarrollo Sostenible. *NOOS*, 55.
- Valdés, A. R. (2014). *Servicio logístico al cliente en empresas de servicios: procedimiento para su diseño. Logistic Customer Service in Service Enterprises: Procedures for its Design*. La Habana, Cuba: Facultad de Economía.
- Varian, H. (2006). *Microeconomía Intermedia*. España: Antoni Bosch, Editor S.A.
- William Pérez Martínez, c. M. (2017). *PLAN DE NEGOCIO PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA DE RECICLAJE DE LLANTAS EN BOGOTÁ*. Bogotá: Universidad Santo Tomas.

## 13. Anexos

### Anexo 1

#### Encuesta Aplicada

#### **IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES PARA EL APROVECHAMIENTO DEL GRANULO DE CAUCHO RECICLADO SOPORTADO EN VIGILANCIA ESTRATÉGICA. UN ANÁLISIS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ**

El objeto de la encuesta es saber la intención de participar en el estudio a desarrollar en relación a las alternativas sostenibles para el aprovechamiento de las llantas usadas en Bogotá, identificando los mercados potenciales y empresas objetivo que consideren del uso del granulo de caucho reciclado en la ciudad como materia prima.

Nombre completo

Profesión

Cargo laboral

Nombre de la empresa

Actividad de la empresa

Tipo de empresa o sector al que pertenece

- Empresa privada
- Empresa pública
- Empresa mixta

1. A través del procesamiento que se le da a las llantas usadas se obtiene granulo de caucho reciclado, lo cual tiene múltiples usos entre esos: construcción de vías, diseño de baldosas para parques, jardines, impermeabilización de canchas sintéticas, entre otros. De acuerdo a lo anterior, ¿usted implementaría este residuo como materia prima para la ejecución de planes y proyectos? Explique su respuesta.
  
2. ¿Usted tiene conocimiento de las empresas que realizan el procesamiento del granulo de caucho reciclado en Bogotá?

- Si
- No



3. ¿Usted cree que a la hora de implementar el granulo de caucho como materia prima en la ejecución de proyectos, le daría un valor agregado a la actividad que desempeña su empresa en la ciudad de Bogotá?
  - Si
  - No
4. Cabe resaltar que el granulo de caucho reciclado (GCR) como materia prima es mucho más económico o de bajo costo dado que se obtiene a partir de las llantas usadas. ¿Usted como empresa estaría dispuesto en contemplarlo dentro de los presupuestos a presentar en los proyectos ya sean privados o públicos?
  - Si
  - No
5. ¿Está de acuerdo en que se reglamente el uso del granulo de caucho reciclado, dentro de la normatividad ambiental vigente para que se establezca como estrategia sostenible en pro del medio ambiente de la ciudad de Bogotá?
  - Si
  - No
6. ¿De manera voluntaria, usted como empresa se acogería a esta nueva estrategia sostenible del uso del granulo de caucho reciclado (GCR)?
  - Si
  - No
7. ¿Usted tiene conocimiento de los beneficios que tiene el uso del granulo de caucho reciclado (GCR) desde lo social, económico y ambiental? Justifique su respuesta.
8. ¿Cree necesario que se debe establecer como obligación el uso del granulo de caucho reciclado (GCR) dentro de un decreto, ley o resolución, para que se dinamice el mercado de las empresas encargadas de producirlo para el sector de construcción e infraestructura?
  - Si

- No

9. ¿Cuál es la percepción que tiene frente a la poca información y difusión acerca del uso del granulo de caucho reciclado (GCR) dentro del sector de infraestructura en el cual se encuentra su empresa? Justifique su respuesta.
  
10. ¿Consideraría la compra del granulo de caucho reciclado (GCR) para implementarla en las obras civiles y de infraestructura teniendo en cuenta que es una alternativa sostenible que contribuye a la economía circular? Justifique su respuesta.