



**Facultad de Ingeniería y Computación
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“Investigación sobre la realidad del caucho
en desuso en Perú comparándolo con otros
países ”**

Trabajo de Investigación presentado por las alumnas de la
Escuela Profesional de Ingeniería Industrial:

**CAMILA LUCIA ABUGATTAS DELGADO
GRETTE ESTEFHANY CARNERO ARIAS**

Para Optar por el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Industrial

ASESOR: Mg. NILTON CESAR ANCHAYHUA ARESTEGUI

Arequipa, 2020

Dedicatoria

Dedico esta investigación a Dios, gracias a su amor y provisión es que yo puedo prepararme para ser profesional, a mis padres que son mi motor cada día.

Camila Lucía Abugattas Delgado

Dedico mi trabajo a Dios por ser quien me motiva en esta vida y a mis padres que esperan y merecen siempre lo mejor de mí.

Gretta Carnero Arias

Agradecimientos

Agradezco primero a Dios por darme vida y fuerza cada día, por cuidarme y amarme de manera incomprensible. A mis padres por permitirme elegir mi vocación, por financiar mis estudios y por ser mi mejor apoyo emocional.

Camila Lucía Abugattas Delgado

En primer lugar doy gracias a Dios porque él es mi fortaleza y porque me brindo una familia increíble que me apoyo en todo momento, agradezco a mis padres por otorgarme la ayuda necesaria en cada paso que doy, por confiar en mí, aconsejarme y acompañarme en la realización de mis metas.

Gretta Carnero Arias

Resumen

El incremento del deterioro del entorno ambiental es una gran amenaza y un reto a combatir en la actualidad para llegar a un Desarrollo Sostenible, las actividades humanas son la fuente principal de la contaminación del planeta, ya que proporcionan una cantidad relevante de residuos. La investigación consiste en el análisis teórico de diferentes fuentes de información como normativas, artículos o trabajos de investigación que fundamenten los beneficios y la experiencia de diversos países, sobre el correcto manejo de sus residuos sólidos originados por los Neumáticos fuera de uso(NFU), a través de la aplicación de Economía circular, la cual nos ofrece una serie de beneficios basados en la reutilización de los recursos que llegan al fin de su ciclo de vida, se le concede a los residuos poder formar parte de un patrón cíclico, donde se convierte en entrada de un nuevo ciclo y ayudan en la elaboración óptima de un nuevo producto, evitando así formar parte del impacto negativo que está sufriendo el ambiente y generar nuevas oportunidades y beneficios para los usuarios. La comparación de dichas experiencias con las del Perú nos guiará a determinar la situación en la que se encuentra este país.

Palabras Claves

Desarrollo Sostenible, Neumáticos fuera de uso (NFU), Economía Circular.

Abstract

The increase in the deterioration of the environment is a great threat and a challenge to fight at present to reach Sustainable Development; human activities are the main source of pollution of the Planet, since they provide a relevant amount of waste. The research consists of the theoretical analysis of different sources of information such regulations, articles or research papers that support the benefits and experience of various countries, on the correct management of their solid waste originated by the Tires out of use (NFU), Through the application of Circular Economy, which offers us a series of benefits based on the reuse of resources that reach the end of their life cycle, waste is granted to be part of a cyclic pattern, where It becomes the entrance of a new cycle and helps in the optimal development of a new product, thus avoiding being part of the negative impact that the environment is suffering and generating new opportunities and benefits for users. The comparison of these experiences with those of Peru will guide us to determine the situation in which this country is.

Key Words

Sustainable Development, Tires out of use, Reverse logistics, Circular economy

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	iii
Resumen	iv
Abstract.....	v
Capítulo I.....	1
Introducción.....	1
1. Descripción del problema de investigación.....	2
2. Objetivos de la investigación.....	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
3. Justificación de la investigación	4
3.1. Conveniencia.....	4
3.2. Justificación teórica.....	5
3.3. Justificación metodológica.....	6
3.4. Justificación práctica	6
Capítulo II.....	7
Referencial teórico.....	7
1. Marco teórico-conceptual	7
1.1. Antecedentes del estudio.....	7
1.2. Bases teóricas	13
Capítulo III	16
Método de investigación.....	16
1. Descripción del objeto de estudio y unidad de análisis	16
2. Descripción del tipo de investigación.....	16
3. Una descripción detallada de los instrumentos de investigación	16
4. Descripción del paso a paso de cómo la investigación fue realizada	17
4.1. Análisis Bibliométrico.....	17
4.1.1. Selección del tema a investigar: Disposición final de los neumáticos fuera de uso. 17	
4.1.2. Palabras claves:.....	17
4.1.3. Levantamiento inicial de información en base de datos:.....	17

4.1.4. Filtros de búsqueda y selección de artículos	17
4.1.5. Caracterización del contenido encontrado.....	31
5. Un análisis de las ventajas, desventajas y limitaciones del método, así como las formas de superar estas limitaciones.....	33
Capítulo IV	34
Análisis de resultados	34
Capítulo V	35
Conclusiones y recomendaciones	35
1. Conclusiones.....	35
2. Recomendaciones	37
Referencias	38

Índice de Tablas

Tabla 1: Análisis bibliométrico de los neumáticos fuera de uso	19
Tabla 2: Año de publicación de documentos seleccionados	23
Tabla 3: Lugar de publicación de documentos seleccionados.....	24
Tabla 4: Metodología aplicada en los documentos seleccionados	26
Tabla 5: Base de datos usada para encontrar documentos.....	27
Tabla 6: Rubro de aplicación de documentos seleccionados	28
Tabla 7: Palabras claves para identificar documentos.....	29
Tabla 8: Selección de artículos relevantes del análisis bibliométrico	32

Índice de Figuras

Figura 1. Año de publicación	23
Figura 2. Lugar de publicación.....	25
Figura 3. Metodología aplicada en los documentos seleccionados	26
Figura 4. Bases de datos analizadas.....	27
Figura 5. Rubro de aplicación	28
Figura 6. Palabras claves usadas para filtrar documentos	30

Capítulo I

Introducción

Todos los productos poseen un ciclo de vida que empieza con su diseño, elaboración, hasta su declive final, que es cuando ya cumplieron su propósito de uso, convirtiéndose así en residuos, los cuales generalmente son acumulados por no tener uso alguno, y es así que forman parte de la degeneración ambiental de nuestro planeta, como el caso de los neumáticos fuera de uso. Los neumáticos cada vez más, generan un problema ambiental debido a que su producción aumenta y por ende la generación de sus residuos también, a lo largo de los años, diferentes países han establecido normativas para su correcta recuperación o tratamiento, así lo vemos en el continente Europeo, en España el caucho es clasificado como un residuo peligroso, por lo cual cuenta con el REAL DECRETO 1619/2005, que consiste, en las obligaciones que tienen las industrias del caucho así como las entidades o personas que los utilizan, en almacenarlos adecuadamente y recuperar los neumáticos en desuso. En Latinoamérica, Colombia no considera el caucho como residuo peligroso, pero debido a la cantidad generada es considerado como residuo especial (Dinero, 2017) debido a esto, estableció la Resolución n° 1326 en el año 2017, la cual consiste en dar responsabilidad a los fabricantes de neumáticos sobre la correcta recolección de neumáticos usados, su respectiva gestión para recuperarlos y su adecuado almacenamiento, pueden ser en primer lugar reencauchados o reciclados. Argentina promulgó la Ley 9143 – Creación del Plan de Manejo Sustentable de Neumáticos Fuera de Uso, en donde se establece la responsabilidad que tienen las personas o entidades desde su producción hasta su utilización, se indica que deben darle un tratamiento, además, está prohibido almacenarlos y en caso de incumplimiento se retribuye multa por incumplir las normas dadas en esta ley. En Chile se presentó una ley que fomenta el reciclaje que gestionaba una responsabilidad del productor, la cual no está en vigencia aún, pero es una gran iniciativa para evitar la degradación del ambiente. En el caso del Perú, no hay normas ni leyes que se enfoquen específicamente al control ambiental de los residuos provenientes del caucho.

1. Descripción del problema de investigación

El caucho es un material que implica una degradación tardía, este se encuentra presente en gran porcentaje de la composición de los neumáticos, los cuales actualmente muestran una demanda creciente. Según International Rubber Study Group (2014), la demanda mundial incrementará en 3,1 % anual entre 2016 y 2024 (citado en G.Peláez, S. Velásquez, D. Giraldo, 2017, pág. 29). A nivel nacional según el Banco Central de Reserva (2019) el sector manufacturero no primario creció 3,5%, dentro del cual el plástico, caucho y productos químicos han aumentado en conjunto 7%, dentro de esta categoría el caucho ha crecido en 24,2 % debido a una mayor producción de neumáticos. Debido a esta creciente acumulación de neumáticos fuera de uso, es necesario identificar una solución mediante la aplicación de economía circular en las empresas que lo producen, ya que como dice (Cabeza, 2012) el responsable de los impactos negativos del residuo es la entidad o persona que lo fabrica.

En el Perú no existen Normas para la disposición final del caucho a diferencia de otros países, pero sí existen normativas para los residuos sólidos en general. En la (ANAA) Agenda Nacional de Acción Ambiental al 2021 se trata el tema del adecuado manejo de restos sólidos, dentro de los cuales se encuentran los Neumáticos Fuera de uso, pero se describe de forma general, no especifican acciones para cada residuo. El decreto legislativo 1278 es la norma vigente que gestiona el control de los residuos sólidos, en la que se tiene como contexto principal tratar dichos residuos, pero no considera un plan específico para tratar el caucho.

Tampoco existen proyectos del congreso actuales que se enfoquen en el tema. La inversión financiera para el sector manufacturero fue de S/ 38,108 millones en 2018 (Asociación de Bancos del Perú, 2018), además la inversión destinada a los residuos sólidos es menor a comparación de esta, obteniendo una cifra proyectada de inversión de S/ 578,2 millones, en la cual no se especifican proyectos de inversión referentes al tratamiento de residuos de caucho (Evaluación y Gestión Ambiental, 2014)

Según Galarza Contreras, Gabriel Alegre Chang, & Merzthal Yupari (2016) y el Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos (Evaluación y Gestión Ambiental, 2014) se clasifica al caucho según su origen como un residuo industrial, según su gestión, residuos de gestión no municipal y según su peligrosidad, como no peligroso, por no representar

afectaciones en el entorno y salud, lo cual afirma que en el Perú no se está considerando realmente importante la problemática generada por la acumulación de neumáticos en desuso, ya que la contaminación y los problemas de salud que pueden generar su acumulación irresponsable no son nulos.

El Ministerio de Producción es el ente encargado de proporcionar los fondos para que el CONCYTEC (2016), realice investigaciones e innovaciones sobre temas diversos, dentro de los cuales se podría incluir el tema del caucho y sus residuos, dicho consejo actualmente realiza programas nacionales, actualmente desarrolla un programa para los años 2016-2021, en el cual se enfoca en la implementación de procedimientos que aseguren un correcto control final de residuos. Esto demuestra que no hay inversiones dedicadas a la investigación e innovación específica del Caucho en desuso. Por consiguiente, si no existen las leyes correspondientes para la disposición final de estos residuos en Perú, la ausencia de normativas específicas generan desinterés tanto de las empresas como de los consumidores sobre el fin del producto y la responsabilidad que conlleva la disposición final de este. ¿Existen leyes concretas para la gestión y control óptimos de neumáticos en desuso en otros países?

Respecto a la disposición final de los neumáticos fuera de uso se cuenta con información sobre la ubicación de los diferentes botaderos en el país, pero no hay reporte alguno que indique los contenidos de estos. En el Perú existen 32 Rellenos Sanitarios Municipales (Dirección General De Educación, Ciudadanía e Información Ambiental, 2018). El (OEFA) Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2018), determinó 1585 botaderos informales en el país. Entonces, ¿Hay planes o propuestas de reutilización de los residuos de llantas en el Perú?, ¿Lo hay en otros países? Si los hay, ¿Cuáles pueden ser implementados en el Perú y que beneficios generarían?.

2. Objetivos de la investigación

2.1. Objetivo general

Realizar una Investigación sobre la reutilización de los neumáticos fuera de uso en el Perú, realizando una comparación con diversos países.

2.2. Objetivos específicos

- Investigar el marco normativo existente respecto a la gestión y control final de los neumáticos fuera de uso en ciertos Países.
- Analizar las diferentes propuestas de mejora y óptimas formas de reutilización de los neumáticos fuera de uso en los diferentes países analizados.
- Realizar un análisis de los beneficios que resultan de la reutilización de residuos del caucho.

3. Justificación de la investigación

3.1. Conveniencia

Un ingeniero industrial debe de abarcar y tomar en cuenta las necesidades de las partes interesadas, no sólo enfocarse en un negocio por el beneficio económico que genera, sino también analizar cómo este afecta a la sociedad en la cual se realiza. Es necesario lograr una nueva forma de gestionar buenas relaciones entre el medio ambiente y las actividades industriales, por lo cual el estudio se enfoca en ver el impacto ambiental que la industria del caucho provoca al generar cantidades significativas de neumáticos que posteriormente se convierten en desperdicios, además de investigar los métodos de reutilización que ayuden a recuperar el valor de los residuos de neumáticos usados, como dice (Don & Doldán, 2010) se puede generar beneficios, utilizando productos que han acabado su ciclo de vida, los cuales pueden convertirse en la materia prima de otro proceso; así mismo con esto se puede generar una nueva forma de negocio rentable o un beneficio adicional para las

industrias existentes dedicadas a la producción de neumáticos, teniendo en cuenta el impacto que generan el caucho al degradarse en 600 años, por lo cual es necesario reciclarlos y/o reutilizarlos, de esta forma surgen propuestas de negocio, el Perú posee la materia prima (llantas en desuso) para reutilizarlos y generar diferentes bienes (Ortiz Valdez, 2017).

3.2. Justificación teórica

La investigación pretende proporcionar un mayor conocimiento acerca de los beneficios que resultan de darle un nuevo uso y aprovechamiento a los residuos de llantas que ya terminaron su ciclo de vida útil. Al realizar la investigación bibliográfica se busca contrastar la aplicación de economía circular utilizada en otros países para el reuso del caucho; se encontró que en diferentes países, mayormente en la ciudad de Colombia se realizan investigaciones sobre la reutilización del caucho, la gran parte de los artículos encontrados son de este país, así como la experiencia de industrias dedicadas al procesamiento de los neumático que ya fueron utilizados, además en Chile hay investigaciones y empresas que trabajan con caucho, por ejemplo la empresa llamada “Polambiente”, que se centra en dar un uso novedoso a los neumáticos en desuso, como por ejemplo pisos de caucho, Uruguay también cuenta con “Greenur” que es la primera empresa dedicada a la reutilización de neumáticos fuera de uso en este país, en Europa vemos la ciudad de España que tiene un Consorcio Nacional de Industriales del Caucho, esta organización tiene por misión representar y defender los intereses del sector. (Ortiz Valdez, 2017)

Así como en estos países, se ve la importancia que le dan a reutilizar los neumáticos en desuso, las investigaciones en diferentes lugares del mundo están incrementando y tratando de buscarle mayores usos que generen beneficios propios y ambientales. Actualmente el Perú cuenta con normas vinculadas al manejo de residuos sólidos, sin embargo, el Perú no cuenta con una normativa que asegure la solución del impacto que generan las llantas en desuso. (Magallanes Reyes & Guillén Solari, 2014)

3.3. Justificación metodológica

La metodología a usar para la presente investigación consiste en la compilación de información a través de un análisis bibliométrico, para poder seleccionar los documentos más relevantes del tema elegido. Se recolectará información sobre la disposición inadecuada de los NFU, identificando las aplicaciones de este residuo como materia prima para diversos usos en diferentes países y también normas ambientales referidas a la gestión de recursos sólidos, para una posterior comparación de la situación en Perú, con países principalmente de Latinoamérica y Europa. Con esta comparación se logrará ver el avance generado respecto a la economía circular y se obtendrá un contexto de las diferentes aplicaciones del caucho en desuso, para en base a esto emprender negocios.

3.4. Justificación práctica

Los resultados de la investigación proporcionan un beneficio múltiple a través de alternativas de solución ambiental que contribuyen a contrarrestar la excesiva e inadecuada acumulación de los residuos de llantas usadas, en función a los objetivos planteados se puede encontrar la solución al problema dado, evaluando las diferentes formas de reutilización de neumáticos en desuso, y así poder seleccionar la más conveniente que permita la aplicación de economía circular y un nuevo horizonte donde se vea, los residuos como recursos útiles para crear nuevos productos, con la cual se puede llevar a cabo un estudio más profundo mediante la elaboración de una tesis, ya que en esta se podría evaluar los costos que generan, así como los ingresos que otorga, hacer pruebas de que lo investigado es efectivo, y así implementarlos a empresas pertenecientes al rubro industrial de neumáticos de caucho, para acoplar estos procesos a su producción y lograr no sólo una ganancia, sino que también empezar un Sistema de Gestión del Medio Ambiente.

Capítulo II

Referencial teórico

1. Marco teórico-conceptual

1.1. Antecedentes del estudio

La presente investigación recupera estudios de diferentes países de Latinoamérica, Europa y otros países, sobre aplicaciones de economía circular en los NFU, para que se dé un contexto del tratamiento de los neumáticos en desuso.

1.1.1. Colombia

Según Peláez., Velásquez y Giraldo (2017) la demanda del caucho a nivel mundial tiene una tendencia ascendente, para lograr una mejor comprensión de los desafíos que implica reciclar caucho, es necesario saber que el caucho virgen es una mezcla de elastómeros y aditivos orgánicos, agentes vulcanizantes y cargas minerales, la cual es sometida al proceso de vulcanización térmicamente irreversible, al respecto, Y. Fang, M. Zhan y Wang (2001), mencionan que la vulcanización es térmicamente irreversible, sólo se puede tratar el caucho por procesos químicos, energéticos o trituración mecánica (citado en Peláez., Velásquez y Giraldo, 2017, p. 29.). El alto consumo de caucho en diferentes países desarrollados, hacen que se den cuenta de la alta contaminación y la cantidad de residuos que generan, esto hace que a lo largo de los años hayan promulgado leyes para reducir esta contaminación, países como España, Corea del Sur, Polonia, Francia, Brasil, Uruguay, Colombia entre otros adoptaron legislaciones para proteger el ambiente al recolectar y reutilizar neumáticos.

Entre las diferentes aplicaciones del caucho, sus residuos se pueden emplear para la construcción ya que se puede incluir como asfalto o cemento, los cuales se usan para edificios y carreteras; además es utilizado para elaborar soportes de alfombras, suelos antideslizantes, compuestos impermeables usados

para muros y techos. El caucho tiene propiedades de impregnación acústica, lo cual lo califica para ser uno de los componentes para la construcción de muros que disminuyan la contaminación sonora. Finalmente el caucho en la construcción se puede emplear como aislante sísmico, es más económico que otros materiales y como elastómero tiene resistencia sísmica. Además estudios reflejan que al implementar residuos de caucho como adsorbentes para algunos contaminantes, el caucho triturado se usa para un sistema de filtración. En cuanto a la protección del medio ambiente, el caucho tiene aplicaciones en techos ecológicos, los cuales son techos conformados por componentes vegetales vivos que sirve para purificar el aire, ahorran energía, entre otros; el caucho reciclado es el más eficiente de los materiales que se usan para este, ya que los demás materiales como son el polietileno, poliéster, entre otros, no son amigables con el medio ambiente. El caucho al ser transformado como carbón activo sirve como tratamiento de agua con desechos tóxicos. En la investigación hecha por Wang *et al* (H. Wang, 2011), “se evaluó la factibilidad del uso de caucho reciclado granulado con un recubrimiento conductor como ánodo de celdas de combustible microbianas”. (Citado en Peláez., Velásquez y Giraldo, 2017, p. 38). Además el caucho triturado se puede usar como resina para el tratamiento del agua con derrames de petróleos.

Otra forma de reciclar y aprovechar el caucho es “su incorporación con forma de material particulado en matrices poliméricas para obtener materiales compuestos” (Peláez., Velásquez y Giraldo, 2017, p. 40.), esta sinergia de componentes y propiedades generan materiales que son muy deseados en las industrias, actualmente se realiza la fabricación de volantes y pedales haciendo uso de estos compuestos.

En el estudio realizado por Camargo, J. Franco, V. Pantoja, J. Osorio, (2017) para la evaluación del impacto de la logística inversa en la industria del caucho se encontraron 3 procesos que son utilizados para reutilizar el caucho, los cuales son: coprocesamiento, reencauche y trituración mecánica. En este estudio se observa después de analizar datos en la ciudad de Bogotá- Colombia que la demanda de neumáticos nuevos es mayor a la de los residuos de estos, lo

que generará más residuos a largo plazo, además se observa que los neumáticos recolectados para su reutilización está aumentando. Se realizó una evaluación del impacto que generan los procesos ya mencionados y además la producción de neumáticos nuevos, primero se observó, según A. Corti, L. Lombardi (2004) al aplicar la trituración mecánica no se generaba contaminaciones por CO₂ (como se cita en S. Camargo, J. Franco, V. Pantoja, J. Osorio, 2017, pg. 371); los neumáticos nuevos son los que generan mayores emisiones de CO₂ en comparación al reencauchado y a el coprocesamiento. El uso de neumáticos reencauchados para satisfacer la demanda de neumáticos nuevos genera menores emisiones de CO₂ y hay menor consumo de energía y de petróleo; pero coprocesar el caucho es menos contaminante que reencauchar las llantas.

Castaño Ciro (2012) realiza un estudio de los diferentes procesos para añadir caucho en desuso por medio de trituración mecánica a mezclas puras de EPDM, el cual es caucho sintético, tiene beneficios como resistencia al ozono, el oxígeno, a la humedad entre otros. Al experimentar con EPDM virgen y polvo de caucho en desuso de EPDM concluyó que si se puede utilizar para generar nuevos neumáticos.

Patiño, L. V. y Rodríguez Ramos (2017) dan un contexto de la problemática del caucho, enfocan que al desecharlos en botaderos impactan negativamente al ecosistema ya que se puede acumular agua estancada y desperdicios, los cuales se convierten en zonas infecciosas, además de contener plagas como mosquitos o roedores que pueden portar enfermedades. Los neumáticos en desuso son considerados residuos especiales dado al volumen que tienen, por lo cual necesitan un tratamiento diferente al resto de residuos, el Ministerio de Ambiente colombiano informa como se dispone finalmente los neumáticos en desuso: incineración y botaderos, reencauche, uso artesanal y regabado, de estos el que genera más impacto es la incineración dado que genera contaminación ambiental y tiene dificultad para ser extinguido. Los neumáticos se pueden dividir en 3 clases según el desgaste: reutilizables (poco desgaste), reencauchables (mediano desgaste), y no reencauchables (llantas

fuera de uso), la última clase es la que se utiliza para ser triturada mecánicamente generando el caucho granulado que puede ser utilizado como componente del asfalto. La investigación concluye que es factible reciclar el caucho por medio del proceso de trituración mecánica.

1.1.2. Chile

Olivares Carmona, (2016), Sustenta que en el país de Chile, debido a las actividades de minería del Cobre y a los grandes tamaños de los neumáticos que estos utilizan, así como también el incremento en la demanda de llantas, el problema de acumulación de residuos de NFU (Neumáticos fuera de uso) toma mayor relevancia. Esto genera una oportunidad de negocio ya que da la posibilidad de poder generar una empresa de reciclaje de NFU, en la que estos residuos se convierten en materia prima para la producción de migas de caucho. La minería representaría la fuente de alimentación principal de residuos de llantas, debido a la cantidad de maquinaria que posee. En esta investigación también se resalta que del proceso de reciclaje de los NFU, no solo se obtiene al caucho como material reutilizable, sino también, el acero que a través de su venta genera ganancias adicionales.

Las aplicaciones para el caucho granulado básicamente se comprenden en las siguientes:

- En proyectos del rubro deportivo: Canchas sintéticas, pistas de equitación
- Áreas verdes: pisos, decoraciones de parques.
- Rubro Minero e Industrial: Cuñas vehiculares, gradas diamantadas.
- Innovaciones: Protecciones en carreteras, geo-membranas de caucho para reutilización en reencauchado.

1.1.3. Perú

En la tesis elaborada por Ortiz Valdez (2017), el Perú es descrito como un país que contiene los recursos necesarios para elaborar productos variados

resultantes del caucho en desuso, otra de las opciones desarrolladas, es la viabilidad de un proyecto de exportación de caucho granulado a diferentes países, resultando Bolivia, el país representante de un mercado primordial para Perú. Se elaboró una comparación con ciertos países, para poder evaluar el estado del arte del Perú. Se analizó el método 3R, en el que se da el aprovechamiento de los insumos, mediante la integración de tres actividades que generan una óptima reutilización, que implica reducir la contaminación ambiental; las actividades son: reutilizar, reciclar y reducir, el término Recuperar se añade después, este consiste en fabricar otros productos mediante el uso de materia prima. El caucho granulado en la actualidad no tiene productos sustitutos, esto representa una gran ventaja para su desempeño en el mercado. El proyecto cumple con ser viable en varias dimensiones, así como también cumple un rol favorable con el entorno ambiental, a través del reciclaje de llantas.

García Quiroz & Luna Victoria, (2016) en su investigación propone la disminución de impacto negativo al entorno ambiental a través de la realización de un plan de reutilización del caucho de neumáticos que ya no cumplen su propósito, mediante el método de pirólisis aplicada dichas llantas. A nivel mundial el problema del ambiente según Siliceo, (2004) se intensificó con la aparición de los productos desechables, los cuales tuvieron una acogida por los consumidores gracias a que ofrecían la facilidad de usar y botar, (como se cita en García Quiroz & Luna Victoria, 2016, p. 2). América Latina obtiene cantidades preocupantes respecto al reciclaje, ya que no se supera el 15 por ciento de reciclaje por basura producida anualmente.

1.1.4. Ecuador

Campana Cruz, Galeas Hurtado, & Guerrero Barragán, (2015), en su artículo, nos hablan de la buena experiencia que EE.UU tiene, desde los años 60, de utilizar el polvo de caucho, este material proveniente del reciclaje de llantas ya usadas, contiene una serie de propiedades como la durabilidad, que le permiten ser un aditivo que aporta beneficios a las mezclas de asfalto, ayuda

a que la cantidad de mantenimiento de los asfaltos sean menores, evitar la formación de grietas y por ende colabora también en la reducción de los costos. Se mencionan dos métodos necesarios para lograr obtener el nuevo producto (Asfalto Modificado), el proceso húmedo y el proceso seco, las condiciones necesarias para realizarlos, los materiales y métodos para la experimentación, también describen las propiedades de gravedad específica, densidad, % de vacíos del material, que dan evidencia de los beneficios obtenidos en cada proceso para culminar con la selección del más conveniente, el cual resulta ser la obtención de la mezcla a través del Método Húmedo, ya que con este se logra una óptima homogeneidad. Debido a estos resultados afirman que este nuevo procedimiento genera una oportunidad para mejorar los pavimentos, y para colaborar con el medio ambiente con la correcta gestión de los residuos de llantas usadas.

1.1.5. España

Los residuos elastoméricos presentes en el caucho, generan un agravante al problema ambiental, ya que, tienen una degradación muy paulatina, en muchas de las aplicaciones de reutilización de estos residuos, no se genera un valor adicional al producto, se puede reusar las llantas en desuso para el mismo proceso de fabricación (Mujal, Marín y Colom., 2017).

Según Mujal, Marín y Colom (2017) una de las aplicaciones de residuos del caucho es usarlo en la formación de neumáticos nuevos, para lo cual los elastómeros son seleccionados del caucho en desuso, eliminando los que no lo son, posteriormente es triturado y desvulcanizado, los autores proponen elaborar una nueva materia prima que sirva para el proceso de fabricación de llantas, la cual sería una mezcla de dos elastómeros estireno-butadieno y caucho natural con llantas en desuso. Existen dos formas de hacerlo, una es sin desvulcanizar y otra es con desvulcanizado, hay diferentes tipos: desvulcanizado mecánico, químico-mecánico, y con microondas. Luego de la experimentación realizada por autores sobre la eficacia de cada uno de los tipos, se observa que el desvulcanizado mecánico es el mejor porque tiene

más densidad de reticulación, lo cual indica una mejor compatibilidad entre el elastómero de caucho reciclado y del elastómero virgen.

1.1.6. Otros

Dhouib, D (2014) realizó una investigación sobre el método MACBETH, dicho método es participativo, se establece examinar opiniones referidas a un tema en particular para así tomar decisiones. La aplicación de economía circular para el tratamiento de caucho reciclado es una muy buena alternativa para combatir la problemática ambiental actual, a través del método MACBETH se puede evaluar las diferentes alternativas de reutilización del caucho y así ponerlas en práctica, por medio de este método se puede tomar la mejor decisión para llegar a la elección más óptima. En este análisis se evaluaron 5 alternativas: “paredes con insonorización (paredes-SP), superficies de juegos(Play-S), ingeniería civil (Civil-Eng), hornos de cemento (Cement-K) y Reutilización” (Dhouib, D, 2014), para las cuales se usaron diferentes criterios para calificar cada una, como por ejemplo la cantidad de trabajos que genera aplicarlas, el impacto que genera en el mercado, el beneficio que se obtiene de cada una, considerando sus ingresos así como los costos, desde que los neumáticos en desuso son recogidos, hasta la eliminación de sus desechos y el impacto ambiental que provoca realizarlos; después de analizar cada alternativa se llegó a la conclusión de que la mejor opción es la utilización en hornos de cemento.

1.2. Bases teóricas.

1.2.1. Definición de términos.

1.2.1.1. Economía circular.

Según, Saldivar de Salinas, L. R. y Ferreira, R. L. (2018) y Prieto Sandoval, Jaca, & Ormazabal, (2017), es un modelo que tiene por objetivo principal el bienestar ambiental, prosperidad económica y la reducción de

contaminación del entorno ambiental para poder llegar a un desarrollo Sostenible.

Economía Circular (EC) es un término que viene revisándose desde años pasados, pero en la actualidad está tomando mayor importancia debido a la presencia de los impactos negativos en el ambiente que se dan actualmente, como menciona Lett, (2014), este modelo permite que los residuos no pasen a formar parte de los contaminantes ambientales, sino, los coloca nuevamente en la denominación de recursos, los cuales serán útiles para la elaboración de nuevos productos, gracias a la reutilización adecuada. Si un producto termino el recorrido de su ciclo de vida, puede proceder a formar parte útil de un nuevo ciclo, con el fin de que se reduzcan los residuos y que los recursos tengan un tiempo más largo de vida útil.

1.2.1.2. *Desarrollo sostenible.*

Según Garea Moreda, et al. (2014, pág. 91) y Meehan, J., & Bryde, D. (2011), debido al incremento del impacto ambiental que generan las actividades económicas, se establece este concepto que consiste en satisfacer las necesidades actuales pero no perjudicar demasiado a las futuras considerando las necesidades ambientales, económicas y sociales, poder tener una nivelación entre las actividades económicas con las ambientales, para así tener un equilibrio al realizar actividades económicas pero protegiendo el ambiente y por consiguiente a la sociedad.

1.2.1.3. *Caucho.*

Según Ortiz Valdez,(2017) tiene propiedades como la elasticidad, resistencia al agua, es aislante a la electricidad y temperatura, existe dos tipos de caucho:

- Caucho natural: se obtiene de la sustancia que tiene consistencia de leche recuperado del árbol hevea, más conocida como latex.

- Caucho sintético: se genera a partir de reacciones químicas, llamadas polimerización, tiene propiedades similares a las del natural pero algunas adicionales que lo superan (Salvatiera Cerda, 2014).

1.2.1.4. *Neumáticos fuera de uso (NFU).*

Son las llantas que ya han culminado su ciclo de vida útil, ya no sirven para el propósito que fueron creados, los cuales son generalmente almacenados.

1.2.1.5. *Residuos sólidos.*

Son aquellos elementos, componentes, materiales o productos que acabaron su ciclo de vida útil, su productor o consumidor lo desecha o lo asigna a otra entidad. Los residuos sólidos pueden ser aprovechados para otro proceso o para generar un nuevo bien. (Galarza Contreras, Gabriel Alegre Chang & Merzthal Yupari, 2016)

Capítulo III

Método de investigación

1. Descripción del objeto de estudio y unidad de análisis

El objeto de estudio es la disposición final inadecuada de los neumáticos al acabar su ciclo de vida (en desuso), y la unidad de análisis es el Perú, comparándolo con diferentes países.

2. Descripción del tipo de investigación

La investigación realizada para el estudio del contexto actual de los neumáticos en desuso, corresponde al tipo cualitativo, ya que se elaboró una recolección de información, la cual fue analizada detalladamente, y con esta se utilizó diferentes estrategias que ayudaron a la interpretación de los datos recolectados, como es el método comparativo, el cual contribuyó al análisis de leyes, normativas y acciones implementadas respecto a la disposición final de los neumáticos fuera de uso en el Perú, equiparándolo con diferentes países. Se vio el potencial que tuvieron estos países para contrarrestar los daños ambientales, creando aplicaciones innovadoras sobre la reutilización de los NFU.

3. Una descripción detallada de los instrumentos de investigación

La técnica que más contribuyó con la investigación, fue la recolección de información obtenida de las bases de datos brindadas por la Universidad Católica San Pablo, ya que nos permitió una búsqueda personalizada de los temas de estudio.

4. Descripción del paso a paso de cómo la investigación fue realizada

4.1. Análisis Bibliométrico

4.1.1. Selección del tema a investigar: Disposición final de los neumáticos fuera de uso.

4.1.2. Palabras claves:

Reutilización de neumáticos, llantas fuera de uso, neumáticos fuera de uso (NFU), logística inversa, waste tyres, tires out of use, caucho en desuso.

4.1.3. Levantamiento inicial de información en base de datos:

Para la presente investigación se revisaron bases de datos confiables, a las cuales se pudo acceder gracias a la Universidad Católica San Pablo, para la recolección y evaluación de artículos del tema seleccionado, como son:

- Scielo
- REDALYC
- Dialnet – Investiga las ciencias Humanas, Jurídicas y Sociales
- DIGITAL.CSIC – Documentos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- Concytec
- IOP Science
- REDIB
- ScienceDirect
- Sedici

4.1.4. Filtros de búsqueda y selección de artículos

Para evaluar y filtrar los artículos encontrados en las bases de datos se utilizó diferentes indicadores bibliométricos, ya que al evaluar varios indicadores se tiene una selección más detallada, que nos permite elegir los artículos actualizados y de mayor relevancia para la investigación:

- Año de publicación, para analizar la tendencia de investigación a lo largo de los años y la relevancia del tema en la actualidad.
- País, para así evaluar qué país tiene mayor interés por investigar a cerca de la problemática de los NFU.
- Palabras clave, para ayudar a las investigaciones futuras a encontrar más rápido trabajos sobre el tema estudiado.
- Metodología usada, si es cualitativa, cuantitativa o ambas.
- Base de datos, para observar en que base hay mayor información sobre el tema elegido.
- Rubro, para delimitar en que área se están enfocando las aplicaciones realizadas o planteadas, o si son investigaciones que explican las leyes.

Tabla 1: Análisis *bibliométrico de los neumáticos fuera de uso*

Nombre	Año	Lugar	Autor	Palabras clave	Metodología usada	Revista	Base de datos	Rubro
Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas	2017	Colombia	Santiago Camargo Rodríguez, Jessica Andrea Franco López, Vivian Lorena Chud Pantoja y Juan Carlos Osorio Gómez	Logística inversa de neumáticos fuera de uso	Método cualitativo y cuantitativo	Ingeniería y desarrollo	Scielo	Industria
Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura	2017	Colombia	Gabriel Jaime Peláez Arroyave, Sandra Milena Velásquez Restrepo, Diego Hernán Giraldo Vásquez	Llantas en fuera de uso	Método cualitativo	Ciencia e ingeniería negroandina	Scielo	Construcción
Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en un recurso	2018	España	Roberto Pérez Aparicio, Leticia Saiz Rodríguez	Neumáticos fuera de uso	Método cualitativo	Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros.	Dialnet	Industria
Influencia de la dosificación y granulometría del caucho de neumáticos fuera de uso (NFU) y de las dimensiones físicas en las propiedades térmicas, acústicas y mecánicas de placas de mortero de yeso-caucho	2019	España	Pablo Luis Mayor Lobo.	Neumáticos fuera de uso	Método cuantitativo	Universidad Politécnica de Madrid	Dialnet	Construcción

Development of a rotary kiln reactor for pyrolytic oil production from waste tire in Indonesia	2019	Otros	M Syamsiro , M S Dwicahyo, Y Sulistiawati , M Ridwan and N Citrasari	Tires out of use	Método cuantitativo	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	IOP Science	Industria
Gestión ambiental de desperdicios de neumáticos generados por el parque automotor de la ciudad de Lima	2018	Perú	Bernabe Andres Millones Mamani	Neumáticos fuera de uso	Método cualitativo	Universidad Nacional de ingeniería	Concytec	Industria
Influencia del tamaño y porcentaje de caucho reciclado en un concreto estructural sobre su compresión, asentamiento, peso unitario y deformación	2018	Perú	Acevedo Muñoz Beatriz	Reciclado de neumáticos fuera de uso	Método cuantitativo	Universidad privada del norte	Concytec	Construcción
INVESTIGACIÓN CON FIBRA RECICLADA DE NEUMÁTICO (F.R.N.) PARA APLICACIONES ACÚSTICAS.	2018	España	Manuel Zamorano Canto	Neumáticos	Método cualitativo	Universitat Politècnica de Valencia	Dialnet	Construcción
Segunda vida de los neumáticos usados	2018	Argentina	Rocío Sánchez Juan	Neumáticos fuera de uso, caucho	Método cualitativo	Revista Química Viva	Redalyc	Industria
El conflicto de los neumáticos brasileños: Análisis del caso en el marco del Mercosur y la OMC	2018	Argentina	Luciano Gómez	Neumáticos fuera de uso	Método cualitativo	Informe Integrar	Sedici	Legislación
Recovery and Recycling of Waste Tires in Poland	2017	Otros	Joanna Godlewska	Waste tires	Método cualitativo y cuantitativo	Procedia Engineering	ScienceDirect	Industria

Energetic valorization of waste tires	2017	Brasil	Einara Blanco Machin, Daniel Travieso Pedroso, João Andradede Carvalho Jr.	Waste tires	Método cualitativo y cuantitativo	Editorial Elsevier - Academic Press	ScienceDirect	Industria
Un nuevo enfoque para la integración de factores ambientales, sociales y económicos para evaluar mezclas asfálticas con y sin neumáticos de desecho	2018	Chile	P. Arroyo, R. Herrera, L. Salazar, Z. Giménez, J. Martínez, M. Calahorra	Neumáticos fuera de uso	Método cualitativo	Revista ingeniería de construcción	Scielo	Construcción
Recuperación de productos con valor añadido en una planta industrial de tratamiento de caucho procedente de neumáticos fuera de uso	2017	España	Ramón Murillo	Neumáticos fuera de uso, caucho	Método cuantitativo	Boletín del Grupo Español del Carbón	Dialnet	Industria
Waste: A Handbook for Management: Chapter 26 - Tire Recycling	2019	Estados Unidos	Valerie L. Shulman.	Tires out of use	Método cualitativo	Editorial Elsevier - Academic Press	ScienceDirect	Industria
Utilización de caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura	2016	Argentina	Gerardo Botasso, Oscar Rebollo, Adrián Cuattrocchio, Cecilia Soengas	Neumáticos fuera de uso	Método cuantitativo	Tecnologías constructivas	REDIB	Construcción
An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes	2014	Otros	Diala Dhouib	Tires out of use	Método cuantitativo	Omega	ScienceDirect	Industria
Production of carbon black from the waste tires pyrolysis	2013	Colombia	J. D. Martínez a,b, R. Murillo a, T. García	Neumáticos fuera de uso	Método cuantitativo	Grupo Español Carbón	DIGITAL.CSIC	Industria

the recycling of end-of-life tyres. technological review	2013	España	G. Ramos, F. J. Alguacil and F. A. López	Neumáticos fuera de uso	Método cualitativo	Revista de metalúrgia	DIGITAL.CSIC	Legislación
DISEÑO DE REDES DE LOGÍSTICA INVERSA: UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE Y APLICACIÓN PRÁCTICA	2012	Colombia	Luz Ángela Flórez Calderón, Eliana Mirledy Toro Ocampo, Mauricio Granada Echeverry	Logística inversa de neumáticos fuera de uso	Método cualitativo y cuantitativo	Ciencia e ingeniería negroandina	Scielo	Industria
Assessment of simultaneous incorporation of crumb rubber and asphaltite in asphalt binders	2012	Colombia	Javier Eduardo Mantilla-Forero, Eduardo Alberto Castañeda-Pinzón	Caucho en desuso	Método cuantitativo	DYNA	Scielo	Construcción
Caracterización magnética de material compuesto con matriz de resina epoxi y llanta en desuso reforzado con magnetita en diferentes proporciones	2012	Colombia	Félix Enrique Salinas Tacumá, David Arsenio Landinez Téllez, Andrés Orlando Garzón Posada y Jairo Roa Rojas	Llantas en fuera de uso	Método cualitativo y cuantitativo	Tecnológicas	Scielo	Construcción
Gestión pública para solucionar un problema ambiental: manejo de llantas de desecho en Ciudad Juárez	2012	México	Gustavo Córdova Bojórquez, Ma. de Lourdes Romo Aguilar	Llantas en fuera de uso	Método cualitativo	Región y sociedad	Scielo	Construcción
Stress-strain and penetration characteristics of clay modified with crumb rubber	2011	Colombia	Sivapriya Vijay	Neumáticos fuera de uso	Método cuantitativo	Revista Facultad de Ingeniería	Scielo	Construcción
Estudio experimental de microaglomerado asfáltico antiderrapante modificado con NFU	2002	Argentina	Gerardo Botasso y Adrián Segura	Neumáticos fuera de uso	Método cuantitativo	Obras y proyectos	Scielo	Construcción

Tabla 2: Año de publicación de documentos seleccionados

Año de publicación		
Año	Cantidad de documentos	Porcentaje
2002	1	4%
2011	1	4%
2012	4	16%
2013	2	8%
2014	1	4%
2016	1	4%
2017	5	20%
2018	7	28%
2019	3	12%
Total	25	100%

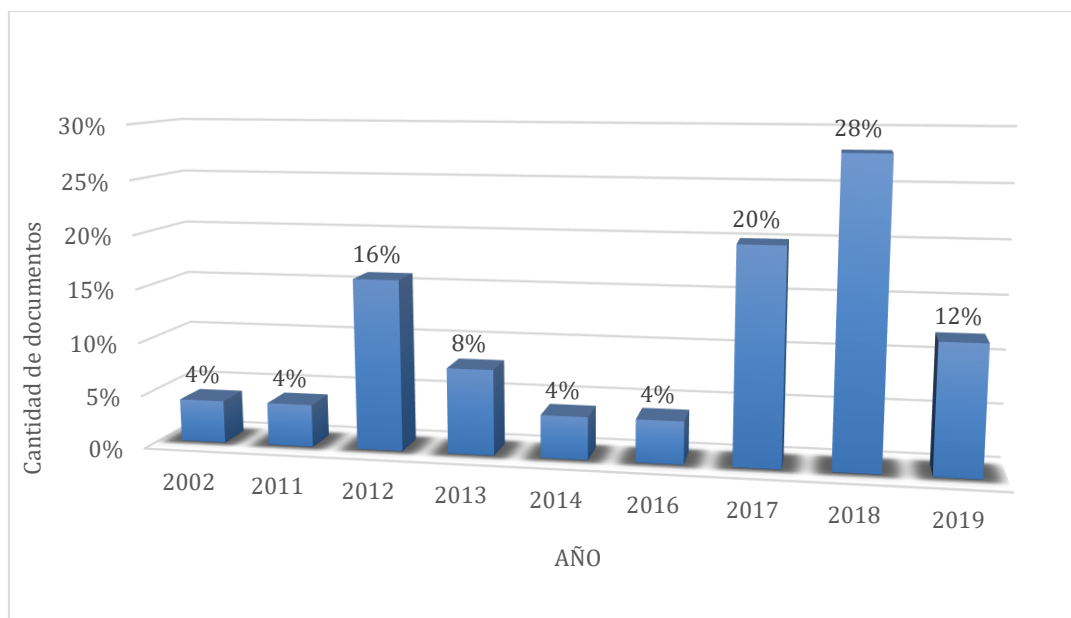


Figura 1. Año de publicación

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la figura 1 que la investigación sobre la problemática de los neumáticos fuera de uso, tiene antecedentes de estudio de aproximadamente 17 años, siendo una referencia el año 2002, ya que se pudo encontrar un artículo en dicha fecha, desde el año 2016

se dio un incremento de investigación, notándose así que en el 2018 hubo mayor auge, eso demuestra que está causando controversia en la actualidad y se aprecia que en lo que va del presente año 2019 continúa la tendencia creciente de análisis.

Tabla 3: *Lugar de publicación de documentos seleccionados*

Lugar de publicación		
Lugar	Cantidad de documentos	Porcentaje
Argentina	4	16%
Chile	1	4%
Colombia	7	28%
España	5	20%
Estados Unidos	1	4%
México	1	4%
Otros	3	12%
Perú	2	8%
Brasil	1	4%
Total	25	100%

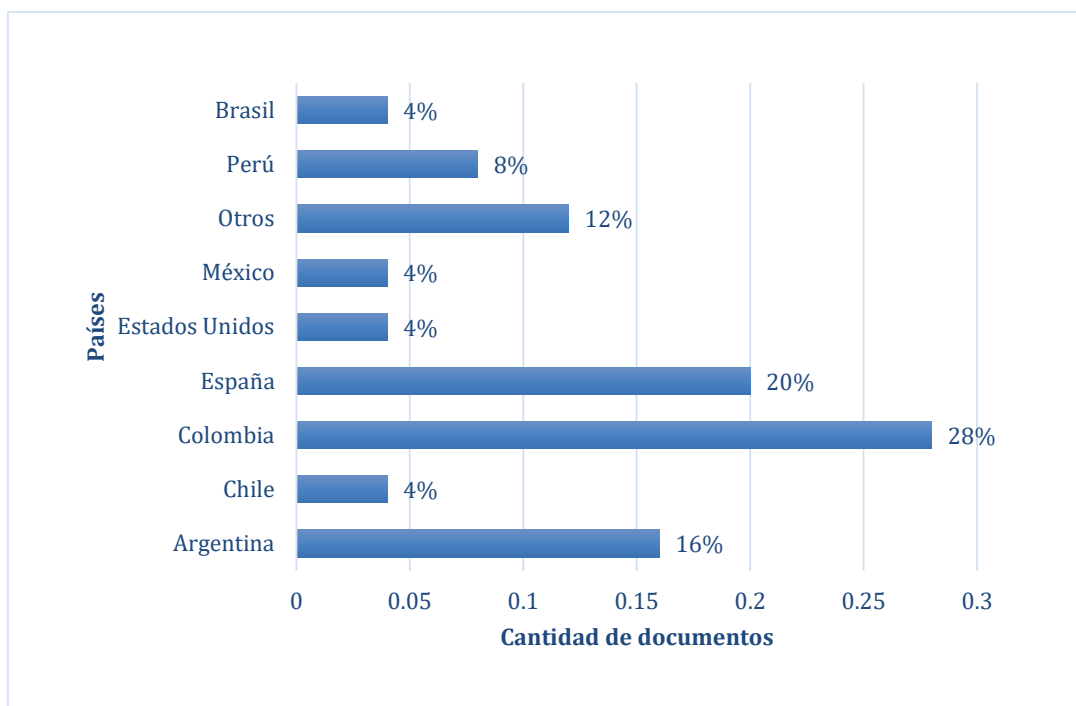


Figura 2. Lugar de publicación

Fuente: Elaboración propia

Colombia fue el país latinoamericano en el que se pudo encontrar mayor cantidad de material de investigación sobre el tema en análisis, como se observa en la figura 2, representando un 28% del total de artículos encontrados, Argentina también resalta con un 16%, Perú y Chile representan la minoría ya que no se logró encontrar mucha evidencia de investigación procedente de estos países. En Europa observamos que el país que resalta con un 20% en investigación de caucho en desuso, fue España, también se pudo hallar indicios de investigación en países como Polonia, Túnez, e Indonesia.

Tabla 4: Metodología aplicada en los documentos seleccionados

Metodología aplicada		
Metodología	Cantidad de documentos	Porcentaje
Método cualitativo	10	40%
Método cualitativo y cuantitativo	5	20%
Método cuantitativo	10	40%
Total	25	100%

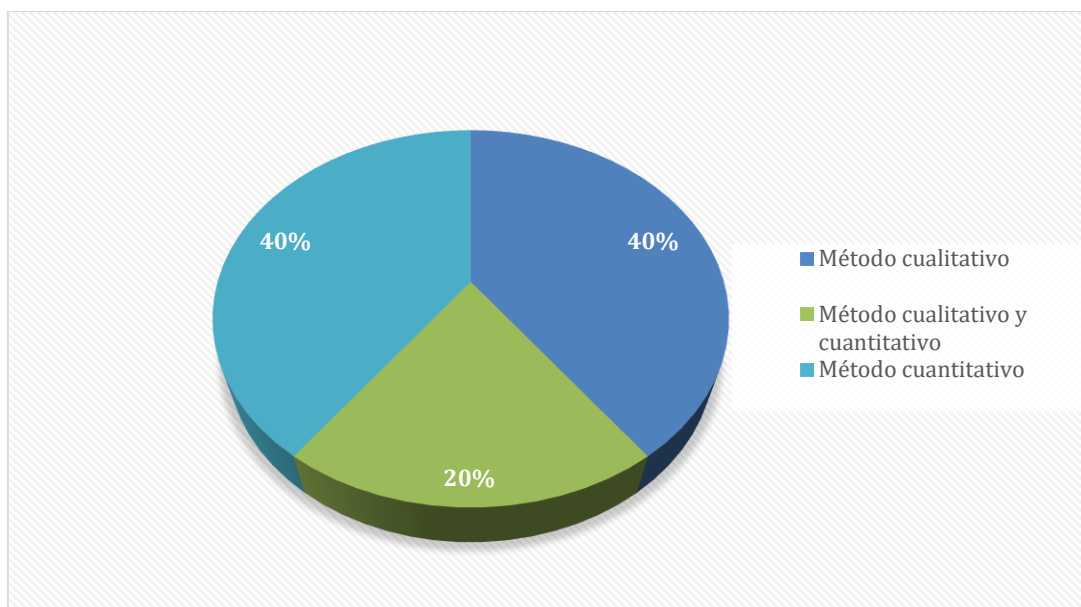


Figura 3. Metodología aplicada en los documentos seleccionados

Fuente: Elaboración propia

Se evaluó qué metodología fue utilizada en cada artículo, para ver el nivel de investigación cualitativa, metodología cuantitativa o si están utilizando ambas. Se observa en la figura 3 que el porcentaje de metodología cualitativa es de 40% al igual que la cuantitativa, siendo en menor porcentaje la utilización de ambas con 20%. Esto indica que hay una creciente investigación teórica y práctica sobre los NFU, dichos resultados fueron importantes

para la investigación cualitativa realizada, ya que permitió obtener un mayor estado de arte de los NFU con documentos de la misma naturaleza metodológica.

Tabla 5: Base de datos usada para encontrar documentos

Base de datos usada		
Base de datos	Cantidad de documentos	Porcentaje
Concytec	2	8%
Dialnet	4	16%
DIGITAL.CSIC	2	8%
IOP Science	1	4%
Redalyc	1	4%
REDIB	1	4%
Scielo	9	36%
ScienceDirect	4	16%
Sedici	1	4%
Total	25	100%

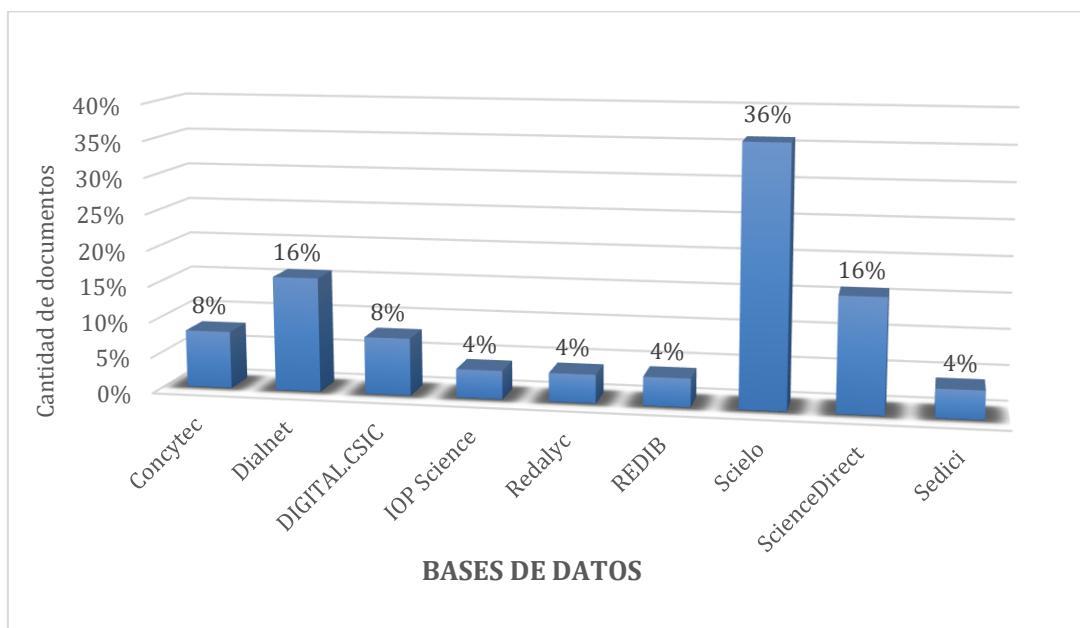


Figura 4. Bases de datos analizadas

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la figura 4 nos indican que la base de datos con mayor número de artículos encontrados sobre el tema seleccionado corresponden a Scielo, con un porcentaje de 36%, esta base de datos está orientada a compilar revistas científicas y es una muy buena opción para encontrar artículos relacionados a la disposición final de los neumáticos fuera de uso, Science direct y Dialnet continúan en el rango de porcentajes, ambas con un valor de 16%, a pesar de que esta última está destinada a investigación de otro tipo de ciencias, se pudo encontrar material que corresponde al tema elegido .

Tabla 6: *Rubro de aplicación de documentos seleccionados*

Rubro		
Rubro	Cantidad de documentos	Porcentaje
Construcción	11	44%
Industria	12	48%
Legislación	2	8%
Total	25	100%

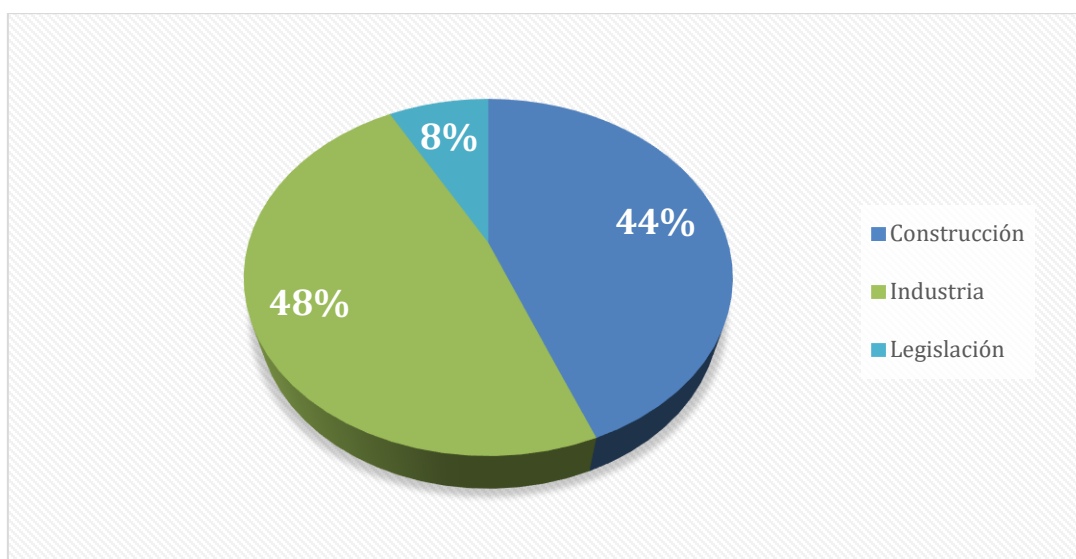


Figura 5. Rubro de aplicación

Fuente: Elaboración propia

Con este indicador se quiso analizar en qué forma se está demostrando las diferentes aplicaciones del caucho en desuso, se encontró 3 diferentes rubros en los artículos identificados, los cuales se encuentran representados en la figura 5 que corresponden al sector industrial representando el mayor porcentaje de 48%, en el que se toman en cuenta todo tipo de aplicación en las diferentes industrias como la del calzado, industria de caucho u otras, seguido del sector construcción con 44%, aquí se enfoca en la investigación de métodos para reutilizar el caucho y aplicarlo en hermetizado acústico, elaboración de materiales utilizados para la construcción de carreteras, entre otros, por último con 8% legislación, donde se toma en cuenta los marcos legales de diferentes países referentes a la disposición final de NFU.

Tabla 7: *Palabras claves para identificar documentos*

Palabras claves		
Palabra clave	Cantidad	
	de	Porcentaje
	documentos	
Caucho en desuso	1	4%
Llantas en fuera de uso	3	12%
Logística inversa de neumáticos fuera de uso	2	8%
Neumáticos	1	4%
Neumáticos fuera de uso	10	40%
Neumáticos fuera de uso, caucho	2	8%
Reciclado de neumáticos fuera de uso	1	4%
Tires out of use	3	12%
Waste tires	2	8%
Total	25	100%

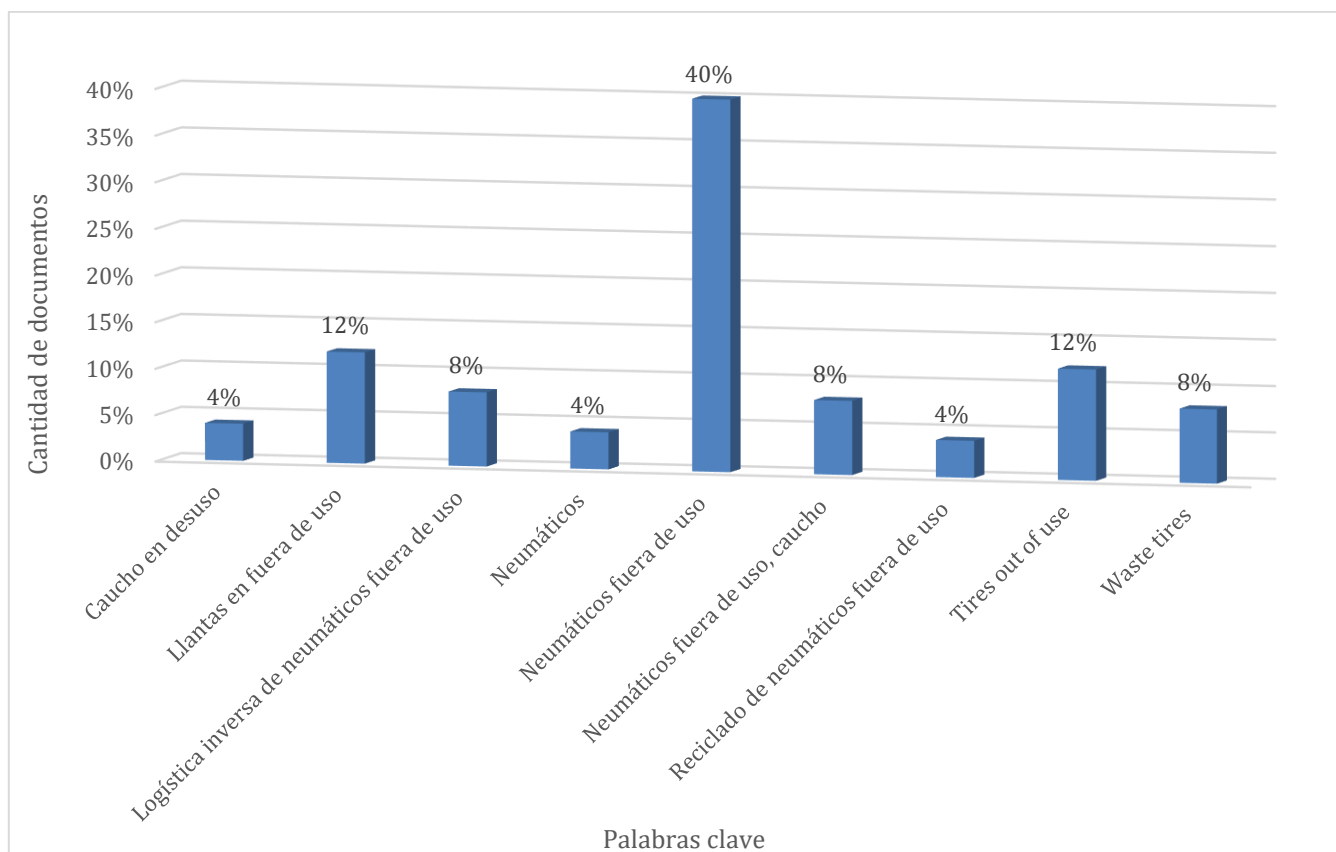


Figura 6. Palabras claves usadas para filtrar documentos

Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se evidencia que neumáticos fuera de uso, con un 40%, fue la palabra clave con la que se pudo encontrar la mayor cantidad de artículos, llantas fuera de uso contribuyó con el 12%; se trató de realizar una búsqueda más específica con palabras como “economía circular de neumáticos fuera de uso” o “logística inversa de llantas fuera de uso”, pero los resultados se anulaban, por lo que no se pudo realizar un filtrado de información específico, sólo se pudo encontrar artículos en las bases de datos con palabras comunes como llantas y sus traducciones al inglés, pero los documentos en su mayoría eran irrelevantes para la investigación.

4.1.5. Caracterización del contenido encontrado

Para la selección de los textos más relevantes se decidió hacer un filtrado tomando en cuenta los indicadores analizados en la bibliometría con mayores valores porcentuales, se consideró al año de publicación como primer criterio, ya que nos proporcionará documentos con información más actualizada, siendo escogidos los años del 2017 al 2019, los siguientes criterios seleccionados según orden de importancia fueron, procedencia de la base de datos “Scielo y Dialnet”, Colombia y España como países de publicación, rubros industriales y de construcción, por último el método cualitativo, las palabras claves no fueron consideradas para la selección ya que no generan mucho impacto, solo fueron analizadas como limitación. Según los criterios de importancia se escogieron 3 documentos presentados a continuación:

Tabla 8: Selección de artículos relevantes del análisis bibliométrico

Nombre	Año	Lugar	Autor	Palabras clave	Metodología usada	Nº de referencias	Revista	Base de datos	Rubro	Aplicaciones
Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas	2017	Colombia	Santiago Camargo Rodríguez, Jessica Andrea Franco López, Vivian Lorena Chud Pantoja y Juan Carlos Osorio Gómez	Logística inversa de neumáticos fuera de uso	Método cualitativo y cuantitativo	16	Ingeniería y desarrollo	Scielo	Industria	Reciclaje de caucho por medio de coprocesamiento, reencauche y trituración mecánica
Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura	2017	Colombia	Gabriel Jaime Peláez Arroyave, Sandra Milena Velásquez Restrepo, Diego Hernán Giraldo Vásquez	Llantas en fuera de uso	Método cualitativo	80	Ciencia e ingeniería negroandina	Scielo	Construcción	Asfalto o cemento - Protección del medio ambiente - Recursos hechos con matriz polimérica
Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en un recurso	2018	España	Roberto Pérez Aparicio, Leticia Saiz Rodríguez	Neumáticos fuera de uso	Método cualitativo	11	Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros.	Dialnet	Industria	Caucho en polvo: Calzado, piezas de autos, etc. -Caucho granulado: Asfalto, pasto artificial, etc.

5. Un análisis de las ventajas, desventajas y limitaciones del método, así como las formas de superar estas limitaciones.

Una de las ventajas que se dio fue que se logró encontrar información relevante en diferentes países, ya que en estos se da la implementación progresiva de normativas relacionadas a la reutilización de los NFU; se tuvieron acceso a diferentes bases de datos lo cual hizo más fácil la obtención de documentos confiables, además de que al realizar el análisis bibliométrico se pudo identificar los documentos de mayor relevancia para la investigación, evitando la revisión innecesaria de los que no lo son.

Las desventajas que se generaron en la presente investigación surgieron debido a que existen escasos recursos de fuentes de información en Perú, para realizar la respectiva comparación, ya que no se realiza mucha investigación sobre el destino final de residuos de neumáticos, ni su reutilización óptima en otros procesos. Al momento de realizar la búsqueda de documentos para la bibliometría, se generó el inconveniente de no lograr una búsqueda adecuada, ya que las palabras claves colocadas no eran válidas en varias bases de datos, no existían documentos relacionados, por lo que se llegó a realizar un filtrado de documentos con palabras más comunes, abarcando así una amplia variedad de temas e incluso irrelevantes para la investigación, generando así una limitación de búsqueda.

Para eliminar la limitación de búsqueda de documentos relevantes, se debe optar por escoger palabras más concretas como “reciclaje de neumáticos” y delimitar correctamente el tema para que al leer los resúmenes se pueda seleccionar de manera rápida la relevancia del documento leído.

Capítulo iv

Análisis de resultados

- Se observa que Colombia es el país que tiene mayor cantidad de documentos de investigación relacionados a las óptimas aplicaciones de los residuos de neumáticos fuera de uso, a pesar de que su ley de responsabilidad para la correcta recolección de los neumáticos en desuso (Resolución n° 1326) se promulgó en el año 2017, en la figura 1, se observa que tuvieron mayor auge de investigación en el año 2012, lo que indica que no se necesitó una ley que condicione a las personas para tomar conciencia del impacto ambiental que genera la acumulación de los NFU. España es el segundo país con mayores documentos de investigación, se ve reflejado por su decreto 1619 dado en el año 2005, dando responsabilidad a los productores y consumidores sobre el correcto manejo de los NFU.
- La mayoría de empresas en la actualidad continúan con una gestión lineal de producción, es decir, extraen recursos, los producen, usan y luego los desechan, lo que provoca el agotamiento de dichos recursos, por lo cual se ha implementado un nuevo concepto, una técnica denominada “economía circular” en diferentes países, que consiste en convertir un residuo, como el caucho de los NFU, en un nuevo recurso para poder ser explotado en otros procesos productivos, así se crea una gestión circular de producción asegurando una correcta sostenibilidad (Pérez Aparicio, R. & Saiz Rodríguez, L. 2018).
- De acuerdo a los documentos seleccionados en el análisis bibliométrico, se puede observar la existencia de distintas aplicaciones idóneas, para la disposición final de los neumáticos fuera de uso, resaltando que en la mayor parte de la revisión documental, la inclusión de la miga de caucho para la elaboración de asfalto, fue considerada la más óptima para evaluar proyectos de pre-factibilidad. También se pudo observar que existen una tendencia creciente en la relevancia del tema, desde el 2017 hasta la

actualidad, así mismo, el rubro de industria y construcción contienen diversidad de aplicaciones como en la industria de calzado, para la elaboración de suelas, en la industria del caucho como el reencauche, es decir reutilización y en la construcción principalmente como producción de asfalto.

- En el análisis bibliométrico se pudo encontrar información de origen peruano, pero este representaba un 4%, es decir un porcentaje no significativo, mostrado en la figura 2, lo que nos permite constatar que la investigación de este tema en Perú, no tiene mucho impacto de relevancia, adicionando que las empresas se rigen solo con normativas legales y debido a que en el Perú no hay norma alguna sobre la gestión adecuada de neumáticos fuera de uso, no se da una correcta toma de conciencia sobre la problemática.

Capítulo v

Conclusiones y recomendaciones

1. Conclusiones

- Respecto al primer objetivo, este fue cumplido ya que mediante la investigación se pudo constatar que en el Perú no hay normativas legales que exijan responsabilidad para una correcta manipulación de NFU, mientras que en otros países a través del análisis de los documentos revisados se identificó que España, Argentina y Colombia dan el establecimiento de leyes específicas para la adecuada gestión de sus residuos neumáticos, asignando una responsabilidad tanto a los productores como a los consumidores, esto se ve contrastado en el análisis bibliométrico, ya que son los países que más investigación tienen sobre la disposición final de los neumáticos fuera de uso, generando planes de acción que contribuyan a una mejor gestión ambiental de su país, en Chile a pesar de que no existe normativa vigente, se da una óptima iniciativa que contribuye a las buenas prácticas.

- En relación a las propuestas de mejora sobre la problemática generada por la inadecuada acumulación de NFU's, el análisis bibliométrico contribuyó al cumplimiento de determinar las mejores aplicaciones de los NFU, en la revisión documental que se ejecutó, se pudo obtener que una de las mejores aplicaciones de los neumáticos fuera de uso en Colombia y España, fue generar un nuevo recurso para la elaboración de asfalto, que sirve para la construcción, la miga de caucho puede obtenerse por medio de trituración mecánica o por desvulcanizado, estos procesos pueden ser diseñados e implementados en el Perú, generando así una nueva forma de negocio.
- Se concluyó que es importante analizar los beneficios generados en el óptimo control de residuos de llantas fuera de uso, al reutilizarlas se logra eliminar la gestión lineal de los recursos, en la que se inicia con el proceso extractivo y culmina con la eliminación de los residuos sin importancia alguna; al implementar el concepto economía circular se logra la conversión de NFU en una nueva materia prima para otros procesos, esto no sólo hace una gran diferencia en cuanto a la gestión del ambiente y su correcta sostenibilidad, sino que también se genera una nueva alternativa de negocio sostenible y promoción de nuevos proyectos que benefician a los ingenieros industriales, ya que estos están a la vanguardia de nuevas innovaciones y a la puerta de nuevos proyectos.
- Según la compilación de información obtenida en la presente investigación se puede concluir que la acumulación de neumáticos fuera de uso (NFU) y su nulo tratamiento, son causa de un gran impacto ambiental negativo, ya que este material tiene un largo periodo de degradación, además cuando su destino final son botaderos origina un impacto social, debido a la transformación de estos en fuentes de infección y plagas, por lo cual es necesario que se tenga un manejo adecuado y que se asignen responsabilidades a los agentes involucrados, como los productores y consumidores, cosa que no se da en el Perú, se debería promulgar leyes que controlen esas responsabilidades para poder mitigar sobre los efectos negativos generados

actualmente y tomar conciencia de este impacto comenzando a tener acciones de reutilización de NFU.

2. Recomendaciones

- Debido a que existe una gran variedad de aplicaciones y propuestas de planes de mejora, se recomienda a aquellas personas interesadas en el tema de investigación, centrarse en buscar las mejores prácticas de países como Colombia o España ya que cuentan con mayor experiencia investigativa y demuestran la mejor gestión de NFU, para lo cual se necesita tener ingreso a bases de datos confiables para poder encontrar no sólo las aplicaciones de estos países, sino también las más reconocidas y aprobadas por revistas relevantes.
- Respecto al nivel de investigación, se sugiere que se pueda profundizar más, es decir poder lograr desarrollar de forma práctica las aplicaciones más relevantes encontradas en la presente investigación, como la elaboración de asfalto en la industria de construcción y poder plasmarlas en nuevas oportunidades de negocio para el Perú.
- En cuanto a la decisión de escoger los documentos que tienen mayor importancia y relevancia en la investigación, se aconseja tomar en cuenta el año de publicación como un criterio muy importante, ya que este es un indicador que demuestra si el tema forma parte de la controversia actual o si solo es un tema que tuvo un auge en el pasado, otro criterio que se debería tomar en cuenta es el rubro de aplicación ya que este determinara el sentido de la investigación.

Referencias

- Asociación de Bancos del Perú. (2018). *Buenos Vientos para la Industria Peruana*. Recuperado de https://www.asbanc.com.pe/Publicaciones/ASBANC_SEMANAL_299.pdf
- Banco Central de Reserva del Perú. (2019). *Actividad económica de enero de 2019*. Lima. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Notas-Estudios/2019/nota-de-estudios-23-2019.pdf>
- Cabeza, D. (2012). *Logística Inversa en La Gestión de La Cadena de Suministros*. Valencia: Marge Books.
- Camargo Rodríguez, S., Franco López, J. A., Chud Pantoja, V. L. y Osorio Gómez J. C. (2017). “*Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto ambiental de la producción y logística inversa de las llantas*”, *Ingeniería y Desarrollo*, 35 (2), 358-381. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.2.10165>
- Campana Cruz, K. O., Galeas Hurtado, S., & Guerrero Barragán, V. H. (2015). *Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores*. *Revista Politécnica*, 36(3). Recuperado de http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/513
- Castaño Ciro, N. (2012). *Incorporación de residuos de caucho vulcanizado pos industrial obtenido por trituración mecánica a mezclas puras de EPDM*. Maestría, Universidad EAFIT, Colombia. Recuperado de https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/240/Nelson_CastañoCiro_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec). (2016). *Programa Nacional Transversal de Ciencia y Tecnología Ambiental 2016 - 2021*. Lima: Comité de Formulación del Programa Nacional.

- Dhouib, D. (2014). *An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes*. *Omega the international journal of management science*, 42(1), 25-32 Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.02.003>
- Dinero (2017, abril 27). *El promisorio futuro del negocio de las llantas en Colombia*. Recuperado de <http://www.dinero.com/edicion-impresia/negocios/articulo/cifras-delmercado-de-las-llantas-en-colombia-2017/244544>
- Dirección General De Educación, Ciudadanía e Información Ambiental. (2018). *Distribución Nacional de los Rellenos Sanitarios Municipales*. Lima: Ministerio del Ambiente. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/distribucion-nacional-rellenos-sanitarios-municipales-2018>
- Dirección General de Políticas e Instrumentos de Gestión Ambiental. (2018). *Agenda Nacional de Acción Ambiental al 2021*. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/ANAA-al-2021-Propuesta-28.12.18-consulta-p%C3%BAblica.pdf>
- Don, D., & Doldán, J. C. (2010). *La logística Inversa como herramienta de la Gestión Ambiental*. Ciencia y tecnología, 8. Recuperado de https://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2012/cyt/numero10/10N_ISEU_CyT14.pdf
- Evaluación y Gestión Ambiental - Evagam S. A. C. (2014). *Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal*. Lima: Secretaria Técnica del Comité Editorial de la Dirección de Investigación e Información Ambiental.
- Galarza Contreras, E., Gabriel Alegre Chang, M., & Merzthal Yupari, G. I. (2016). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio*. Ministerio del Ambiente.

- García Quiroz, J. R., & Luna Victoria, A. M. (2016). *Propuesta de un sistema de Logística Inversa de Llantas inservibles para reducir el impacto Ambiental y gasto por consumo de combustible en el Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo*. Tesis de Pregrado, Perú. Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/11106/Garc%C3%ADa%20Quiroz%20Jos%C3%A9%20Rodrigo%20-%20Reyes%20Luna%20Victoria%20Alexandra%20Marlene.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Garea Moreda, B., et al. (2014). *Cambio Climático y Desarrollo Sostenible. Bases Conceptuales para la Educación en Cuba*. Habana, Cuba: Educación Cubana. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>
- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M. y Giraldo Vásquez, D. H. (2017) "Aplicaciones de caucho reciclado: una revisión de la literatura," Ciencia e ingeniería Neogranadina, vol. 27, no. 2, pp. 27-50. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143>.
- Lett, L. A. (2014). *Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular*. Revista Argentina de Microbiología, 46(1), 1-2. Recuperado el 01 de Mayo de 2019, de <http://www.redalyc.org/pdf/2130/213030865001.pdf>
- Magallanes Reyes, C. A., & Guillén Solari, I. C. (2014). *Informe de investigación N° 61/2014-2015: Experiencias en el tratamiento de neumáticos fuera de uso en Iberoamérica*. Lima. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/8825141B7F35F94F0525810C0070DA35/\\$FILE/275_INFINVES61_2014_neumatico.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/8825141B7F35F94F0525810C0070DA35/$FILE/275_INFINVES61_2014_neumatico.pdf)
- Meehan, J., & Bryde, D. (2011). *Sustainable procurement practice*. Business Strategy and the Environment, 94-106. doi:10.1002/bse

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible. (2017). *Resolución n° 1326*. Bogotá.
- Ministerio de la Presidencia. (2006). *Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso*. Boletín oficial del estado, páginas 352 a 357.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Decreto legislativo n°1278*. Lima.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2018). *Resolución Núm. 1.491*. Santiago: Diario Oficial de la República de Chile.
- Mujal Rosas, R., Marín Genescà, M., y Colom Fajula, X. (2017). Análisis de los diferentes tipos de desvulcanizado en la caracterización de nuevos materiales elastoméricos formados por la mezcla de estireno butadieno-caucho natural y mezclados con neumáticos fuera de uso (GTR). *AFINIDAD*, 78(580), 247-256. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/view/329807/420436>
- Olivares Carmona, D. (2016). *Planta de reciclaje de neumáticos de caucho*. Maestría, Post Grado Economía y Negocios Universidad de Chile, Chile, Antofagasta. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/140906/Olivares%20Carmona%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2018). *OEFA identifica 1585 botaderos informales a nivel nacional*. Lima: Oficina de Relaciones Institucionales y Atención a la Ciudadanía. Recuperado de <https://www.oefa.gob.pe/noticias-institucionales/oefa-identifica-1585-botaderos-informales-nivel-nacional>
- Ortiz Valdez, S. E. (2017). *Viabilidad de la Exportación del Caucho Granulado a Bolivia*. Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/1365/1/TESIS%20SHEYLA%20ORTIZ%20VALDEZ-NEG%20GLO.pdf>

- Patiño, L. V. y Rodríguez Ramos, M. A. (2017). *Llantas usadas: materia prima para pavimentos y múltiples eco aplicaciones*. Revista Ontare. 5, páginas.
Recuperado de
<https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/view/2004/1775>
- Pérez Aparicio, R. & Saiz Rodríguez, L. (2018) *Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en un recurso*. Madrid. España. Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros, 115 (730). Recuperado de <https://www.signus.es/wp-content/uploads/2018/04/reciclado-de-neumaticos-transformacion-de-un-residuo-en-un-recurso.pdf>
- Poder Legislativo Provincial. (2019). *Creación del Plan de Manejo Sustentable de Neumáticos Fuera de Uso- Ley 9143*. Mendoza.
- Prieto Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2017). *Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación*. Universidad de Navarra, TECNUN. Escuela de ingenieros, 1. Recuperado de
https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/53653/1/Economia_Circular.pdf
- Saldivar de Salinas, L. R. y Ferreira, R. L. (2018). *Dirección de Gestión Ambiental para Instituciones de Educación Superior. Año 2016*. Población y Desarrollo, 24 (47), 77 - 86. DOI: 10.18004/pdfce/2076-054x/2018.024(47)077-086
- Salvatiera Cerda, J. M. (2014). *Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta-Ayacucho*. Tesis, Universidad nacional de San Critobal de Huamanga. Obtenido de
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1042>