

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

MODELO PARA LA APLICACIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LA PRODUCCIÓN DE LLANTAS BASADO EN EL CICLO PHVA

MODEL FOR THE APPLICATION OF THE CIRCULAR ECONOMY IN THE PRODUCTION OF TIRE BASED ON THE PDCA CYCLE

Lady Alejandra Ruiz Peña
Profesional en Seguridad y Salud en el Trabajo
Bogotá, Colombia
est.lady.aruiz@unimilitar.edu.co

Artículo de Investigación

DIRECTOR

Mb. Ximena Lucía Pedraza Nájjar, Ph.D.

Doctora en Administración – Universidad de Celaya (México)
Magíster en Calidad y Gestión Integral – Universidad Santo Tomás e Icontec
Especialista en gestión de la producción, la calidad y la tecnología –
Universidad Politécnica de Madrid (España)
Especialista en gerencia de procesos, calidad e innovación – Universidad EAN (Bogotá D.C.)
Microbióloga Industrial – Pontificia Universidad Javeriana
Auditor de certificación: sistemas de gestión y de producto

Gestora Especialización en Gerencia Estratégica de la Calidad
Universidad Militar Nueva Granada
gerencia.calidad@unimilitar.edu.co; ximena.pedraza@unimilitar.edu.co



**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA ESTRATÉGICA DE LA CALIDAD
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAYO DE 2023**

MODELO PARA LA APLICACIÓN DE ECONOMÍA CIRCULAR EN LA PRODUCCIÓN DE LLANTAS BASADO EN EL CICLO PHVA

MODEL FOR THE APPLICATION OF THE CIRCULAR ECONOMY IN THE PRODUCTION OF TIRE BASED ON THE PDCA CYCLE

Lady Alejandra Ruiz Peña
Profesional en Seguridad y Salud en el Trabajo
Bogotá, Colombia
est.lady.aruiz@unimilitar.edu.co

RESUMEN

La producción de llantas es uno de los problemas de mayor impacto a nivel medioambiental, toda vez que la inadecuada disposición genera desaprovechamiento de recursos naturales, propagación de plagas, contaminación al ecosistema y afectación a la calidad de vida y bienestar de los ciudadanos, por tal razón, se encuentra necesario establecer un modelo de economía circular que permita aprovechar las llantas que cumplen con su vida útil, mediante un enfoque de gestión y mejora continua como lo es el ciclo PHVA; por lo que mediante el método de investigación exploratorio y descriptivo se indaga sobre el tema y se generan conclusiones a través de búsqueda, revisión, análisis bibliográfico, e identificación de normatividad aplicable a la gestión de llantas y economía circular aplicables a nivel nacional y distrital, posteriormente se lleva a cabo análisis de la estructura PHVA fundamentada en la NTC-ISO 14001 con el fin de construir el modelo para la aplicación de la economía circular en la producción de llantas basado en el ciclo PHVA, y obteniendo como resultado que dicho modelo busca promover el uso eficiente de los recursos, minimizando los residuos y la contaminación en los procesos empresariales.

Palabras clave: economía circular; ciclo PHVA¹; producción de llantas; ciclo de vida; 9R²; aprovechamiento de residuos.

ABSTRACT

The production of tires is one of the problems with the greatest impact at the environmental level, since the inadequate disposal generates waste of natural resources, spread of pests, contamination to the ecosystem and affectation to the quality of life and well-being of citizens, for this reason it is necessary to establish a circular economy model that allows to take advantage of the tires that meet their useful life, through a management and continuous improvement approach such as the

¹ Es un sistema que busca la mejora continua los procesos mediante cuatro etapas conocidas como el ciclo Planear, Hacer, Verificar y Actuar.

² Modelo económico se busca que el valor de los productos, materiales y recursos, mediante las técnicas de Repensar, Reducir, Re-proponer, Reparar, Restaurar, Remanufacturar, Reutilizar, Reciclar y Recuperar.

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

PHVA cycle; therefore, through the exploratory and descriptive research method, the subject is investigated and conclusions are generated through search, review, bibliographic analysis, and identification of regulations applicable to the management of tires and circular economy applicable at national and district level, subsequently, an analysis of the PHVA structure based on NTC-ISO 14001 is carried out in order to build the model for the application of the circular economy in the production of tires based on the PHVA cycle, obtaining as a result that this model seeks to promote the efficient use of resources, minimizing waste and pollution in business processes.

Keywords: circular economy; PDCA³ cycle; tire production; life cycle; 9R⁴; use of waste.

INTRODUCCIÓN

Actualmente los sistemas de producción y consumo, basados en el modelo tradicional de “extracción, producción, consumo y eliminación” o conocido como economía lineal, emplean grandes cantidades de recursos naturales, generando aumento desmedido en la producción de desechos, sin tener en cuenta las consecuencias en el medio ambiente, entre las que se encuentran cambio climático, contaminación y destrucción de los ecosistemas, entre otros.

Si bien, la economía lineal beneficia económicamente a las compañías, en los últimos años se ha generado una gran preocupación por la inadecuada disposición de residuos, teniendo en cuenta que, en el mundo se generan al año 2.010 millones de toneladas de desechos sólidos municipales y al menos 33% de ellos no se disponen adecuadamente (Banco Mundial, 2019), evidenciando los efectos de dicho modelo y desencadenando problemas no solo a nivel ambiental, sino de salud pública.

Un claro ejemplo de esto, se encuentra en la producción de llantas, que debido al tipo de material con el cual son fabricadas, su tamaño y el tiempo en que tardan en descomponerse, se

³ It is a system that seeks continuous improvement of processes through four stages known as the Plan, Do, Verify and Act cycle.

⁴ Economic model search that the value of products, materials and resources, through the techniques of Rethink, Reduce, Re-propose, Repair, Restore, Remanufacture, Reuse, Recycle and Recover.

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

consideran como residuos de manejo especial, donde solo el neumático en desuso puede tardar en degradarse hasta 1.000 años, así mismo, no se realiza una adecuada gestión de dichos elementos una vez finaliza su vida útil.

Anualmente se producen 1.5 billones de llantas a nivel mundial, mientras que en Colombia, según cifras de la DIAN en el año 2020 se importaron 1.350.000 llantas, de las cuales 958.500 terminaron en las calles y en rellenos sanitarios (Semana, 2021)., por tal razón, en Colombia desde el 2018 a través del Plan de Desarrollo Nacional se implementó la 'Estrategia Nacional de Economía Circular' en cumplimiento de Objetivos de Desarrollo Sostenible y el distrito dispone de normatividad para la recolección de llantas usadas y reciclaje, incentivando programas de posconsumo y jornadas de 'Llantatón', en diferentes localidades de la ciudad de Bogotá, recolectando más de 14.000 llantas usadas de bicicletas, motos, automóviles y camiones, en el año 2021 (Bogotá, 2022)., por parte de la secretaría de medio ambiente de esta ciudad.

Por lo que, la gran producción de llantas es uno de los problemas más grandes a nivel medioambiental, debido a su inadecuada disposición en espacios públicos, humedales, áreas protegidas y parques naturales, generando impactos como es el desaprovechamiento de recursos naturales, la propagación de plagas, proliferación de insectos y vectores transmisores de enfermedades, incendios y contaminación por quemas al aire libre emitiendo CO₂ (dióxido de carbono) a la atmósfera, lo que afecta la calidad de vida y bienestar de los ciudadanos, la conservación ambiental (protección de espacios públicos y reservas naturales), además de generar riesgos de seguridad vial e incumplimiento a la normatividad distrital y nacional.

Se debe tener en cuenta que dichos factores están en incremento, dada la demanda del sector automotriz, el crecimiento de las vías en países subdesarrollados, el fortalecimiento del sector empresarial, la falta de cultura ciudadana, ambiental y concientización para la

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

preservación de los recursos naturales y el medio ambiente, lo que hace necesaria la implementación de estrategias más eficientes para contrarrestar los impactos de esta industria.

Lo anterior evidencia la importancia de establecer un modelo y herramientas que contemplen la economía circular, permitiendo el aprovechamiento de residuos y reutilización de materiales en las diferentes etapas de producción y al finalizar la vida útil de las llantas, con el objetivo de lograr la preservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible (Marin, 2020)., fomentando una cultura de cuidado y prevención del entorno en el sector de alcance, así como los beneficios que podría traer a las diferentes empresas.

De manera que, para el planteamiento de dichas herramientas es pertinente aplicar el Ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), el cual consiste en un proceso lógico y por etapas, que posibilita el funcionamiento de los sistemas de gestión o procesos, así como la mejora continua al desarrollarse de manera periódica, las fases de dicho ciclo consisten en:

1. Planear: Contempla las actividades previas al desarrollo de los procesos, incluye diseño de procedimientos.
2. Hacer: Incluye el desarrollo o ejecución de todas las actividades que han sido diseñadas en la fase de planeación.
3. Verificar: Establece que las actividades ejecutadas deben ser verificadas frente a lo exigido en la fase de planeación.
4. Actuar: Se establece la toma de decisiones para mejorar las fallas identificadas e incorporarlas a la fase “planear” del siguiente ciclo. (Universidad Militar Nueva Granada, Sin año).

Con estas estrategias se puede estimular el cambio de los sistemas productivos, de esquemas lineales hacia modelos circulares. (Ministerio, 2019)., buscando un equilibrio entre la

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

economía y el ambiente, permitiendo aumentar los recursos disponibles y que puedan mantenerse por más tiempo en el ciclo productivo, así como reducir los impactos causados, mediante la incorporación de la fórmula de las 9R Repensar, Reducir, Re-proponer, Reparar, Restaurar, Remanufacturar, Reutilizar, Reciclar y Recuperar.

Considerando esto, se propone el diseño de un modelo para la aplicación de la economía circular en la producción de llantas basado en el Ciclo PHVA mediante: la identificación de requisitos legales, normas NTC-ISO y otros referentes aplicables para su desarrollo, el análisis de la relación entre la economía circular y el ciclo PHVA y el establecimiento de estrategias implementando el ciclo PHVA para el desarrollo y aplicación del modelo propuesto que permitan la sensibilización a las personas del sector de alcance.

MARCO TEÓRICO

Para la elaboración del presente artículo se toma como referencia las siguientes herramientas e información:

- **Ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar):** Es un ciclo que favorece a la ejecución de los procesos de forma organizada, entendiendo la importancia de ofrecer altos estándares de calidad (Zapata, 2015). Dicho modelo fue desarrollado por Edward Deming en 1950 y se conforma por las etapas de Planear, Hacer, Verificar y Actuar; este ciclo es un instrumento que se centra en la solución de problemas y fomentar su mejora continua a través del tiempo (Castillo, 2019).
- **Economía Circular:** Es un marco de soluciones sistémicas que afronta desafíos globales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, los residuos y la contaminación (Macarthur, s.f.), dicho modelo de producción y consumo asegura

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

un crecimiento sostenible en el tiempo, mediante la promoción y optimización de recursos, disminución de consumo de materias primas y el aprovechamiento de residuos. Este concepto contempla ciclos técnicos y biológicos.

- **9R:** La economía circular se basa en niveles como Repensar, Reducir, Re-proponer, Reparar, Restaurar, Remanufacturar, Reutilizar, Reciclar y Recuperar, para generar sostenibilidad en el medio ambiente. (Ministerio de Medio Ambiente, 2018).
- **NTC-ISO 14001:2015:** Sistemas de Gestión Ambiental, mediante la cual se proporciona a las organizaciones un marco de referencia para proteger el medio ambiente y responder a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas (Icontec, Norma Técnica Colombia NTC-ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental., 2015).
- **NTC – ISO 14040:2022:** Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia, la cual describe los principios y el marco de referencia para el análisis del ciclo de vida. (Icontec, s.f.).
- **NTC – ISO 14044:2021:** Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. Requisitos del ciclo de vida, la cual describe requisitos para el análisis del ciclo de vida, comprendiendo los estudios del mismo y los estudios de análisis del inventario del ciclo de vida. (Icontec, s.f.).
- **Ciclo de Vida:** Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto (o servicio), desde el momento que se adquiere la materia prima o su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final que se

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

contempla como en residuo. (Icontec, Norma Técnica Colombia NTC-ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental., 2015).

- **Llantas:** Las llantas están compuestas entre 45% y 80% caucho, 15% acero y entre 12 y 15% de otras fibras (República, 2018)., en donde el neumático, dependiendo del fabricante, puede incorporar caucho natural, caucho sintético, acero, nylon, sílice (derivado de la arena), poliéster, negro de carbón, petróleo, entre otros.
- **Marco Legal:** Se realiza identificación del marco legal aplicable en el tratamiento de llantas en Colombia y Bogotá.

Tabla 1:

Marco Legal relacionado con tratamiento de llantas

Norma	Ente Emisor	Descripción
Constitución política de Colombia de 1991	Asamblea Nacional de Constituyentes	<p>“Derechos fundamentales del ciudadano.</p> <p>Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectar. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <p>Artículo 80. El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. Para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo coopera con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.” (Constitución Política de la República de Colombia, 1991).</p>
Ley 9 de 1979	Congreso de Colombia	“Medidas sanitarias

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

Norma	Ente Emisor	Descripción
		Se dictan disposiciones para lograr la preservación del medio ambiente y la sanidad en el territorio colombiano.” (Congreso de Colombia, 1979).
Ley 1259 de 2008	Congreso de la República	<p>“Se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones.</p> <p>La finalidad de la presente ley es crear e implementar el Comparendo Ambiental como instrumento de cultura ciudadana, sobre el adecuado manejo de residuos sólidos y escombros, previendo la afectación del medio ambiente y la salud pública, mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos; así como propiciar el fomento de estímulos a las buenas prácticas ambientalistas.” (Congreso de la República, 2008).</p>
Ley 1333 de 2009	Congreso de la República	<p>“Se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.</p> <p>Se dictan disposiciones para el establecimiento de procedimiento sancionatorio ambiental, garantizando la efectividad de los principios y fines previstos en la Constitución, los Tratados Internacionales, la ley y el Reglamento.” (Congreso de la República, Secretaría del Senado, 2009).</p>
Decreto 2811 de 1974	Presidencia de la República	<p>“Código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.</p> <p>Se emiten disposiciones para el cuidado, preservación y manejo de los recursos naturales renovables también son de utilidad pública e interés social.” (Presidencia de la República, 1974).</p>
Decreto 4741 de 2005	Ministerio de Ambiente	<p>“Se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.</p> <p>En el marco de la gestión integral, el presente decreto tiene por objeto prevenir la generación de residuos o desechos</p>

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

Norma	Ente Emisor	Descripción
		peligrosos, así como regular el manejo de los residuos o desechos generados, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente.” (Ministerio de Ambiente, 2005).
Decreto 265 de 2016	Alcalde Mayor de Bogotá	<p>“Se modifica el Decreto Distrital 442 de 2015 y se adoptan otras disposiciones.</p> <p>Modificar el Decreto Distrital 442 de 2015 y se adoptan otras disposiciones.” (Alcalde Mayor de Bogotá, Cancillería, 2016).</p>
Resolución 1457 de 2010	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	<p>“Se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se adoptan otras disposiciones.</p> <p>La presente resolución tiene por objeto establecer a cargo de los productores de llantas que se comercializan en el país, la obligación de formular, presentar e implementar los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas, con el propósito de prevenir y controlar la degradación del ambiente.” (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo terr, 2010).</p>
Resolución 6981 de 2011	Secretaria Distrital de Movilidad – Secretaría Distrital de Ambiente	<p>“Se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados, y llantas no conforme en el Distrito Capital.</p> <p>La presente resolución establece los lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usados y de llantas no conforme en obras de infraestructura del transporte urbano: vías vehiculares, peatonales, ciclovías, puentes, túneles, etc. del Distrito Capital.” (Secretaria Distrital de Movilidad – Secretaría Dis, 2011).</p>
Resolución 1326 de 2017	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	<p>“Se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se dictan otras disposiciones.</p> <p>La presente resolución 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</p>

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

Norma	Ente Emisor	Descripción
		y controlar la degradación del medio ambiente.” (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo terr, 2010)
Acuerdo 602 de 2015	Concejo de Bogotá	<p>“Se promueve la formulación del plan estratégico para el manejo, reutilización y aprovechamiento de llantas usadas en el distrito capital y se adoptan otras disposiciones.</p> <p>Promover las diferentes alternativas de reutilización y aprovechamiento de las llantas usadas en el Distrito Capital.” (Concejo de Bogotá, 2015)</p>
Circular 7 de 2013	Secretaria Distrital de Medio Ambiente	<p>“Se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usado, y llantas no conforme en el Distrito Capital.</p> <p>Cumplimiento a la Resolución 6981 de 2011 “Por la cual se dictan lineamientos para el aprovechamiento de llantas y neumáticos usado, y llantas no conforme en el Distrito Capital.” (Secretaria Distrital de Medio Ambiente, 2013)</p>

Nota: Identificación de marco legal en Colombia y Bogotá relacionado con el manejo de llantas, tabla de elaboración propia, a través de información consultada en los links de referencia.

MÉTODOS

La metodología empleada en la elaboración del presente artículo corresponde a una investigación exploratoria, dado que el propósito corresponde a indagar sobre un tema poco examinado con el fin de concluir o de obtener nuevas perspectivas, así como posibles soluciones, mediante el análisis de diversos puntos de vista y establecimiento de hipótesis que permitan llegar a una conclusión; también se emplea el método descriptivo, identificando las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos, personas, la sociedad o situación en particular, sin tener en cuenta las razones que lo produjeron,. (Mar, Barbosa, & Molar, 2020).

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

En razón de lo anterior y con el fin de dar a conocer los resultados, se desarrolla el tema de investigación basándose en la búsqueda y revisión de fuentes secundarias de información, así como análisis de normatividad vigente, sin encontrar referentes relacionados al modelo para la aplicación de economía circular en la producción de llantas basado en el ciclo PHVA, por lo que se sugiere que el modelo aquí expuesto constituye un primer aporte en el tema de investigación planteado. A continuación, se detallan las estrategias de trabajo empleadas:

1. Búsqueda, Revisión y Análisis Bibliográfico:

Revisión y análisis de fuentes secundarias como lo son estudios del sector, universidades, entes reguladores, bases de datos, referencias bibliográficas, entre otros; enfocados en la producción, problemas y mecanismos de control para gestionar la adecuada disposición de llantas de desecho y la importancia de la economía circular (Hernández, 2018).

2. Normatividad Vigente:

Identificación de normatividad vigente aplicable a nivel distrital y nacional, para el manejo y control de llantas (Hernández, 2018).

3. Análisis de Estructura PHVA:

Reconocimiento de la estructura del Ciclo PHVA y cobertura en el proceso de economía circular para llantas, fundamentado en norma NTC – ISO 14001:2015 Sistemas de Gestión Ambiental.

4. Construcción de Modelo:

Elaboración de modelo para la aplicación de economía circular en la producción de llantas basado en el ciclo PHVA, considerando la estructura de alto nivel de la norma NTC – ISO 14001:2015 Sistemas de Gestión Ambiental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La economía circular es un modelo de producción y consumo que busca reducir los residuos y la contaminación mediante la técnica de las 9R (Repensar, Reducir, Re-proponer, Reparar, Restaurar, Remanufacturar, Reutilizar, Reciclar y Recuperar), aplicada a los materiales y productos existentes todas las veces que sea posible, con el fin de extender el ciclo de vida de los productos (Europeo, 2023). Por lo que, mediante el modelo de economía circular de Ellen MacArthur, el cual se centra en la eliminación de residuos y contaminación, el diseño de productos y sistemas para la reutilización, del mismo modo que la regeneración de los sistemas naturales; permitiendo contribuir a la protección del medio ambiente, basándose en tres principios fundamentales:

1. Eliminación de Residuos y Contaminación:

Este principio hace referencia a la eliminación de residuos y emisiones en los procesos empresariales, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. (MacArthur, Ellen MacArthur Foundation, s.f.)

2. Circular los Productos y Materiales (en su Valor más Alto):

Este principio se enfoca en el diseño de productos y sistemas que permitan la reutilización de materiales y componentes, prolongando así su vida útil y reduciendo la necesidad de extraer nuevos recursos. (MacArthur, Ellen MacArthur Foundation, s.f.)

3. Regenerar la Naturaleza:

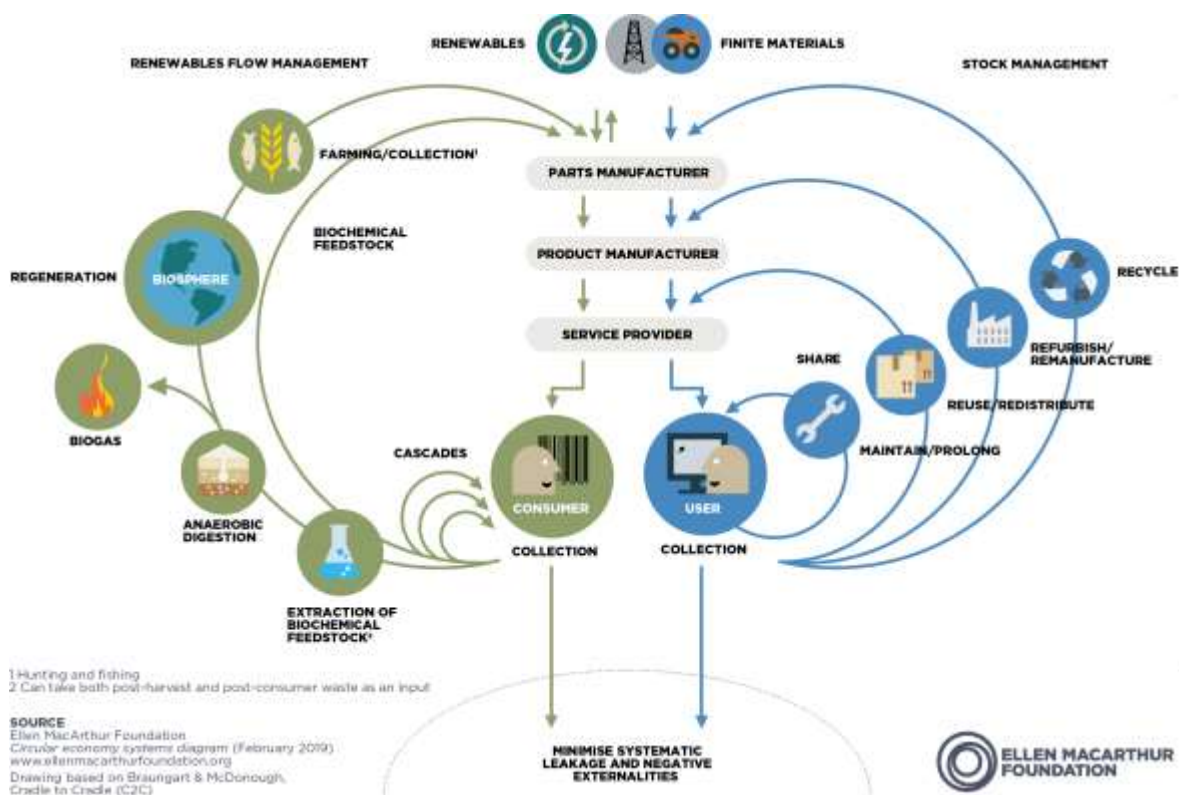
Este principio se dirige a la restauración y regeneración de los sistemas naturales, promoviendo así la resiliencia y la sostenibilidad a largo plazo. (MacArthur, Ellen MacArthur Foundation, s.f.).

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

De tal manera, este proceso que se lleva a cabo mediante dos etapas esenciales, permitiendo así, que los materiales y productos se mantengan en circulación, la primera etapa es el ciclo técnico donde los productos no se degradan, sin embargo puede aplicarse la metodología de las 9R; la segunda etapa se denomina ciclo biológico, donde los materiales biodegradables se devuelven al suelo para regenerar la naturaleza, debido a que no se pueden reutilizar (MacArthur, Ellen MacArthur sobre los fundamentos de la economía circular, 2020)., dichas fases se contemplan a través del diagrama de mariposa, el cual ilustra el flujo continuo de los materiales en la economía circular.

Figura 1:

El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular



Nota: Diagrama de sistema de economía circular, mediante el cual se identifica el ciclo técnico y biológico (MacArthur, El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular).

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

Para objeto de la presente investigación se tomará como base la etapa del ciclo técnico del modelo de economía circular, buscando aplicar la técnica de las 9R en la producción de llantas e incorporar el modelo del ciclo PHVA, que sigue la metodología de Planear, Hacer, Verificar y Actuar, proporcionando un enfoque de mejora continua en los procesos, aumentar la eficiencia en la gestión de los recursos y reducir los residuos generados en la producción de llantas, por lo que en el contexto de la economía circular, el ciclo PHVA se aplicará de la siguiente manera:

1. Planear:

En esta etapa se trazan objetivos de economía circular e identifican los materiales de las llantas y recursos, estableciendo estrategias para minimizar los residuos y la contaminación. Se deben analizar los flujos de materiales y energía en el proceso de producción de llantas, identificando los puntos críticos donde se generan residuos y emisiones, proponiendo soluciones para reducirlos y devolverlos a la circularidad, a través de la aplicación de actividades tales como:

- **Reducir:** Identificar los procesos en los que se genera desperdicio de materiales en la producción de llantas, con el fin de elaborar un plan para reducirlos, posteriormente establecer objetivos específicos para disminuir el consumo de recursos.
- **Reutilizar:** Contemplar la probabilidad de reutilizar los materiales y recursos generados, mediante el establecimiento de un programa de reutilización y reciclaje, dando la posibilidad de devolverlos a la producción de llantas.

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

- **Reciclar:** Planificar el método de recolección y reciclaje de los residuos generados durante el proceso de producción de llantas, a través del establecimiento de un programa de reciclaje y separación de residuos.
- **Repensar:** Repensar los procesos de elaboración de llantas mediante la identificación de oportunidades de mejora y realizar los ajustes pertinentes en los mismos, lo que permite cambiar y dar lugar a beneficios en la gestión de residuos generados.

2. Hacer:

En esta etapa se implementan las soluciones identificadas en la etapa de planear. Las empresas de producción de llanta pueden adoptar diversas estrategias para promover la economía circular, como el diseño de productos que permitan:

- **Reparar:** Realizar reparaciones preventivas y correctivas para prolongar la vida útil de las llantas y reducir la necesidad de reemplazarlas, como por ejemplo el reencauche.
- **Remanufacturar:** Considerar la posibilidad de remanufacturar las llantas o componentes que ya no se usan, convirtiéndolos en nuevos productos o componentes.
- **Re-proponer:** Re-proponer los procesos de producción de llantas, con el fin de reducir el consumo de materiales y recursos, mejorando la eficiencia y minimizando los residuos durante la producción de las llantas.
- **Repensar:** Repensar los procesos de elaboración de llantas mediante la identificación de oportunidades de mejora y realizar los ajustes pertinentes en los

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

mismos, lo que permite cambiar y dar lugar a beneficios en la gestión de residuos generados.

Lo anterior permite aumentar la utilización de materiales reciclados en la fabricación de nuevos productos, la implementación de sistemas de gestión de residuos, así como la optimización del uso de los recursos; promoviendo y fomentando la participación de la comunidad y los actores involucrados como los consumidores y comercializadores de dicho producto.

3. Verificar:

En esta etapa se evalúa y mide el desempeño de las soluciones implementadas, así como su eficacia mediante la recolección y análisis de datos. Se deben medir y monitorear los procesos para identificar oportunidades de mejora, la evaluación de impactos ambientales y sociales en la producción de llantas, asegurándose de que están cumpliendo con los objetivos de la economía circular, permitiendo la aplicación de actividades tales como:

- **Reutilizar:** Contemplar la probabilidad de reutilizar los materiales y recursos generados en el proceso de producción de llantas, mediante el establecimiento de un programa de reutilización y reciclaje, dando la posibilidad de devolverlos a la producción de llantas.
- **Repensar:** Repensar los procesos de elaboración de llantas mediante la identificación de oportunidades de mejora y realizar los ajustes pertinentes en los mismos, lo que permite cambiar y dar lugar a beneficios en la gestión de residuos generados.

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

4. Actuar:

En esta etapa se toman acciones para mejorar continuamente el desempeño de los procesos, implementando soluciones que permitan reducir aún más los residuos y la contaminación, por lo que las empresas del sector de producción de llantas deben estar dispuestas a adaptarse y cambiar sus procesos para lograr una economía más circular, fomentando la innovación y la colaboración con otros actores impulsando el cambio, continuando con la mejora y eficacia de los procesos, por medio de actividades como:

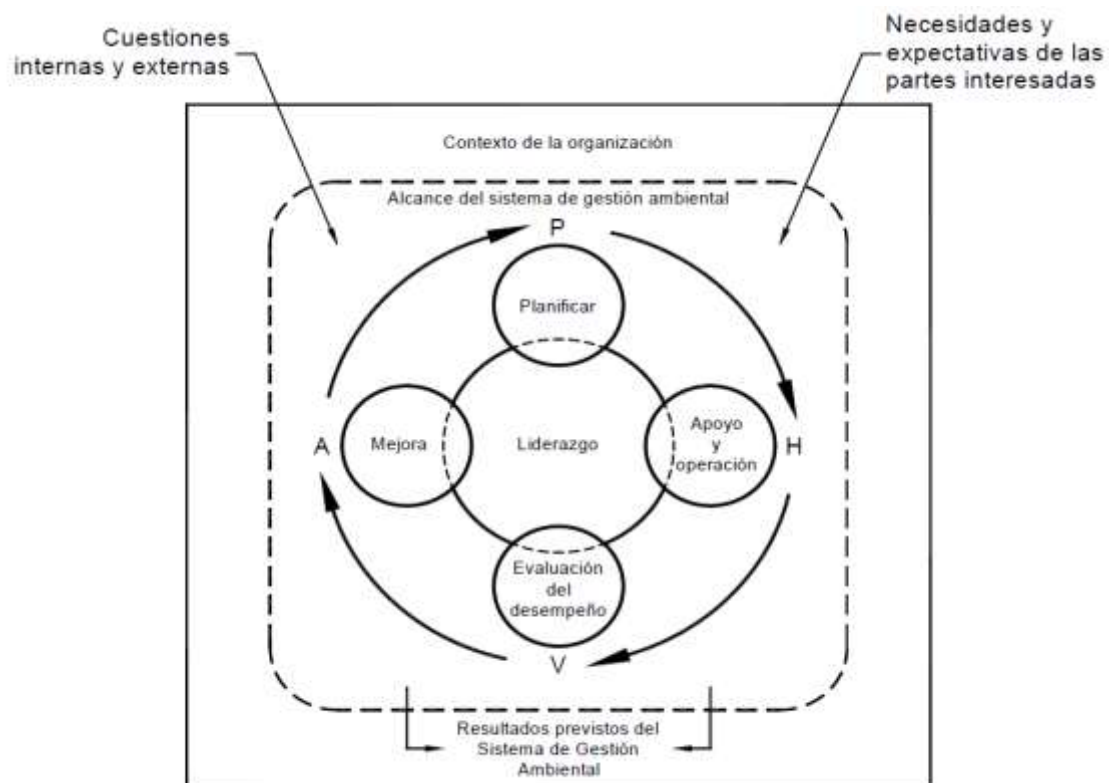
- **Restaurar:** Determinar si las llantas que han cumplido con su ciclo de vida útil son aptas para llevar a cabo una restauración o por si el contrario, se debe reciclar para formar otros productos o dar otras funciones.
- **Re-proponer:** Re-proponer los procesos o productos, con el fin de dar a la llanta que cumplió su vida útil, un uso distinto al original.
- **Reciclar:** Recuperar residuos (llantas), con el fin de que pueden ser reutilizados una vez han finalizado su vida útil.
- **Repensar:** Repensar los procesos de elaboración de llantas mediante la identificación de oportunidades de mejora y realizar los ajustes pertinentes en los mismos, lo que permite cambiar y dar lugar a beneficios en la gestión de residuos generados.

Por lo que, la aplicación de las 9R en cada fase del ciclo PHVA puede contribuir a la producción de llantas a mejorar la eficiencia de sus procesos, reducir los costos y minimizar el impacto ambiental generado por sus actividades. Este análisis se lleva a cabo tomando como punto de referencia la integración realizada por la Norma Técnica Internacional NTC-ISO 14001 y el modelo del ciclo PHVA, el cual se detalla en la siguiente imagen:

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

Figura 2:

Relación entre el modelo PHVA y el marco de referencia de la NTC – ISO 14001:2015



Nota: Ilustración del marco de referencia de la Norma Técnica Colombiana integrando el Modelo PHVA (Icontec, Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental., 2015).

De conformidad con lo anterior, se encuentra oportuno identificar el ciclo de vida de llantas, reconociendo los materiales que lo componen, los aspectos e impactos que generan en el medio ambiente:

1. Composición de las Llantas:

Dependiendo del objetivo y tipología de la llanta, puede componerse por más de 200 materiales, entre los que se encuentran acero, textiles, caucho natural, polímeros sintéticos, entre otros (Observatorio Nacional de Logística, 2022).

Tabla 2:*Composición de una llanta*

Material	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles % en peso	Camiones % en peso	
Caucho	48%	45%	Estructural -deformación
Negro humo	22%	22%	Mejora oxidación
Oxido de zinc	1,2%	2,1%	Catalizador
Materia textil	5%	0%	Esqueleto estructural
Acero	15%	25%	Esqueleto estructural
Azufre	1%	1%	Vulcanización
Otros	12%	-	Juventud

Nota: Se identifica el porcentaje de materiales que componen las llantas por tipo de vehículo y función que cumplen (Vega, 2020).

2. Comercialización de Llantas en Colombia:

Durante los años 2020 y 2021, Colombia realizó importaciones de llantas en mayor cantidad desde los países China, Brasil y Ecuador (Bancolombia, 2021), productos que son comercializados al interior del país; en la etapa de consumo las llantas pueden pasar por el proceso de reencauche hasta tres (3) veces (este proceso aplica para llantas de vehículos pesados) (Observatorio Nacional de Logística, 2022).

3. Disposición en Puntos de Recolección Autorizados:

Una vez se considera que finaliza la vida útil de la llanta, se debe disponer por el consumidor en los puntos habilitados por los Sistemas de Recolección Selectiva en el país, aportando a la adecuada recolección y gestión de llantas, dando cumplimiento a la normatividad legal aplicable al proceso, la cual fue identificada en la tabla 1 (Observatorio Nacional de Logística, 2022).

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

4. Entrega a Gestores y Aprovechamiento:

Posteriormente, los Sistemas de Recolección Selectiva realizan la entrega de las llantas a los gestores de llantas usadas, con el fin de llevar a cabo el proceso de aprovechamiento de las mismas e incorporarlas al ciclo económico y productivo del mercado. Actualmente en Colombia se manejan tres (3) métodos de aprovechamiento, como lo son el triturado, pirólisis y co-procesamiento. (Observatorio Nacional de Logística, 2022).

5. Comercialización y Uso de Subproductos:

A continuación, se relacionan algunos posibles usos para las llantas, una vez finalizan su vida útil en el sector:

- Producción de asfalto para construcción de carreteras.
- Uso en los sectores industriales y construcción, aplicado a materiales de cimentación, pisos industriales, aislamiento e impermeabilización, pistas de campos de aviación y suelas de zapatos, superficies para parques infantiles, entre otros.
- Otros usos, como superficies de canchas de fútbol sintéticas, tuberías agrícolas, macetas, artesanías, defensa de muelles, rompeolas, entre otros.

A continuación se realiza identificación gráfica del ciclo de vida de las llantas en Colombia, sin embargo, es oportuno tener en cuenta que este podría aumentar mediante la aplicación de buenas prácticas como lo son: el correcto almacenamiento, verificación de la presión interna, realizar inspecciones y mantenimientos oportunos, así como hacer uso del proceso de reencauche de la llanta en los casos en los que puede aplicar, con el fin de ampliar su vida útil.

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

Figura 3:

Ciclo de vida de las llantas



Nota: Reconocimiento del ciclo de vida de las llantas en Colombia (Observatorio Nacional de Logística, 2022).

Esto indica que la economía circular basada en el ciclo PHVA es un enfoque para proyectar un cambio en los procesos industriales, mediante la verificación y reestructuración de los procesos, así como el análisis del ciclo de vida de los productos, generando múltiples beneficios en aspectos económicos, sociales y ambientales, abordando retos mundiales como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, el incremento de residuos y de contaminación, sin dejar de lado la generación y búsqueda de oportunidades de crecimiento (Naciones Unidas, 2021).

Ahora bien, es pertinente establecer estrategias con el propósito de avanzar en los modelos económicos mediante la aplicación de la economía circular, actualmente en Colombia

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

se cuenta con *La Estrategia nacional de economía circular*, con el fin de promover la optimización de sistemas productivos con énfasis en el valor agregado de materiales e introduce nuevos modelos de negocio a partir de acciones colaborativas y compartidas (Colombia, 2019), por lo que se hace necesario dar a conocer al público de interés (productores y comercializadores de llantas) lo que se busca con estas directrices, con el objetivo de identificar obstáculos y oportunidades encaminadas hacia la economía circular.

Otros medios de sensibilización parten de: lo que se desea alcanzar con el establecimiento de este modelo, mediante la definición de actividades y recursos para el cumplimiento del objetivo planteado, midiendo el progreso y efectividad de las acciones; posteriormente implementar las actividades planificadas, realizar pruebas piloto y ajustar las actividades según los resultados obtenidos, estableciendo mecanismos de comunicación oportunos y efectivos, asegurando la difusión de la información y la participación activa de las personas del sector de alcance; una vez se obtengan resultados, realizar evaluación y análisis de mismos, identificando tanto brechas como oportunidades de mejora las cuales deben ser retroalimentadas; implementar las mejoras identificadas, comunicarlas, así como resultados obtenidos, continuar con el monitoreo y evaluación periódica para asegurar la efectividad del modelo, así como la sensibilización propuesta.

CONCLUSIONES

Se considera que el modelo de economía circular basada en el ciclo PHVA busca promover el uso eficiente de los recursos, minimizando los residuos y la contaminación en la producción y consumo de llantas, mediante la aplicación de estrategias con un enfoque

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

sistemático y de mejora continua, lo que impulsa al sector a ser más sostenible y responsable con el medio ambiente y la sociedad, mejorando su eficacia y reduciendo costos.

El ciclo PHVA y el modelo de economía circular de Ellen MacArthur son herramientas que al complementarse permiten a las empresas avanzar en la transición hacia un sistema económico más sostenible y eficiente en el uso de los recursos, toda vez que destacan el enfoque de mejora continua e innovación para lograr una economía más circular y sostenible.

Este modelo puede contribuir a la creación de un mundo más justo y equitativo, en el que las necesidades de las personas y del planeta estén en el centro de las actividades económicas, mediante un enfoque de sensibilización, dado que permite identificar oportunidades de mejora e implementación de soluciones para avanzar en la circularidad y sostenibilidad.

Teniendo en cuenta la normatividad aplicable a gestión de llantas en Colombia y las estrategias nacionales, las empresas del sector de producción de llantas y consumidores pueden aplicar técnicas de aprovechamiento, minimizando el nivel de impacto que genera al medio ambiente la circulación de este producto.

AGRADECIMIENTOS

A la vida por permitirme cumplir un logro más, a mi Madre por ser mi fuerza y motivación, y aunque no me acompañe en este plano, la llevo siempre en mi mente y corazón; a mi Padre por su apoyo. A la Universidad Militar Nueva Granada, a la Facultad de Ingeniería y a los profesores por aportar al crecimiento personal y desarrollo profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalde Mayor de Bogotá. (2016). *Cancillería*. Obtenido de https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/d_alcabog_0265_2016.htm
- Alcalde Mayor de Bogotá. (2015). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=63644>
- Banco Mundial*. (06 de 03 de 2019). Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/03/06/convivir-con-basura-el-futuro-que-no-queremos>
- Bancolombia, G. (23 de 09 de 2021). *Bancolombia*. Obtenido de <https://factoring.grupobancolombia.com/wps/portal/negocios/actualizate/comercio-internacional/venta-de-llantas-sector-automotor>
- Bogotá, A. d. (20 de 02 de 2022). *¿Cómo se aprovechan las llantas usadas como materia prima para nuevos productos?* Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/el-reciclaje-de-llantas-usadas-y-su-reutilizacion-en-nuevos-productos>
- Castillo, L. (2019). El modelo Deming (PHVA) como estrategia competitiva para realzar el. (U. M. Granada, Recopilador) Bogotá. Obtenido de [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/34875/CastilloPineda%20LadyEsmeralda2019.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20ciclo%20Deming%20\(PHVA\),y%20de%20ah%C3%AD%20en%20adelante.](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/34875/CastilloPineda%20LadyEsmeralda2019.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20ciclo%20Deming%20(PHVA),y%20de%20ah%C3%AD%20en%20adelante.)
- Colombia, G. d. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. Obtenido de https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf
- Concejo de Bogotá. (2015). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62825&dt=S>
- Congreso de Colombia. (1979). *Secretaría del Senado*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0009_1979.html
- Congreso de la República. (2008). *Secretaría del Senado*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1259_2008.html

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

Congreso de la República. (2009). *Secretaría del Senado*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1333_2009.html

Constitución Política de la República de Colombia. (Julio de 1991). *Secretaría del Senado*. Obtenido de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html#1

Europeo, N. P. (22 de 02 de 2023). *Noticias Parlamento Europeo*. Obtenido de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20circular%20es%20un,de%20los%20productos%20se%20extiende>.

Hernández, R. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: McGraw Hill.

Icontec. (s.f.). Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-iso-gestion-ambiental-analisis-de-ciclo-de-vida-requisitos-y-directrices-requisitos-del-ciclo-de-vida-ntc-iso14044-2021.html>

Icontec. (s.f.). Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-iso-gestion-ambiental-analisis-de-ciclo-de-vida-principios-y-marco-de-referencia-ntc-iso14040-2022.html>

Icontec. (2015). *Norma Técnica Colombia NTC-ISO 14001 Sistema de Gestión Ambiental*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

Macarthur, E. (s.f.). *¿Qué es una economía circular?* Obtenido de Ellen Macarthur Foundation: <https://ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision-general>

MacArthur, E. (12 de 02 de 2020). Ellen MacArthur sobre los fundamentos de la economía circular. (J. Iles, Entrevistador) Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=NBEvJwTxs4w&t=130s>

MacArthur, E. (s.f.). *El diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular*. Ellen MacArthur Foundation. Obtenido de <https://ellenmacarthurfoundation.org/es/el-diagrama-de-la-mariposa>

MacArthur, E. (s.f.). *Ellen MacArthur Foundation*. Obtenido de <https://ellenmacarthurfoundation.org/es/temas/presentacion-economia-circular/vision->

ECONOMÍA CIRCULAR BASADO EN EL CICLO PHVA

Secretaria Distrital de Movilidad – Secretaría Dis. (2011). *Alcaldía de Bogotá* . Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=45358&dt=S>

Semana, R. (16 de 4 de 2021). En Colombia, cada año 950.000 llantas usadas van a parar a la basura. *Semana*. Obtenido de <https://www.semana.com/economia/inversionistas/articulo/en-colombia-cada-ano-950000-llantas-usadas-van-a-parar-a-la-basura/202129/>

sostenible, M. d. (2017). *Min ambiente* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-1326-de-2017.pdf>

Universidad Militar Nueva Granada. (Sin año). *Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin_desktop.php?path=Li4vb3Zhcy9hc3NvL2dlc3Rpb25fZGVfbGFfY2FsaWRhZl9l9zYWx1ZF9vY3VwYWNPb25hbC91bmlkYWRFMS8=#slide_7

Vega, M. (2020). Iniciativs nacional para el reciclaje de llantas en Colombia. Bogotá. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7844/1/233203-2020-I-GA.pdf>

Zapata, A. (2015). Ciclo de la Calidad PHVA. Bogotá: Comité editorial de la Editorial Universidad Nacional de Colombia.