



EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO GENERADO POR
EL APROVECHAMIENTO DE LLANTAS USADAS EN EL DESARROLLO VIAL
DE NIVEL LOCAL EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

Carlos Andrés Rey Coral
Marlyn Andrea Riveros Moreno

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2019

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO GENERADO
POR EL APROVECHAMIENTO DE LLANTAS USADAS EN EL
DESARROLLO VIAL DE NIVEL LOCAL EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

Carlos Andrés Rey Coral
Marlyn Andrea Riveros Moreno

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para
optar al título de:

Magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

MSc Alejandro Echeverri Rubio
Administrador de Empresas

Línea de Investigación:

Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia

2019

“No se puede llegar al alba sino por el sendero de la noche”

Khalil Gibran

Agradecimientos

Por TODO y a TODOS los que estuvieron presentes en este proceso...GRACIAS! Especialmente a TITA mi hermana, lo mejor de mi vida y a mi compañero de esta ruta, Andrés el buen amigo que gané.

Andrea

A los que siempre han creído en mí, mis padres, mi esposa y a la luz de mi vida, Alejandro, mi hijo, gracias por estar e impulsarme a seguir. A Andrea, mi compañera en este camino.

Andrés

Resumen

El crecimiento demográfico en Bogotá ha incrementado la afectación de manera negativa directa o indirectamente de diversos recursos en la ejecución de obras que promuevan el desarrollo de las ciudades, tales como intervención de malla vial, proyectos habitacionales entre otros; de lo anterior se deriva un alto pasivo ambiental relacionado con las actividades de extracción de materiales de construcción en los cerros orientales.

Por otro lado el crecimiento del parque automotor en la ciudad de Bogotá ha traído entre otras consecuencias el incremento de la generación de llantas usadas; conllevando a que se presenten deficiencias y dificultades en la gestión de este tipo de residuo convirtiéndose en una problemática de índole ambiental para varios sectores de la ciudad; en la actualidad el 25% de la generación total de llantas usadas de la ciudad son gestionadas de manera correcta lo que repercute en que el porcentaje restante sean dispuestas en espacio público generando con esto exposición de las comunidades vecinas a riesgos como incendio, proliferación de vectores transmisores de enfermedades y detrimento de la seguridad pública, un nivel bajo comparada con lo que ocurre en otros países, en EEUU por ejemplo, se recicla aproximadamente el 90% de las llantas usadas.

Teniendo en cuenta que existe legislación aplicable a la gestión de este tipo de residuo (Llantas usadas) la demanda de productos o subproductos derivados del aprovechamiento de este aún es insuficiente por cuanto es importante analizar alternativas de uso en otras aplicaciones a las ya contempladas en la normativa vigente.

Abstract

The demographic growth in Bogotá has increased the negative impact directly or indirectly of diverse resources in the execution of works that promote the development of the cities, such as intervention of road mesh, housing projects among others; The above results in a high environmental liability related to the extraction of construction materials in the Eastern hills.

On the other hand, the growth of the motor park in the city of Bogotá has brought among other consequences the increase of the generation of used tires; leading to deficiencies and difficulties in the management of this type of waste, becoming an environmental problem for various sectors of the city; At present 25% of the total generation of used tires of the city are managed in a correct way which affects that the remaining percentage are arranged in public space generating with this exposure of the neighboring communities to risks like Fire, proliferation of vectors transmitting diseases and detriment of public safety, a low level compared to what happens in other countries, in the US for example, approximately 90% of the tires used are recycled.

Bearing in mind that there is legislation applicable to the management of this type of waste (used tires) The demand for products or by-products derived from the use of this is still insufficient because it is important to analyze alternatives of use in other Applications to those already contemplated in the current legislation.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1 CONTEXTO DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.4 JUSTIFICACIÓN	20
1.5 OBJETIVOS.....	23
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	23
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	23
2 MARCO DE REFERENCIA	24
2.1.1 <i>Desarrollo Sostenible</i>	26
2.1.2 <i>Ciclo de Vida</i>	31
2.1.3 <i>Economía ambiental</i>	36
2.1.4 <i>Legislación ambiental</i>	42
2.1.5 <i>Legislación Distrital Llantas usadas</i>	49
3 METODOLOGÍA	53
3.1.1 <i>EVALUACIÓN AMBIENTAL</i>	54
3.1.2 <i>EVALUACIÓN ECONÓMICA</i>	61
3.2 <i>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</i>	64
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1 <i>ANÁLISIS CICLO DE VIDA</i>	65
4.2 <i>VALORACIÓN ECONÓMICA</i>	75
4.2.1 <i>MÉTODO DE CAMBIO DE PRODUCTIVIDAD</i>	75
4.2.2 <i>Flujos de caja</i>	78
4.2.3 <i>Costo Anual Equivalente</i>	82

4.3	MÉTODO COSTO DE ENFERMEDAD Y CAPITAL HUMANO.....	82
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
5.1	CONCLUSIONES	88
5.2	RECOMENDACIONES	91
6	ANEXOS.....	93
7	REFERENCIAS.....	102

Lista de figuras

Figura 1 Gestión de llantas usadas para el aprovechamiento como insumo en el desarrollo vial local en Bogotá.	67
--	----

Lista de Diagramas

Diagrama 1 Entradas y Salidas del aprovechamiento de las llantas usadas como insumo en el desarrollo vial local en Bogotá.	68
---	----

Lista de Anexos

ANEXO I MATRIZ DE IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES .	93
ANEXO II MATRIZ VICENTE CONESA.....	101

Lista de tablas

Tabla 1	Escala parámetro Intensidad. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017.....	55
Tabla 2	Escala Parámetro Extensión. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017.....	56
Tabla 3	Escala parámetro Sinergia. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017	56
Tabla 4	Escala parámetro Persistencia. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017.....	57
Tabla 5	Escala parámetro Efecto. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017	57
Tabla 6	Escala parámetro Momento. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017	58
Tabla 7	Escala parámetro Acumulación. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017.....	58
Tabla 8	Escala parámetro Recuperabilidad. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017.....	59

Tabla 9 Escala parámetro Reversibilidad. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017	59
Tabla 10 Escala parámetro Periodicidad. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017	60
Tabla 11 Escala de magnitud de la Importancia del Impacto. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017	60
Tabla 12 Costos de atención médica. Fuente: "Costos económicos de la infección respiratoria en un Municipio de Colombia" (Bernal Aguirre , Carvajal Sierra , & Alvis Zakzuk, 2017)	63
Tabla 13 Ecalas salariales. Fuente: "Costos de Enfermedades respiratorias asociadas al Humedal Jaboque" (Pulido Gutierrez , Delgado, & Garzón , 2018).....	64
Tabla 14 Análisis Precios Unitarios Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.....	77
Tabla 15 Análisis Precios Unitarios Escenario 2. Fuente: Elaboración propia.....	78
Tabla 16 Valores flujo de caja de los dos escenarios. Fuente: Elaboración propia.....	79
Tabla 17 Valores del CAUE par los escenarios 1 y 2. Fuente: elaboración propia.....	82
Tabla 18 Costos por servicio médico. Fuente: Elaboración propia.	83
Tabla 19 Costo total por atención médica IRA Fontibón. Fuente: Elaboración propia.....	84

Tabla 20 Costo total de restricción médica por IRA Fontibón. Fuente: Elaboración propia.	86
--	----

Lista de símbolos y abreviaturas

AA	Aspecto Ambiental
ACV	Análisis del Ciclo de Vida
ANDI	Asociación Nacional De Empresarios de Colombia
BySA	Bienes y Servicios Ambientales
ETRMA	Asociación Europea de Fabricantes de Neumáticos y gomas
GCR	Granulado de Caucho Reciclado
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
IDU	Instituto de Desarrollo Urbano
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IRA	Infección Respiratoria Aguda
MET	Materiales Energía y sustancias Tóxicas
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RMCAB	Red de Monitoreo y Calidad del Aire de Bogotá
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SDH	Secretaría Distrital del Hábitat
SDS	Secretaría Distrital de Salud
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
UAESP	Unidad de Administración Especial de Servicios Públicos
UNFPA	Fondo de Población de las Naciones Unidas
VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las diferentes culturas a lo largo de la evolución de la humanidad ha conllevado a que el hombre perfeccione habilidades de adaptación en la cual ha producido fenómenos antrópicos cada uno diferenciado de acuerdo a las necesidades subsanadas según el momento de la historia lo que ha conseguido de manera acumulativa una importante modificación de las dinámicas ambientales. El desarrollo económico de la humanidad trae consigo una intrincada red de paradigmas que repercuten en el comportamiento social en busca de elevar su calidad de vida. Nuestros modelos de crecimiento económico, social y demográfico son responsables de múltiples fenómenos antrópicos que se traducen en cambios de las condiciones de la dinámica y las interrelaciones de la biósfera tanto a nivel global como local. La modificación de los ecosistemas y de estructuras geomorfológicas en la ciudad de Bogotá se ha manifestado expresamente en un pasivo ambiental, entendiendo este como:

“...obligación que se origina en pérdidas significativas de bienestar o riesgos inminentes para las personas, que se presentan como consecuencia del detrimento de los recursos naturales renovables, cuando éste detrimento supera los niveles social, técnica o legalmente aceptables y ha sido causado por una actividad minera.” (CEPAL, 2016)

Uno de los aspectos ambientales más significativos que genera una presión sobre los recursos importante es la generación de residuos, el porcentaje de municipios que cuentan a nivel de América Latina y el Caribe con planes de gestión de residuos está cercano al 19,8% siendo un porcentaje muy bajo, adicionalmente los costos asociados a la gestión presentan grandes diferencias estando estos entre un rango mínimo de USD 10 en países como Ecuador y máximo de USD 31 en Brasil. En la mayoría de la región los costos son

asumidos por las municipalidades y únicamente el 19.8% de estas cuentan con un plan de gestión de residuos sólidos.

Es importante recordar que dentro de los residuos sólidos existen varias clasificaciones y en este caso en particular nos enfocamos en un residuo sólido especial, las llantas usadas. Históricamente, las llantas han generado impactos negativos al medio ambiente, durante todo su ciclo de vida. En su proceso productivo se presentan exposiciones de compuestos orgánicos volátiles (VOC), derivados de algunos químicos manejados en las fases de elaboración, dentro de los que encontramos compuestos de Zinc, compuestos de plomo, compuestos de Níquel, compuestos de selenio, etilen-tioúrea, dietilamina, hidroquinona, fenol, alfa-naftilamina, p-fenilendiamina, Peróxido de benzoilo, amoniaco, entre otros. Debido a su difícil manipulación y al ocupar grandes volúmenes y no poder ser compactadas dentro de las celdas de los rellenos sanitarios su disposición final ha conllevado a que se presenten prácticas ambientalmente impactantes, tales como la quema para la extracción del acero de su estructura y el apilamiento en espacio público generando problemas sanitarios y de seguridad pública.

Aunque existen varios tipos de aprovechamiento de las llantas usadas las presiones a los recursos y los costos de implementación pueden llegar a convertirse en factores determinantes en la real aplicabilidad de las alternativas de aprovechamiento.

1 CONTEXTO DE INVESTIGACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El desarrollo territorial de nuestro país ha girado en torno a las grandes ciudades y debido a diferentes procesos que han generado movimiento migratorio hacia los grandes centros urbanos ha llevado a su crecimiento acelerado y en la mayoría de los casos sin ningún tipo de planificación.

Este comportamiento de crecimiento ha traído consigo el aumento considerable en la demanda de recursos que permita cubrir las necesidades básicas de los habitantes y a su vez las presiones sobre éstos recursos también se han incrementado significativamente. Dentro de los aspectos ambientales que presentan una relevancia especial se identifica la generación de residuos sólidos.

La unidad de análisis en particular de la presente investigación son las llantas usadas y dada la dificultad que se ha tenido para garantizar la adecuada gestión se han convertido en un problema de saneamiento en diferentes localidades de la ciudad.

La autoridad ambiental de Bogotá ha adelantado esfuerzos en pro de la mitigación de la situación actual referente a la disposición final en espacio público de las llantas usadas. Dentro de los trabajos se tiene el “DIAGNÓSTICO SOBRE EL MANEJO ACTUAL DE LAS LLANTAS Y NEUMÁTICOS USADOS POR EL PARQUE AUTOMOTOR DE BOGOTÁ RESUMEN EJECUTIVO” este estudio fue elaborado por la Unión Temporal OCADE/SANIPLAN/AMBIENTAL S.A. constituida por empresas de Colombia, Brasil y Argentina respectivamente. Este documento estima la generación de

llantas usadas de vehículos (automóviles, camionetas, camiones) particulares y de servicio público. Adicionalmente incluye la evaluación de cuatro tipos de aprovechamiento y se ahonda en la alternativa de una planta de trituración, para la obtención de granulado de caucho reciclado.

Cabe anotar además que por parte de la misma autoridad se lleva a cabo la publicación y divulgación de la “GUÍA PARA EL MANEJO DE LAS LLANTAS USADAS”

El propósito de la guía es concientizar a cada uno de los usuarios de llantas de su responsabilidad en la conservación de los recursos naturales, y lograr, a su vez, que incorporen en sus actividades cotidianas, sencillas prácticas de manipulación, como pueden ser: una adecuada operación de su vehículo, la aplicación de técnicas de mantenimiento preventivo para las llantas y la disminución de los impactos deteriorantes del ambiente con solo llevarlas a lugares donde se garantice su adecuada disposición desde el punto de vista ambiental. (Departamento Administrativo del Medio Ambiente, 2006)

Esta guía contiene información relacionada con el ciclo de vida de las llantas y su cadena de gestión, se citan aprovechamientos y alternativas tales como el reencauche, la trituración de las llantas y su aplicación en mezclas de asfalto modificado y usos artesanales. Cabe resaltar que la guía dedica su capítulo No. 7 a la identificación de los impactos ambientales asociados a las deficiencias en la gestión de las llantas usadas.

De manera particular en ese documentos se identifican riesgos específicos frente al almacenamiento fuera de estándar, “riesgo de incendios incontrolables en lugares donde se apilan gran cantidad de llantas sin la apropiada distribución

y medidas de control mínimas” (Departamento Administrativo del Medio Ambiente, 2006)

Dentro de los antecedentes de mayor significancia relacionado con el inadecuado manejo de llantas usadas se tiene el incendio ocurrido en el mes de noviembre del año 2014, en donde se presentó un evento de alto riesgo, “... el incendio que se desató el martes en una bodega en la que se almacenaban más de 600.000 llantas usadas, en la calle 14C con carrera 123, en la localidad de Fontibón.” (El Tiempo, 2014) Como consecuencia de este episodio se reportó que se:

...afectaron la calidad del aire de seis localidades (Fontibón, Puente Aranda, Teusaquillo, Barrios Unidos, Chapinero y Kennedy), las cuales fueron declaradas en Alerta Naranja, debido a las altas concentraciones de material particulado, que se duplicaron con respecto a un día normal, según las mediciones reportadas por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales , 2017)

Las condiciones de calidad del aire fueron monitoreadas con especial cuidado y atención incluso durante el año inmediatamente siguiente al suceso y de este suceso se desprenden investigaciones que buscaron determinar el nivel de afectación ocasionado en la zona de influencia directa del incendio.

Este suceso fue uno de los grandes detonantes que puso en evidencia el desconocimiento de las buenas prácticas emitidas por la autoridad ambiental competente de la época en el distrito capital y por tanto fortalece la necesidad de proponer alternativas de ampliación de fin de vida que permitan fortalecer la política ambiental en el tema, a nivel del Distrito Capital.

1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La generación de residuos sólidos asociados a los procesos de desarrollo social y económico de los territorios se ha presentado como una constante a lo largo de la historia. Dentro de uno de los residuos que han cobrado un papel protagónico por la dificultad de su gestión se identifica a las llantas usadas; es una problemática de orden mundial.

En Europa se generan anualmente 3.3 toneladas de llantas usadas (Williams , 2013), de las cuales aproximadamente un 7 % es utilizado en aplicaciones de ingeniería civil entre otros usos como combustible en hornos de cemento, reencauche de llantas. (Al-Rahbi & Williams , 2016), en el año 2003 en Estados Unidos se presentaba el apilamiento de 275 millones de llantas usadas y en México anualmente se generan 40 millones unidades (United States Environmental Protection Agency, 2010).

En Bogotá D.C. la generación anual de llantas usadas supera los 3 millones de unidades, de las cuales 900.000 son apiladas en espacio público (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015). Aunque en la actualidad la ciudad cuenta con un programa de pos consumo creado por la ANDI (Asociación de Empresarios de Colombia) denominado “Rueda Verde” el cual dispone actualmente con 92 puntos de recolección de llantas usadas (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 2011), resulta insuficiente para gestionar la totalidad de las llantas generadas en la ciudad y como consecuencia de la inadecuada disposición se presentan riesgos de incendio, quemadas a cielo abierto para la extracción del acero, proliferación de vectores y afectación al paisaje (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015) especialmente en 6 localidades de la ciudad Fontibón, Mártires, Puente Aranda, Barrios Unidos, Suba y Antonio Nariño. Estas localidades presentan una población que asciende a 2'311.069 habitantes

equivalente al 28.8% de la población total del Distrito Capital (Secretaría Distrital de Planeación, 2013).

Las llantas usadas están catalogadas como un residuo especial y esto se debe principalmente a que:

...a su forma y composición, las llantas fuera de uso no pueden ser fácilmente compactadas, ni se descomponen, por lo tanto las llantas fuera de uso consumen cantidades considerables de espacio en sitios de disposición. Por otra parte debido a su forma hueca, las llantas pueden atrapar aire y otros gases, lo que las convierte en aros, que con el tiempo, “flotan” a la superficie, rompiendo la cubierta de las celdas de disposición. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018)

Lo que no hace posible su disposición en rellenos sanitarios y por tanto se presenta el abandono de las mismas en espacio público lo que puede conllevar a riesgo de incendio y todas las implicaciones ambientales tales como la exposición a

partículas, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), dioxinas, furanos, cloruro de hidrógeno, benceno, bifenilos policlorados (PCBs) y metales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo y vanadio. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018)

1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Qué impacto ambiental y económico generaría la ampliación del fin de vida de llantas usadas, en su forma original, propuestas como insumo en el desarrollo vial de nivel terciario en la ciudad de Bogotá D.C.?

1.4 JUSTIFICACIÓN

Colombia no ha sido ajena a la dinámica global frente a la problemática de los residuos sólidos, actualmente se estima que tiene una producción del orden de

13,6 millones de toneladas correspondiente a residuos domiciliarios dentro de los cuales se identifican: i) residuos orgánicos correspondientes al 61% equivalente a 8.29 millones de toneladas, ii) papel, cartón, plástico, vidrio estos residuos representan el 20% igual a 2,72 millones de toneladas de empaques y envases, iii) otros como madera y metal los cuales son el 18,5% es decir 2,56 millones de toneladas, iv) residuos de construcción y demolición con un aporte de 22 millones de toneladas de escombros y v) residuos especiales compuestos por llantas usadas, muebles y colchones; de esta última clasificación no se cuentan reportes actualizados de generación a nivel nacional.

En Colombia existen 1112 municipios, de los cuales solo 1088 poseen reportes sobre el tipo de disposición que utilizan para sus residuos: 653 de estos lo hacen en rellenos sanitarios, ya sean regionales o no, 98 en plantas integrales y 337 municipios aun presentan disposición inadecuada de los mismos. (Noguera & Olivero, 2010)

Es importante resaltar que la gestión de residuos sólidos es una cadena de operaciones que involucra la sincronía de esfuerzos y recursos económicos, tecnológicos y humanos de sectores multidisciplinarios; por tanto se debe contar con un firme compromiso estatal frente a esta temática. En nuestro país se ha presentado una evolución en la definición de políticas de frente a la gestión de residuos con las que se ha buscado a lo largo de la historia legislativa en esa materia minimizar la problemática directa y controlar los impactos derivados de las actividades asociadas a la recolección, transporte y disposición final de los residuos, “En Colombia, como en la mayoría de países, el servicio de aseo es de carácter público y responsabilidad del Estado.” (Noguera & Olivero, 2010).

En el territorio nacional existen 57 rellenos sanitarios, 5 plantas integrales “(...) Realizan actividades de separación y acopio de materiales reciclables que después son vendidos o donados y reincorporados a la cadena productiva. Los residuos que no son reciclables se disponen en una celda o relleno que generalmente se ubica en el mismo predio.” (Departamento Nacional de Planeación, 2015); De los 57 rellenos sanitarios el 38% tiene una vida útil de 0-3 años, el 26 % entre 3-10 años y el 36% restante una vida útil superior a los 10 años. Es relevante destacar que el tiempo mínimo requerido para poder realizar las modificaciones de las autorizaciones, solicitud de permisos y demás trámites relacionados con el establecimiento de un relleno sanitario es de mínimo 3 años lo que indicaría que los municipios que disponen en rellenos pertenecientes al 38% que poseen esa vida útil podrían estar expuestos a una situación ambiental especial dado a que no cuentan con un lugar de disposición adecuada de sus residuos sólidos.

Debido a las características de nuestra economía el aprovechamiento de residuos y la incorporación de éstos en nuevos procesos productivos es una oportunidad de crecimiento tanto económica y social ya que se puede ver impactado de manera positiva puesto que se presenta la generación de empleo formal derivado de las actividades de separación, acondicionamiento, almacenamiento y transformación de residuos aprovechables y reciclables.

Actualmente a nivel Distrital en materia de gestión de residuos especiales, específicamente llantas usadas, la normatividad ambiental legal vigente propone varios tipos de aprovechamiento de estas; sin embargo la problemática asociada a la disposición final de éste tipo de residuo persiste en varias localidades de Bogotá.

Esta investigación tiene como propósito evaluar ambiental y económicamente el aprovechamiento de las llantas usadas en su forma original como insumo

constructivo en el desarrollo vial de nivel local de la ciudad, esto como alternativa de ampliación de fin de vida de las llantas usadas permitiendo analizar alternativas que puedan permitir el incremento en la eficiencia y la eficacia de la gestión de este tipo de residuo y permita su amplia reincorporación a nuevos procesos productivos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 *Objetivo general*

Evaluar el impacto ambiental y económico de la ampliación del fin de vida de llantas usadas, en su forma original, propuestas como insumo en el desarrollo vial de nivel local en la ciudad de Bogotá D.C.

1.5.2 *Objetivos específicos*

- Identificar los aspectos e impactos ambientales ligados al aprovechamiento de las llantas usadas en su forma original como insumo constructivo en el desarrollo de la malla vial de nivel local de la ciudad de Bogotá D.C.
- Evaluar los impactos ambientales asociados a las diferentes etapas del aprovechamiento de las llantas usadas en su forma original como insumo en la construcción en el desarrollo de la malla vial de nivel local en el Distrito Capital.
- Estimar el valor económico asociado al aprovechamiento de las llantas usadas en su forma original como insumo en el desarrollo de la malla vial local de Bogotá.

2 MARCO DE REFERENCIA

A nivel mundial la generación de residuos se encuentra ligada al desarrollo de actividades antrópicas y la gestión de estos puede verse influenciada por el grado de desarrollo del país, actualmente se busca cambiar los paradigmas y dentro de este proceso de cambio el análisis del ciclo de vida de los productos reviste gran relevancia ya que de esto depende el planteamiento de nuevas estrategias que permitan reintroducir en procesos productivos elementos considerados como residuos.

Debido a la composición de las llantas y sus características finales se convierte en un residuo de manejo especial que no permite su fácil disposición final en rellenos sanitarios pero características como: “dureza, solidez de la estructura, alto poder calorífico, alto carbono y sostenibilidad [...] Todas estas cualidades hacen del neumático una materia prima altamente recuperable, utilizado en muchas aplicaciones.” (Belabdelouahab & Trouzine, RESEARCH AND ENHACEMENT OF USED TYRES, SUCH AS MATERIA INNOVATIVE IN ALGERIA, 2014).

Sin embargo la legislación nacional no estipula ningún mecanismo de fomento de aprovechamiento y/o valorización según lo expuesto por la Resolución 1457 del 29 de julio de 2010; en el caso específico del Distrito Capital se cuenta con el decreto 442 del 9 de noviembre de 2015 que determina como opciones de aprovechamiento y/o valorización la producción de Grano de Caucho Reciclado (GCR) con el fin de ser utilizado en obras de infraestructura vial al interior de la ciudad, uso de este material en parques y el reencauchado de las llantas para que cumplan nuevamente su función inicial.

En el análisis de fin de vida de las llantas usadas a nivel nacional la valorización y/o aprovechamiento de este tipo de residuo es subestimado,

investigaciones en materia de obra civil han demostrado que sus valiosas características hacen de las llantas usadas un material versátil de amplia aplicación como mezclas asfálticas a las cuales le confiere atributos de mayor flexibilidad, incremento en casi tres veces la vida útil del material, mayor adherencia y reducción de ruido (ETRMA, 2015), en cuanto a estabilización de suelos mediante la adición de GCR se ha obtenido resultados que indican mejoras en la ductilidad, compresibilidad y permeabilidad llevándolos a niveles óptimos para actividades de cimentación en proyectos de ingeniería civil (Rahgozar & Saberian, 2016), por otra parte las llantas usadas en su forma original unidas entre sí formando una malla es utilizada en contención de taludes y gracias a su flexibilidad permite una mejor distribución de cargas (Belabdelouahab & Trouzine, RESEARCH AND ENHANCEMENT OF USED TYRES , SUCH AS A MATERIAL INNOVATE IN ALGERIA, 2014), adicionalmente este uso también puede aplicarse a proyectos de infraestructura vial, tal cual se viene adelantando en algunas regiones de USA (Mechanical Concrete, 2016).

Este modelo puede ser replicable en nuestro país como una alternativa orientada en primera instancia en la construcción, mantenimiento y/o adecuación de vías terciarias basado en la importancia que revisten para el desarrollo económico regional; la situación actual respecto a estas vías es: “existen cerca de 136.000 Km pero no se cuenta con información detallada sobre su estado ni sobre su distribución por municipio [...] La densidad de las vías terciarias es considerablemente más alta en los municipios del centro del país” (Villar & Ramírez , 2014); como características principales de este tipo de vías se tiene que: “son angostas y tienen fuertes pendientes, y sólo cerca de 1400 km están pavimentados” (Ospina Valle , 2016).

2.1.1 Desarrollo Sostenible

Según proyecciones del Fondo de Población de las Naciones Unidas, UNFPA, en el 2050 el planeta tendrá más de 9 mil millones de habitantes. Los cambios en la tasa de fecundidad, el aumento de la urbanización y la aceleración de la migración del campo a la ciudad son algunos de los factores que contribuyen a ese crecimiento.

Los países que como Colombia se encuentran en vía de desarrollo son para UNFPA los principales aportantes a ese panorama ya que contrario a los países desarrollados tienen una población joven y en edad fértil que duplicará en las siguientes tres décadas el número de habitantes. (UNFPA, 2014)

A esto se suman los altos niveles de urbanización. Se estima que en los próximos 30 años el 66% de la población mundial viva en ciudades. Según el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, en 2050, 6 mil 500 millones de personas, dos tercios de la humanidad, estarán asentadas en cabeceras urbanas. (PNUD, 2018)

Estas mega tendencias, que tendrán consecuencias para la humanidad a mediano y largo plazo, plantean un enorme reto: determinar con alcance global, partiendo de una visión local, cuál es el tipo de relación que debe existir entre las ciudades y el medio ambiente pues desde la ciudad se deben adoptar medidas para gestionar de forma apropiada el medio ambiente del ámbito urbano. (Velázquez Muñoz, 2012)

Al respecto, el PNUD plantea la necesidad de transformar radicalmente la forma cómo se construyen y administran los espacios urbanos en busca de lograr un desarrollo sostenible para la humanidad.

El término *desarrollo sostenible* aparece por primera vez de forma oficial en 1987 en el Informe Brundtland, presentado durante la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas. Allí se define como “la satisfacción de las necesidades presentes sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de suplir sus propias demandas” (Brundtland G. H., 1987).

Hoy, 31 años después, con más de cien definiciones, no hay un consenso sobre el significado de *desarrollo sostenible* y aparecen teorías diversas sobre qué es lo que debemos sostener de manera responsable: recursos naturales (Carpenter), niveles de producción mediante el uso de productos alternativos (Naredo, 1990), niveles de consumo (Redclift, Desperdiciado: Contando los costos del consumo global) el conjunto de factores y recursos que integran el ciclo productivo (capital humano, capital físico, recursos ambientales, etc.) (Bojo, Maler , & Unemo , 1990), o la continuidad de los ciclos y ritmos de la naturaleza protegiéndola de la acción humana (Shiva , 1989).

Pese a las diferencias en la definición, todas estas teorías tienen un punto de coincidencia: para lograr *desarrollo sostenible* los Estados deben implementar políticas que lleven a sus poblaciones al crecimiento económico garantizando el respeto por el medio ambiente y la igualdad social.

De acuerdo a esto, el *desarrollo sostenible* tendría tres dimensiones que, para la Unión Europea (Comisión de las Comuidades Europeas, 2001), son “indisociables”. Estas son la económica, la social y la medioambiental.

2.1.1.1 Dimensión económica

Para la corriente de economistas clásicos, el desarrollo tiene límites a largo plazo. El inglés Thomas Robert Malthus, considerado el padre de la demografía,

lideró una corriente de pensamiento que analizó en detalle la influencia del crecimiento poblacional en el acceso y la preservación de los medios que sirven para subsistir.

Según Malthus, mientras la población crece exponencialmente los recursos lo hacen aritméticamente (Malthus , Ensayo Sobre el principio de la Población, 1798); es decir, las personas se reproducen más rápido que los recursos naturales llevando a la sociedad a una pobreza progresiva por falta de recursos.

Casi un siglo después de este postulado, la crisis económica de 1973 (conocida como *Crisis del Petróleo*) puso en tela de juicio el modelo económico de crecimiento vigente para entonces (la naturaleza ofrecería de forma ilimitada los recursos físicos) y generó fuertes cuestionamientos sobre su compatibilidad con la preservación medio ambiental. Para teóricos del pensamiento neoclásico, "los efectos externos, entre los que destaca el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono, no son consecuencia de la escasez sino de la imprudencia e insostenibilidad características de los sistemas de producción" (Redclift, Desperdiciado: Contando los costos del consumo global, 1996)

Académicos europeos coinciden con esta postura y destacan la urgencia de crear una nueva forma de relacionamiento entre el hombre y la naturaleza en la que figuren criterios ambientales, económicos y socioculturales: "la sociedad actual asiste a un replanteamiento de los paradigmas clásicos de la economía y del desarrollo que se han mostrado ecológicamente depredadores, socialmente injustos y económicamente inviables; es decir, insostenibles" (Jimenez, 1996).

2.1.1.2 Dimensión social

Para los teóricos neoclásicos, el desarrollo solo puede ser sostenible si garantiza la satisfacción de las necesidades de los menos favorecidos, logrando que los recursos sean un factor de equidad y no, de segregación.

Para Redclift, "a menos que los pobres sean incluidos en la satisfacción de sus propias aspiraciones el desarrollo no será adecuadamente sostenible" (Redclift, Desperdiciado: Contando los costos del consumo global, 1996). Esto coincide en gran medida con uno de los ejes del Reporte Brundtland: "Se debe dar prioridad especial al concepto de 'necesidad', en particular, a las necesidades esenciales de los pobres del mundo" (Brundtland G. H., 1987).

Y cuando se habla de los "pobres del mundo" no necesariamente se refieren a sectores sociales particulares dentro de una Nación sino, más bien, a las relaciones político-económicas entre estados. Redclift calificó la dominación entre países como uno de los principales motivos de conflictos ambientales.

Así las cosas, la dimensión de *equidad social* tendría su principal enfoque en las prácticas de poder de países desarrollados sobre países en vía de desarrollo y es aquí donde aparecen conceptos como *deuda ecológica* (deuda acumulada por los países industrializados del Norte frente a los países del Sur global por el usufructo de sus recursos naturales, el daño ambiental y el aprovechamiento exclusivo del espacio ambiental como sumidero de sus residuos (Hoyos , 2009)) o *valoración ambiental* (métodos para medir las expectativas de beneficios y costes derivados del uso de un activo ambiental, una mejora ambiental o un daño ambiental (Azqueta, 2002) (Calderón , 2011)).

2.1.1.3 Dimensión medioambiental

En su dimensión medioambiental, el *desarrollo sostenible* supone una economía circular que imite los ciclos y ritmos de la naturaleza. "De allí se desprende la necesidad de crear sistemas productivos que usen únicamente recursos renovables que generen pocos o nulos residuos" (Daly, 1989).

A partir de esos postulados teóricos nacen herramientas prácticas como el *ciclo de vida*, orientado a controlar y reducir en la medida de lo posible, el impacto ambiental de los diferentes productos desde la extracción de sus

materias primarias hasta el tratamiento de los residuos que se generan cuando su vida termina.

El Sexto Programa Marco Comunitario de la Unión Europea (2001) cita por primera vez el término *Política de Productos Integrada*. Esta política se centra en las tres etapas que condicionan el impacto ambiental del ciclo de vida de los productos (Calderón , 2011) y que deben integrarse de manera uniforme para lograr que se configure la dimensión medioambiental. Estas son:

- Inclusión en los precios del coste ecológico: principio de "quien contamina paga" a la hora de fijar los precios, así el productor asumirá su responsabilidad en el uso de recursos naturales.
- Elección informada: mediante el etiquetado adecuado de los productos el consumidor tomará mejores decisiones.
- Diseño del producto de manera ecológica: mediante las herramientas de Inventarios del Ciclo de Vida y Análisis del Ciclo de Vida.

En 1996 Redclift aseguró que la humanidad debía ver el *desarrollo sostenible* como un nuevo camino de crecimiento y no, como un concepto adaptable al modelo económico existente. Un año después Naciones Unidas llamó la atención sobre la falta voluntad de los Estados a la hora de generar políticas sostenibles: "el progreso hacia un futuro global sostenible es demasiado lento. Falta un sentido de urgencia, nacional e internacional, y los fondos y la voluntad política son insuficientes" (PNUMA, 1997).

2.1.2 Ciclo de Vida

La búsqueda de mejores condiciones de vida y los diferentes procesos de globalización emprendidos por los humanos, han traído consigo múltiples consecuencias negativas a nuestro planeta, estas se ven representadas en variados aspectos relacionados con nuestros ecosistemas y como resultado se tienen modelos económicos de desarrollo orientados desde la perspectiva antropocéntrica, los cuales han generado presiones importantes sobre los recursos renovables y no renovables de La Tierra, modificando de manera drástica las dinámicas presentes en la biosfera y que cada vez son más evidentes para cada uno de nosotros. Como ejemplo de lo anterior, podemos citar el impacto actualmente más representativo para los seres vivos, el calentamiento global, que ha desencadenado múltiples situaciones que comprometen no solo la regulación térmica de los territorios sino que también comprometen otros factores como la regulación hídrica. En este sentido, los humanos hemos visto la necesidad de crear metodologías que permitan identificar la mayor cantidad posibles de variables dentro de los procesos productivos o productos ya terminados, con el fin de evaluar sus impactos a lo largo de todas sus etapas y así estimar la afectación o impactos generados.

Una de las metodologías que ha cobrado mayor fuerza es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el ACV básicamente considera la totalidad de los procesos requeridos para elaborar un producto y se tienen en cuenta los flujos de materiales y energía que intervienen en éstos.

2.1.2.1 Definición Ciclo de Vida

El ACV es específicamente una herramienta de gestión que:

...considera el ciclo de vida completo de un producto, desde la extracción y adquisición de la materia prima, pasando por la producción de energía y materia, y la fabricación, y el uso y el tratamiento final y la vida útil y la disposición final. A través de esta visión general y perspectiva sistemática, se puede identificar y posiblemente evitar la descarga de una carga ambiental potencial entre las etapas del ciclo de vida o los procesos individuales. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación , 2007)

El ACV tiene múltiples enfoques lo que permite que el análisis realizado tenga la misma cantidad de aplicaciones en una variada gama de actividades. La siguiente figura indica los enfoques orientadores y los principios en los que se basa el ACV.



Ilustración 1 Enfoques del ACV.

El ACV es un proceso metódico y sistémico que comprende 4 fases:

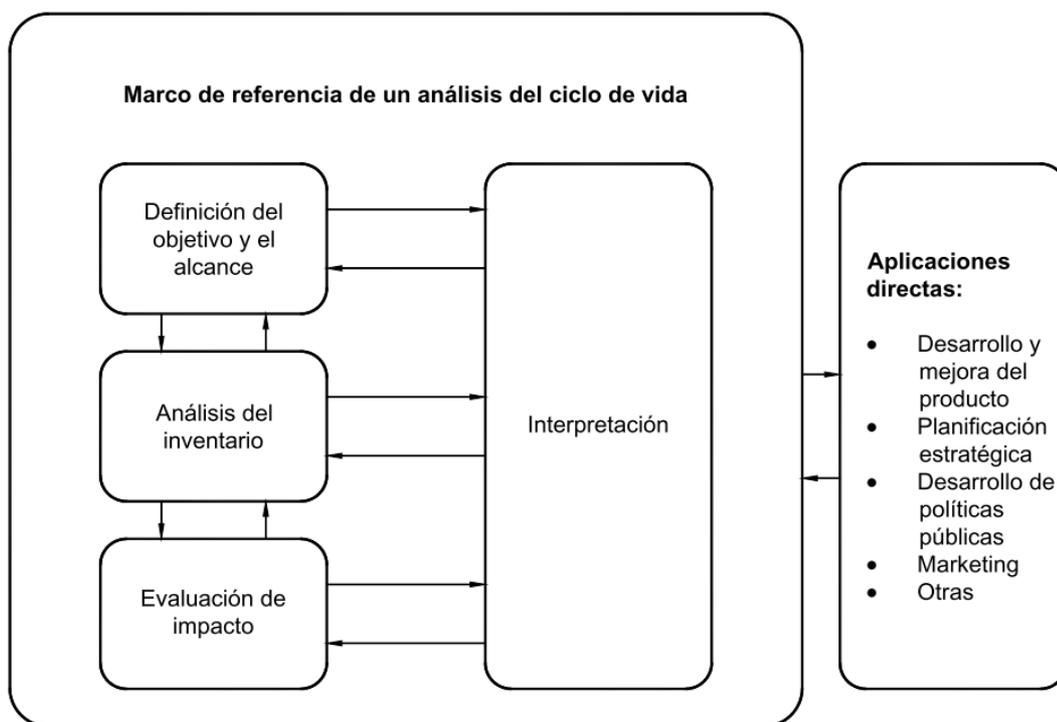
- **Definición del objetivo y del alcance:** dependiendo del objeto, el alcance puede variar, por lo tanto podemos encontrar los siguientes alcances:
 - a. De la puerta a la puerta: este alcance comprende únicamente el análisis de las actividades que comprende un proceso productivo.
 - b. De la cuna a la puerta: este tipo de análisis incluye los procesos de consecución, estabilización de las materias primas y todas las actividades relacionadas con el proceso productivo.
 - c. De la puerta a la tumba: analiza actividades del proceso productivo y la correspondiente gestión de los residuos generados en éste.
 - d. De la cuna a la tumba: este tipo de analiza inicia con la estabilización de las materias primas y finaliza con la respectiva gestión de los residuos generados en las actividades del proceso productivo.
 - e. De la cuna a la cuna: este último alcance comprende el análisis todas las fases del ciclo de vida del producto, incluyendo la gestión de los residuos al final de la vida y su reutilización como materia prima que reinicia el ciclo.
- **Análisis del inventario:** es un control de materia y energía del sistema, también es posible que dentro de este análisis se consideren otros aspectos. Por medio de este se busca obtener la cuantificación de las entradas y salidas del sistema estudiado, entendiendo como entradas las materias primas y las fuentes de energía y como salidas las emisiones al aire, al agua y al suelo, y los productos.
- **Evaluación de los impactos ambientales potenciales:** debe considerar la salud y seguridad de las personas, y las cargas

ambientales. Mediante este proceso se evalúan los efectos de las injerencias medioambientales identificadas en el inventario.

La SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993) considera que para realizar una correcta evaluación de impactos se deben tener en cuenta los siguientes tres pasos:

- *Clasificación*: Paso mediante el cual las entradas y salidas se asignan a distintas categorías de impacto, con base en el tipo de huella esperada sobre el ambiente.
 - *Caracterización*: Paso en el que se evalúa la contribución de cada entrada y salida en su categoría de impacto asignado y se totalizan las contribuciones dentro de cada categoría.
 - *Valoración*: Paso que puede ser cualitativo o cuantitativo, y en el que se pondera la importancia relativa de los diferentes impactos medioambientales.
- **Interpretación**: en base al análisis anterior, se debe identificar y evaluar medidas de mejoramiento que permitan reducir aquellos impactos de mayor relevancia.

Ilustración 2 Etapas del análisis de ciclo de vida. Fuente: (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS
TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN, 2007)



La profundidad con la que se aborda el Análisis de Ciclo de Vida puede variar teniendo en cuenta el objetivo y el alcance que se pretende abordar, así:

- ACV Completo: se realiza desde una perspectiva tanto cualitativa como cuantitativa y el nivel de detalle es mayor al abordar cada una de las etapas de análisis. Se contemplan la mayor cantidad de variables.
- ACV Simplificado: este tipo de análisis se lleva a cabo a etapas específicas del proceso. Se pueden utilizar datos genéricos y de esta manera realizar un análisis selectivo.
- ACV conceptual: a través de la utilización de datos generales y un análisis general con un énfasis cualitativo se identifican los impactos más significativos.

2.1.3 Economía ambiental

La economía y el desarrollo sostenible se encuentran estrechamente ligadas con la disponibilidad y calidad de los recursos naturales que requiere el hombre para satisfacer sus necesidades. Si bien durante varias décadas la degradación y el agotamiento de ciertos recursos fueron ignorados a la hora de analizar el desarrollo económico, varias corrientes de la economía han evolucionado en busca de integrar los conceptos de desarrollo y crecimiento económico con la disponibilidad, extracción, degradación y agotamiento de los recursos.

A finales del siglo XVIII se reconoce que “el hombre tiene su lugar en la gran cadena de los seres vivos y también se somete a las leyes de la naturaleza. De esa forma, la economía humana tiene la posibilidad de desarrollarse y enriquecerse, pero también debe permanecer sintonizada con la economía natural”. (Yu Chang, 2015).

El desarrollo industrial conllevó a que dicha perspectiva se modificará y se ejercieran cambios drásticos a las características de los recursos dado que se creían eran inagotables y por tanto carecían de valor alguno. El auge económico conocido como la ‘Edad de Oro’, comprendido entre las décadas de los años sesenta y setenta, se caracterizó por un incremento vertiginoso en la producción y en las modificaciones significativas a varios ciclos químicos de la biosfera. Ya en los años ochenta y noventa la degradación ambiental fue cada vez más evidente. Durante la ‘Edad de Oro’ se retoman teorías de años anteriores y surgen nuevas disciplinas tales como la Economía Ambiental y la Economía Ecológica, siendo esta última la que recapitula y logra “enfaticar la finitud de los recursos naturales en las propuestas de política de gestión ambiental.” (Yu Chang, 2015)

2.1.3.1 Valoración de Bienes y Servicios Ambientales (BySA)

El objetivo de la valorización de los BySA es “encontrar una unidad monetaria del valor económico generado por el flujo de bienes y servicios no mercadeables, derivados de los recursos naturales.” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003).

Los bienes ambientales “Son los recursos tangibles utilizados como insumos en la producción o en el consumo final y que se gastan y se transforman en el proceso, como madera, frutos, entre otros, que son utilizados por el ser humano para su consumo o comercialización” (Arias Mendoza); por otro lado los Servicios ambientales “Se definen como las posibilidades o el potencial que tienen los componentes de la estructura o función de un ecosistema para ser utilizados por el ser humano para algún fin concreto” Capítulo II (Ambientales).

El desarrollo de los territorios trae consigo implícito procesos tales como la formulación, maduración y ejecución de proyectos de diferente magnitud y naturaleza, esto involucra la intervención modificación y uso de diferentes recursos. Teniendo en cuenta que cada uno de estos genera de manera diferente presiones sobre cada componente, es pertinente de manera inicial hacer una evaluación ambiental de manera tal que puedan ser identificados los impactos ocasionados y así realizar un análisis económico teniendo en cuenta tanto los servicios como los bienes ambientales que se vean impactados. “El análisis económico, en comparación, es empleado para determinar si el beneficio económico total de un proyecto propuesto excede sus costos, y para ayudar a diseñar el proyecto de una manera que produce una sólida tasa de retorno económica” (Dixon & Pagiola , 1998).

Para llevar a cabo la correspondiente valorización económica es preciso realizar la correspondiente evaluación de impactos ambientales con y sin el proyecto en el área de influencia del proyecto.

Para la valorización económica se distinguen tres métodos los indirectos: i) método de los precios hedónicos, ii) método de los costos evitados o inducidos y iii) método de costos de viaje; por otra parte se tiene como método directo la valoración contingente.

El denominador común de todas estas metodologías es que intentan asignar un valor a los bienes y a los servicios ambientales de la forma en que lo haría un mercado hipotético, que luego, en caso de así deseárselo, permiten realizar una estimación de la función de demanda del bien o servicio ambiental en cuestión. (Cristeche & Penna, 2008)



Figura 1 Descomposición del VET y de los métodos de Valoración Económica asociados. Fuente (Cristeche & Penna, 2008)

En este sentido, se reconocen dos tipos de enfoques para realizar el análisis económico de impactos ambientales. En primer lugar, se considera la posibilidad de utilizar el criterio costo-beneficio estándar, comparando los beneficios y los costos asociados a una acción particular para determinar si vale la pena o no encarar la misma. Este enfoque se utiliza generalmente al comparar distintas alternativas o proyectos, para lo cual es preciso identificar los impactos ambientales asociados y asignar un valor económico a los resultados que se deriven de los mismos. Un ejemplo de ello puede ser el análisis de distintas tecnologías de tratamiento de agua y las mejoras en la salud de la comunidad que las mismas pueden generar. (Cristeche & Penna, 2008)

2.1.3.2 Método de costos evitados o inducidos

Este método corresponde al típico caso en que el bien o servicio ambiental bajo análisis no se comercia en el mercado, pero está relacionado con un bien que sí lo es, o sea, que posee un precio; y que el vínculo entre ambos radica en ser sustitutos en el marco de una determinada función de producción. (Cristeche & Penna, 2008)

Esta metodología busca básicamente lograr cuantificar los costos que una persona puede llegar a incurrir en la atención de eventos o actividades que puedan ser evitadas por los servicios eco sistémicos brindados por un recurso en particular en caso de presentarse alteración a éste.

Básicamente esta metodología podría aplicarse teniendo en cuenta dos escenarios posibles:

- Cuando el servicio ecosistémico es afectado, se hace necesario cuantificar los costos asociados a daños o consecuencias que deben ser asumidos por las comunidades del área de influencia directa o indirecta.
- El segundo escenario se presenta cuando se han realizado inversiones en la protección de los recursos con el fin de garantizar sus servicios ecosistémicos, en este caso en particular la cuantificación que se hace está relacionada con el gasto requerido en la protección de los recursos y por lo tanto de sus servicios ofrecidos a las comunidades.

2.1.3.3 Método de cambio de productividad

Este método busca estimar el impacto ambiental sobre un recurso natural a través del efecto que este impacto genera en la producción, en el costo o las ganancias generadas por otro bien que si tiene mercado. Este efecto en la producción de otro bien o servicio implica un cambio en el bienestar de las personas (Osorio Múnera & Correa Restrepo, 2004).

Esta metodología se puede enfocar de tres maneras: “1) con base en la función de producción de las empresas; 2) con base en la función de costos de producción de las empresas; y 3) con base en la función de utilidad de las familias.” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

2.1.3.3.1 En función de la productividad

“Con el uso de este método se estima el valor marginal del servicio ecosistémico respecto de la producción. Este corresponde únicamente al valor de uso del mismo” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). En los procesos de producción se presenta la interacción y utilización de varios

recursos que resultan indispensables en dichos procesos, por tal motivo las variación tanto de cantidad como calidad de alguno de ellos repercute de manera directa en el costo de la producción de bienes.

Es importante antes de la aplicación de este método identificar cada una de las variables y recursos que intervienen en los procesos, “es importante obtener series estadísticas robustas, de manera que el modelo econométrico pueda recoger el comportamiento cronológico de la productividad y se logre estimar la función de manera confiable” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

2.1.3.3.2 En función de los costos de producción

Este método se enfoca los costos de producción, por tanto se analizan los servicios eco sistémicos que se pueden obtener de los recursos utilizados los cuales debes ser identificados en su totalidad con el fin de garantizar un análisis acertado.

2.1.3.4 Costo de la enfermedad y capital humano

Los cambios ambientales pueden afectar la salud de las personas en una amplia variedad de formas. Por ejemplo, cambios en la frecuencia de la enfermedad, incremento en la presencia de síntomas, aumento en el riesgo de contraer una enfermedad, muerte prematura, entre otros. Así mismo, pueden presentarse efectos positivos sobre la disminución del riesgo de contraer una enfermedad, y/o aumentar la expectativa de vida de la población. Desde la perspectiva económica, la salud se constituye como un insumo necesario para que las familias puedan ofrecer su trabajo en el mercado. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)

Este método contempla dos posibilidades asociadas a las consecuencias que resultan potencialmente previstas por el cambio de las condiciones o modificaciones de las características de los recursos presente en una zona específica donde se pretenda ejecutar o se encuentre un proyecto específico. Estas consecuencias se encuentran relacionadas con la valoración de los costos de la enfermedad o el costo de capital humano relacionado con la mortalidad suscitada por las alteraciones ocasionadas.

En el primer caso debe tenerse en cuenta las tasas de morbilidad asociadas a los cambios ambientales y los costos que pueden acarrear el tratamiento de las enfermedades, entre otros se contemplan gastos como gastos de hospitalización, citas médicas, incapacidades médicas, costos de medicamentos entre otros.

2.1.4 Legislación ambiental

En el marco legal ambiental colombiano se enmarco dentro de varios actos administrativos todos en concordancia con lo dispuesto y consignado en la Constitución Política de Colombia.

2.1.4.1 Constitución Política de Colombia

“...4 de julio el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible celebró el día de la Constitución Nacional, fecha en la que se reflexionó sobre un proceso de gran significado histórico que marcó una época de cambios profundos en la vida nacional, y en la que se estableció el deber del Estado por proteger la diversidad e integridad del medio ambiente.” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

Específicamente la carta magna en tres de sus artículos indica nuestro deber y deber del Estado Colombiano la preservación y conservación de los

recursos naturales así mismo como propender por un ambiente sano como un derecho fundamental. Los artículos en mención son:

- 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 afectarlo. 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.
- 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, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.
- Artículo 95. La calidad de colombiano enaltece a todos los miembros de la comunidad nacional. Todos están en el deber de engrandecerla y dignificarla. El ejercicio de los derechos y libertades reconocidos en esta Constitución implica responsabilidades. Toda persona está obligada a cumplir la Constitución y las leyes. Son deberes de la persona y del ciudadano:
 1. Respetar los derechos ajenos y no abusar de los propios;
 2. Obrar conforme al principio de solidaridad social, respondiendo con acciones humanitarias ante situaciones que pongan en peligro la vida o la salud de las personas;

3. Respetar y apoyar a las autoridades democráticas legítimamente constituidas para mantener la independencia y la integridad nacionales.
4. Defender y difundir los derechos humanos como fundamento de la convivencia pacífica;
5. Participar en la vida política, cívica y comunitaria del país;
6. Propender al logro y mantenimiento de la paz;
7. Colaborar para el buen funcionamiento de la administración de la justicia;
8. Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano;
9. Contribuir al financiamiento de los gastos e inversiones del Estado dentro de conceptos de justicia y equidad.

2.1.4.2 Decreto-Ley 2811 de 1974

Este acto administrativo corresponde al “**Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente**” en el cual se dictan algunas directrices en cuanto a la protección y conservación de los recursos naturales. Son de nuestra especial atención los Artículos que tienen relación directa con la gestión integral de los residuos sólidos.

- **Artículo 8:** Se consideran factores que deterioran el ambiente, entre otros;
 - a. La contaminación del aire, de las aguas, del suelo y de los demás recursos naturales renovables.

Se entiende por contaminación la alteración del ambiente con sustancias o formas de energía puestas en él, por actividad humana o de la naturaleza, en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del ambiente o de los recursos de la nación o de los particulares.

Se entiende por contaminante cualquier elemento, combinación de elementos, o forma de energía que actual o potencialmente puede producir alteración ambiental de las precedentemente descritas. La contaminación puede ser física, química, o biológica;

b.- La degradación, la erosión y el revenimiento de suelos y tierras;

c.- Las alteraciones nocivas de la topografía;

d.- Las alteraciones nocivas del flujo natural de las aguas;

e. - La sedimentación en los cursos y depósitos de agua;

f.- Los cambios nocivos del lecho de las aguas;

g.- La extinción o disminución cuantitativa o cualitativa de especies animales o vegetales o de recursos genéticos.

h.- La introducción, y propagación de enfermedades y de plagas;

i.- La introducción, utilización y transporte de especies animales o vegetales dañinas o de productos de sustancias peligrosas;

j.- La alteración perjudicial o antiestética de paisajes naturales;

k.- La disminución o extinción de fuentes naturales de energía primaria;

l.- La acumulación o disposición inadecuada de residuos, basuras, desechos y desperdicios;

m.- El ruido nocivo;

n.- El uso inadecuado de sustancias peligrosas;

o.- La eutricación, es decir, el crecimiento excesivo y anormal de la flora en lagos y lagunas;

p.- La concentración de población humana urbana o rural en condiciones habitacionales que atenten contra el bienestar y la salud;

- **Artículo 34:** En el manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios, se observarán las siguientes reglas:

a.- Se utilizarán los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos, basuras, desperdicios y, en general, de desechos de cualquier clase.

b.- La investigación científica y técnica se fomentará para:

1.- Desarrollar los métodos más adecuados para la defensa del ambiente, del hombre y de los demás seres vivientes;

2.- Reintegrar al proceso natural y económico los desperdicios sólidos, líquidos y gaseosos, provenientes de industrias, actividades domésticas o de núcleos humanos en general;

3.- Sustituir la producción o importación de productos de difícil eliminación o reincorporación al proceso productivo;

4.- Perfeccionar y desarrollar nuevos métodos para el tratamiento, recolección, depósito, y disposición final de los residuos sólidos, líquidos o gaseosos no susceptibles de nueva utilización.

c.- Se señalará medios adecuados para eliminar y controlar los focos productores del mal olor.

- **Artículo 36:** Para la disposición o procesamiento final de las basuras se utilizarán preferiblemente los medios que permita:
 - a.- Evitar el deterioro del ambiente y de la salud humana;
 - b.- Reutilizar sus componentes;
 - c.- Producir nuevos bienes;
 - d.- Restaurar o mejorar los suelos.
- **Artículo 38:** Por razón del volumen o de la calidad de los residuos, las basuras, desechos o desperdicios, se podrá imponer a quien los produce la obligación que recolectarlos, tratarlos o disponer de ellos, señalándole los medios para cada caso.

2.1.4.3 Resolución 1457 de 2010

Dentro del marco de este acto administrativo el Ministerio de Ambiente y Desarrollo involucra de manera directa a los productores y comercializadores de llantas del territorio colombiano en la Gestión de las llantas usadas. La presente Resolución plantea el establecimiento de un sistema selectivo de recolección de y define en su Capítulo II las obligaciones tanto de los productores, comercializadores y consumidores de la siguiente manera:

- **Artículo Sexto: Características de los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas**

Usadas. Los sistemas deberán tener las siguientes características:

- a) Permitir a los consumidores devolver las llantas usadas a través de puntos accesibles y en las cantidades que sean necesarias teniendo en cuenta aspectos tales como la densidad de la población, entre otros.
 - b) No generan costos para el consumidor al momento de la entrega de las llantas usadas, ni la obligación de comprar llantas nuevas.
 - c) Contemplar alternativas de aprovechamiento y/o valorización.
- **Artículo Décimo Primero: Del Almacenamiento de Llantas Usadas.** El productor de llantas deberá garantizar como mínimo las siguientes condiciones para el almacenamiento de las llantas usadas:
 - a) El plazo de almacenamiento no podrá ser superior a seis (6) meses y la cantidad almacenada no excederá de la mitad de la capacidad anual de aprovechamiento y/o valorización.
 - b) Diseñar e implementar un plan de contingencias que incluya las medidas de prevención y atención de emergencias.

Parágrafo: Durante los tres primeros años a partir de la publicación de la presente resolución, el plazo de almacenamiento podrá ser hasta diez (10) meses.

2.1.4.4 Resolución 1326 de julio de 2017

Esta resolución fue expedida el 6 de julio del año 2017, a diferencia de la resolución anteriormente citada, esta incluye un aspecto importante de la gestión integral de las llantas usadas y es el directamente relacionado con el aprovechamiento y/o valorización de las llantas usadas.

Se refuerza la importancia de establecer los sistemas de recolección selectiva y se determinan umbrales en cuanto a los cumplimientos de metas de gestión para los fabricantes y comercializadores y se aborda de manera más clara la temática del aprovechamiento y/o valorización de las llantas usadas:

- **Artículo 12 Del Aprovechamiento de Llantas Usadas.** Se deberá fomentar el aprovechamiento de llantas usadas en el territorio nacional, mediante la reutilización, el reciclaje y la valorización de su componente energético.

Parágrafo El aprovechamiento de llantas usadas podrá realizarse mediante actividades tales como la utilización de llantas usadas en mobiliarios urbanos, construcción de taludes, jarillones y tuberías, canchas sintéticas, construcción de vías urbanas con asfalto modificado con GRC, la valorización del componente energético de las llantas usadas mediante el procesamiento, pirolisis, gasificación, y demás opciones que ambiental y tecnológicamente sean viables.

2.1.5 Legislación Distrital Llantas usadas

En la ciudad de Bogotá el marco normativo de la gestión integral de residuos tales como las llantas usadas cuenta con las directrices definida por la autoridad ambiental distrital correspondiente a la Secretaría de Ambiente. Es marco normativo es relativamente reciente y presenta grandes avances en materia del aprovechamiento y valorización de las llantas usadas.

2.1.5.1 Decreto 442 de 2015

En el marco normativo del Distrito Capital en el año 2015 se emite el Decreto 442 en el mes de noviembre, se encuentra conformado por seis capítulos en los

cuales se definen obligaciones para los gestores y acopiadores, lineamientos de aprovechamiento, prohibiciones entre otros.

Dentro del marco del Capítulo IV DEL APROVECHAMIENTO Y VALORIZACIÓN, los artículos directamente relacionados con el tema de investigación son:

- **ARTÍCULO 10.- APROVECHAMIENTO DE LLANTAS USADAS EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN EL DISTRITO CAPITAL.** Desde el 1 de Julio de 2016, toda obra de infraestructura de transporte en el Distrito Capital que se ejecute y adelante en procesos constructivos con asfalto, deberá prever el uso de materiales provenientes del aprovechamiento de llantas usadas en las proporciones técnicas que para el efecto exige el Instituto de Desarrollo Urbano, en la totalidad de metros cuadrados de la mezcla asfáltica usada para la obra.
PARÁGRAFO. Los informes de cumplimiento de este artículo, deberán ser reportados en el formato que para tal fin diseñe la Secretaría Distrital de Ambiente, los primeros quince (15) días del mes enero y julio de cada año, acompañados de los respectivos soportes de compra del Grano de Caucho Reciclado (GCR).
- **ARTÍCULO 11.- APROVECHAMIENTO DE LLANTAS USADAS EN EL SISTEMA DISTRITAL DE PARQUES.** Desde el 1 de Julio de 2016, todos los diseños e implementación para la construcción del sistema distrital de parques, deberán prever el uso de llantas usadas o de materiales provenientes del aprovechamiento de las mismas, en las áreas que sean técnicamente susceptibles de ser provistas con dichos materiales (zonas de juego, pistas de trote, entre otras).

PARÁGRAFO 1. Los informes de cumplimiento de implementación de este artículo, serán reportados ante la Secretaría Distrital de Ambiente, a más tardar el 15 de enero de cada año, por cada una de las entidades responsables del desarrollo de estas obras en el Distrito Capital.

PARÁGRAFO 2. De ser necesario el mantenimiento de áreas construidas con materiales provenientes del aprovechamiento de llantas usadas, se deberá garantizar la permanencia de la utilización del Grano de Caucho Reciclado (GCR) en cantidades iguales o mayores a las previstas inicialmente.

- **ARTÍCULO 12.- PROVENIENCIA Y CALIDAD DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO.** El grano de caucho reciclado (GCR) utilizado para el cumplimiento de lo establecido en este Capítulo, deberá provenir de Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas aprobados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, o de terceros que produzcan el Grano de Caucho Reciclado localmente, cumpliendo con la normatividad ambiental vigente y las especificaciones técnicas que regulan la materia.
- **ARTÍCULO 13.- REENCAUCHE DE LLANTAS USADAS GENERADAS POR LOS VEHÍCULOS DE LAS ENTIDADES QUE CONFORMAN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA DEL DISTRITO CAPITAL.** Desde el 1 de enero de 2016, los vehículos empleados por todas las entidades públicas distritales del sector central, descentralizado y por servicios propios y en alquiler, deberán realizar el reencauche, una (1) vez como mínimo, de las llantas rin 15” en adelante, empleadas por su parque automotor y que técnicamente permitan este procedimiento.

PARÁGRAFO. En todos los casos el proceso de reencauche deberá efectuarse por empresa certificada que garantice el cumplimiento de la NTC 5384 de 2005 y las Resoluciones 481 de 2009 y 230 de 2010, modificadas por la Resolución 2899 de 2011 o aquellas que las deroguen, sustituyan o modifiquen.

2.1.5.2 Decreto 265 de 2016

Este decreto básicamente modifica algunos artículos del Decreto 442 de 2015 y en materia de aprovechamiento modifica el artículo 10, quedando de la siguiente manera:

- **Artículo 10.- Aprovechamiento de llantas usadas en obras de infraestructura del transporte en el Distrito Capital.** Desde el 1 de Julio de 2016, toda obra de infraestructura de transporte en el Distrito Capital que se ejecute y adelante en procesos constructivos con asfalto, deberá prever el uso de materiales provenientes del aprovechamiento de llantas usadas en las proporciones técnicas que para el efecto exige el instituto de Desarrollo Urbano, en la totalidad de metros cuadrados de la mezcla asfáltica usada para la obra.

Parágrafo. Los informes de cumplimiento de este artículo, deberán ser reportados en el formato que para tal fin diseñe la Secretaría Distrital de Ambiente, los primeros quince (15) días del mes enero y julio de cada año, acompañados de los respectivos soportes de compra del Grano de Caucho Reciclado (GCR)."

3 METODOLOGÍA

La presente es una investigación es correlativa, descriptiva cuantitativa dado que se presenta el análisis de variables representadas en fenómenos o impactos ambientales los cuales fueron evaluados mediante el uso de metodologías ampliamente aplicadas en la evaluación de impactos ambientales, es de anotar que la calificación de los impactos ambientales tiene un carácter subjetivo toda vez que las magnitudes definidas dependen de la experticia y conocimiento del evaluador del proceso.

La recolección de datos se realizó en un único momento, a través de la revisión del estado del arte, de documentos oficiales de la Secretaria Distrital de Ambiente, bases de datos, consulta de documentos de Organizaciones internacionales que promueven la ampliación del fin de vida de las llantas usadas generando el aprovechamiento de este tipo de residuos en diferentes escenarios del mundo.

La unidad de análisis corresponde a las llantas usadas y teniendo en cuenta que parte del objetivo principal contempla la evaluación del impacto ambiental del aprovechamiento de llantas usada en su forma original como insumo en el desarrollo vial local de la ciudad de Bogotá, en la presente investigación se aplicó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación de impacto ambiental, teniendo en cuenta que la metodología anteriormente citada permite la integración de variables tanto técnicas como del proceso permitiendo identificar de manera más amplia cada uno de las presiones ambientales causadas por cada una de las actividades del proceso propuesto.

3.1.1 EVALUACIÓN AMBIENTAL

Como primera medida se utilizó una matriz de Materiales, Energía y sustancias Tóxicas MET, la cual permitió establecer cuales sustancias entran en cada una de las etapas de gestión de las llantas usadas en el marco del aprovechamiento propuesto, y del mismo modo se exponen los residuos provenientes de dicha gestión. El resultado de la matriz anteriormente citada sirve como insumo para el desarrollo de la Matriz de Identificación De Aspectos Ambientales, esta matriz presenta AA de entrada, es decir si se presenta consumo de sustancias químicas, orgánicas, consumo de energía eléctrica (su origen), combustibles, agua, entre otros y AA de salida que corresponden básicamente a emisiones (olores, gases, material particulado y ruido) residuos (aprovechables, no aprovechables, orgánicos, peligrosos), vertimientos, etc.

Para la evaluación de impactos ambientales se aplicó la metodología Vicente Conesa Fernández simplificada, que consiste en una matriz causa-efecto que mediante la integración y formulación de diez parámetros permiten determinar la importancia de un impacto, el resultado numérico obtenido es clasificado de acuerdo a los cuatro rangos de referencia establecidos por el autor de la metodología para estimar su magnitud.

Es pertinente indicar que este tipo de metodología permite realizar las variaciones de parámetros de acuerdo a la naturaleza de actividad a evaluar, en este caso en particular se evaluaron la totalidad de los parámetros y se aplicó la formula originalmente planteada por el autor.

Los parámetros evaluados son:

- **Carácter:** se representa en beneficioso asignándoles un carácter positivo (+) y perjudicial siendo negativo (-). Este carácter afecta la totalidad de los parámetros evaluados.
- **Intensidad:** Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa. El baremo de valoración estará comprendido entre 1 y 12, en el que 12 expresará una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto y el 1 una afección mínima.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
Baja	1	Efectos ambientales y económicos no significativos
Media	2	El efecto no compromete los recursos naturales
Alta	4	El impacto afecta los recursos naturales
Alta muy alta	8	El impacto afecta gravemente los recursos naturales
Total	12	El impacto afecta totalmente los recursos naturales

Tabla 1 Escala parámetro Intensidad. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Extensión:** Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del Proyecto dividido el porcentaje del área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
Puntual	1	El impacto se localiza en un espacio reducido (aprox.5mts de radio), dentro de la instalación.
Parcial	2	El impacto se manifiesta dentro de la instalación, sin salir de ella pero en un área más amplia que la anterior.
Extenso	4	El impacto tiene manifestaciones fuera de la instalación.
Total	8	El impacto puede extenderse en todo el entorno.

Tabla 2 Escala Parámetro Extensión. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Sinergia:** Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.

CLASIFICACIÓN	ESCALA
No Sinérgico	1
Sinérgico	2
Muy Sinérgico	4

Tabla 3 Escala parámetro Sinergia. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Persistencia:** Se refiere al tiempo que permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
Fugaz	1	Duración menos de 1 año.
Temporal	2	Duración entre 1 y 10 años
Permanente	4	Duración mayor a 10 años

Tabla 4 Escala parámetro Persistencia. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Efecto:** Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

CLASIFICACIÓN	ESCALA
Directo o Primario	4
Indirecto o Secundario	1

Tabla 5 Escala parámetro Efecto. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Momento:** El plazo de la manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el efecto sobre el medio considerado.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
Largo Plazo	1	Más de 5 años
Mediano Plazo	2	De 1 a 5 años
Corto Plazo	4	Menos de 1 año

Tabla 6 Escala parámetro Momento. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Acumulación:** Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
Simple	1	El impacto actúa por sí sólo. La recuperación se da en un plazo menor a un (1) año.
Acumulativo	2	El impacto se suma a otros para incrementar el daño.

Tabla 7 Escala parámetro Acumulación. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Recuperabilidad:** Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del Proyecto, es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

CLASIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
Corto Plazo	1	Recuperación en un plazo menor a 1 año.
Mediano Plazo	2	Entre 1 y 5 años.
Largo Plazo	3	Más de 5 años
Irrecuperable	4	No hay posibilidad de recuperación.

Tabla 8 Escala parámetro Recuperabilidad. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Reversibilidad:** Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el Proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.

CLASIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
Corto Plazo	1	Recuperación en un plazo menor a 1 año.
Mediano Plazo	2	Entre 1 y 5 años.
Largo Plazo	3	Más de 5 años
Irrecuperable	4	No hay posibilidad de recuperación.

Tabla 9 Escala parámetro Reversibilidad. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

- **Periodicidad:** La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

CLASIFICACIÓN	ESCALA
Irregular	1
Periódica	2
Continua	4

Tabla 10 Escala parámetro Periodicidad. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

La evaluación cualitativa se realiza determinando la importancia del impacto para cada uno de los factores identificados mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$IM = \pm[3(I) + 2(EX) + SI + PE + EF + MO + AC + MC + RV + PR]$$

El resultado de la importancia permite realizar una priorización de los impactos ambientales de acuerdo a la magnitud de los mismos, para la realización de este análisis cualitativo se utilizó la siguiente escala:

CLASIFICACIÓN	ESCALA	SIGNIFICADO
Compatible	CO	Menor o igual a 25
Moderado	M	Mayor a 25 y menor o igual a 50
Severo	S	Mayor que 50 pero menor o igual que 75
Crítico	C	Mayor que 75

Tabla 11 Escala de magnitud de la Importancia del Impacto. Fuente: Procedimiento identificación, evaluación, priorización de impactos. Comando de Ingenieros Ejército Nacional. 2017

Para poder realizar la estimación del valor económico ambiental de la alternativa planteada fue preciso definir la metodología de valoración económica a aplicar.

3.1.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Se realizó la evaluación económica bajo dos metodologías: i) Valoración por cambio de productividad y ii) Costo de la enfermedad y capital humano.

En la primera metodología se valora la reutilización de las llantas usadas en su forma original en un proceso constructivo, lo que implica que la ampliación de fin de vida de las llantas usadas bajo el escenario propuesto en el presente proyecto de investigación suponga un cambio de productividad de la unidad de análisis, pasa de ser un residuo de difícil manejo a convertirse en insumo de procesos constructivos, por tanto dentro de esta metodología es preciso comparar la alternativa de gestión propuesta con un proceso estándar que utilice materiales de construcción convencionales y a través de un análisis económico que implique un periodo definido (para nuestro caso en particular este periodo de tiempo corresponde a la vida útil de la vía de red local asfaltada), nos permita obtener un factor de decisión frente a la favorabilidad o no de la implementación de la gestión propuesta. En el segundo caso se evaluaron los costos asociados a la morbilidad y mortalidad derivada de la gestión inadecuada de las llantas usadas.

Para la primera etapa de evaluación económica correspondiente a la valoración económica por cambio de productividad se fijaron los siguientes escenarios:

- Escenario 1: Vía construida con materiales convencionales.

- Escenario 2: Vía construida incluyendo las llantas usadas como insumo constructivo.

Para los dos escenarios anteriormente mencionados se identificaron cada una de las variables requeridas en la construcción de una vía de nivel local en la ciudad de Bogotá en un tramo equivalente a 1Km de longitud y una amplitud de carril de 6.50m (las medidas y estándares de este tipo de vía corresponden a los emitidos por el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá D.C.), se cuantificó la cantidad de materiales requeridos, así como las cuadrillas de personal necesarias para llevar a cabo las diferentes actividades involucradas en el proceso constructivo; finalmente se estimó el valor económico para cada uno de los escenarios independientemente.

A continuación se realizó el correspondiente análisis de costo-beneficio, en el que se tuvo en cuenta que:

- La vida útil promedio de una vía local con pavimento flexible (carpeta asfáltica) es de 25 años en promedio.
- La periodicidad de mantenimiento de la vía de acuerdo a sus características constructivas debe realizarse con una frecuencia de 5 años aproximadamente.
- Los costos de mantenimiento varían de acuerdo a las siguientes condiciones: i) reemplazo de la totalidad de la carpeta asfáltica y ii) reparcho, para lo que se estimó el reemplazo del 25% del asfalto de la vía en cuestión.

Se aplicó la metodología del Costo Anual Equivalente, esto con el fin de “convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos” (Universidad Nacional Abierta y A Distancia, 2005) para un tiempo de 25 años y una Tasa de oportunidad Social equivalente al 12% (Piraquive Galeano, Matamoros Cárdenas, Cépedes Rangel , & Rodríguez Chacón , 2018) y de esta

manera determinar la viabilidad o no de la propuesta del uso de las llantas usadas como insumo constructivo en vías locales.

Para la segunda etapa de la presente evaluación, costo de la enfermedad y capital humano se identificó de manera inicial que la localidad más afectada por la disposición de llantas usadas en espacio público es Fontibón y la Infección Respiratoria Aguda es una de las enfermedades que se derivada de la quema a cielo abierto de las llantas usadas. Para realizar los cálculos del costo de morbilidad de la IRA en la localidad de Fontibón, se analizaron la tasa de casos que se presentaron en dicha localidad por cada uno de los servicios médicos tales como urgencias, hospitalización y consulta externa que se prestan en los diferentes centros de atención médica presentes en el área a analizar. Los costos de atención médica por servicios utilizada son:

SERVICIO MÉDICO	VALOR
CONSULTAS	\$40.285,00
LABORATORIOS	\$32.839,00
IMAGENES DIAGNÓSTICAS	\$31.978,00
MEDICAMENTOS	\$113.731,00
MATERIALES E INSUMOS	\$24.275,00
TRASLADOS	\$32.432,00
ESTANCIA	\$483.896,00
TOTAL	\$759.436,00

Tabla 12 Costos de atención médica. Fuente: "Costos económicos de la infección respiratoria en un Municipio de Colombia" (Bernal Aguirre , Carvajal Sierra , & Alvis Zakzuk, 2017)

Adicionalmente se estimaron los costos actividad restringida teniendo en cuenta la relación existente entre niveles de escolaridad, densidad poblacional

en edad laboral y escala salarial. La metodología utilizada en esta etapa corresponde a la propuesta en el libro *ECONOMYC ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS*, específicamente en el estudio de caso “Environmental Damage Costs in Mexico” (Dixon, Fallon Scura, Carpenter, & Sherman, 1994). La escala salarial para los diferentes tipos de escolaridad se tomaron del artículo “Costos de enfermedades respiratorias asociadas al Humedal Jaboque” (Pulido Gutierrez , Delgado, & Garzón , 2018)

Escolaridad	Valor H trabajo
Especialización, Maestría y Doctorado	\$15.047
Profesional	\$9.831
Tecnológica	\$6.304
Técnica	\$4.675
Bachilleres	\$2.873

Tabla 13 Escalas salariales. Fuente: "Costos de Enfermedades respiratorias asociadas al Humedal Jaboque" (Pulido Gutierrez , Delgado, & Garzón , 2018)

De igual forma los costos de mortalidad asociados a la IRA en la localidad de Fontibón se calcularon basados en la metodología propuesta por los autores Dixon, Fallon Scura, Carpenter y Sherman en el libro anteriormente mencionado. Para tal fin se utilizaron los datos totales de mortalidad registrados por la Secretaria Distrital de Salud para el área de estudio y bajo la enfermedad analizada.

3.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para poder dar respuesta al objetivo principal de la presente investigación se definió como la unidad de análisis a las llantas usadas dispuestas en espacio

público en la ciudad de Bogotá. Las fuentes primarias de información en su gran mayoría corresponden a entidades estatales entre las que se encuentra la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), la Secretaria Distrital de Salud (SDS); por otra parte dentro del sector privado se cuenta con la Asociación de Industriales de Colombia (ANDI).

Otra fuente de información es la concerniente a las bases de datos y buscadores de artículos científicos de revistas indexadas tal como ScienceDirect, ResearchGate entre otros. Dentro de los mecanismos de búsqueda de la información se presentan de dos tipos: i) la búsqueda en páginas WEB e información que se reportan en las diferentes páginas relacionadas con el tema, ii) bases de datos de artículos científicos relacionados con las temáticas desarrolladas en la presente investigación y iii) bases de datos de costos de procesos constructivos, esto con el fin de realizar el correspondiente análisis económico.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS CICLO DE VIDA

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos para los primeros dos objetivos específicos, es decir se indicarán los Aspectos Ambientales relevantes identificados en el proceso así como cuáles son los impactos ambientales más representativos.

Debemos iniciar indicando el proceso productivo que se estableció y las actividades que involucran cada uno de los pasos a seguir. El proceso parte desde la ubicación geográfica de las llantas a ser recolectada, es importante

indicar que serán recogidas aquellas que se encuentren dispuestas de manera irregular en espacio público. Luego se procede al traslado del vehículo recolector hacia la ubicación elegida inicialmente y se realizará es respectivo cargue manteniendo siempre las normas de seguridad y manteniendo las proporciones que permitan el traslado de las llantas al centro de acopio de manera segura.

El acopio de las llantas se realizará de manera temporal no superando un mes (1) desde su recolección, para su disposición final. Dentro del centro de acopio las llantas serán apiladas generando de manera segura evitando que colapsen y generen algún tipo de accidente. Para poder aprovecharlas como insumo en la construcción y/o mantenimiento de vías locales, es preciso que la llantas tengan un acondicionamiento previo que consiste básicamente limpieza interna y externa de las llantas, el propósito es remover cualquier sustancia o elemento que pueda representar un riesgo ocupacional en la manipulación de éstas.

Posteriormente es preciso remover las caras laterales de las llantas esto con el fin de consolidar los aros conformados por la rodadura de las llantas con lo que se consolidará la malla en el lugar de disposición final (tramo de vía local a intervenir). Finalmente los aros serán transportados al lugar de disposición final y así consolidar en sitio la malla de llantas para que sean rellenas con material de cantera y seguir el proceso de construcción de vía normal.



Figura 1 Gestión de llantas usadas para el aprovechamiento como insumo en el desarrollo vial local en Bogotá.

Una vez estructurado el proceso productivo pudimos establecer cuáles son las variables que intervienen en el proceso, es importante aclarar que dentro la totalidad del análisis y evaluación de impactos ambientales se contemplaron las labores administrativas, de mantenimiento y operación de vehículos y lugar de acopio de las llantas usadas; el siguiente esquema resume la identificación de las entradas y salidas de las diferentes etapas del proceso propuesto:



Diagrama 1 Entradas y Salidas del aprovechamiento de las llantas usadas como insumo en el desarrollo vial local en Bogotá.

aso seguido con la información obtenida del diagrama de entradas y salidas, se pudo estructurar la Matriz MET de la gestión de las llantas usadas con el aprovechamiento propuesto, dentro de los materias a consumir se encuentran: combustibles, insumos de oficina, sustancias asociadas a lavado de instalaciones físicas y dentro de las sustancias tóxicas o desechos se tienen principalmente; residuos sólidos aprovechables, emisiones de gases, material particulado y generación de vertimientos.

A continuación se observa la matriz resultante.

VARIABLE	FACTOR	NIVELES	
ASPECTOS AMBIENTALES DEL MATERIAL	Gestión de las Llantas Usadas: • Selección • Transporte • Acondicionamiento • Acopio temporal	Gasto de material	<p>Basícticamente se requieren insumos de</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consumo de combustible asociado al recolección y transporte de las llantas usadas. • Consumo de energía eléctrica de los equipos e instalaciones de acopio temporal de las llantas usadas.
		Energía de procesos	<p>Generación de vertimientos en el proceso de limpieza tanto de las llantas usadas como de las diferentes áreas de acipio. Adicionalmente se presentan vertimientos asociados dado que se presentan trabajadores estos vertimientos no contienen ninguna sustancia peligrosa.</p>
		Agua	<p>Generación de residuos sólidos a la gestión de las llantas usadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Papel • Cacucho(correspondiente a los cortes de las caras laterales de las llantas • Residuos no aprovechables. • Residuos peligrosos (tóner y envases de sustancias de limpieza)
		Suelo	<p>Emissiones atmosféricas representadas en:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Material Particulado - Ruido • Gases de combustión
		Aire	<p>Material de cantera para el relleno de la mallita de llantas consolidada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consumo de combustible asociado al transporte de las llantas usadas al sitio de uso. • Consumo de energía eléctrica de los equipos utilizados en la consolidación de la mallita de llantas usadas.
		Consumibles	<p>Generación de residuos sólidos asociados al aprovechamiento de las llantas usadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Papel
		Energía consumida	<p>N/A</p>
		Residuos generados por transformación del material durante el proceso	<p>Residuos Peligrosos</p> <p>N/A</p> <p>Residuos especiales</p> <p>N/A</p> <p>Vertimientos</p> <p>N/A</p> <p>Vertimientos RESPEL</p> <p>N/A</p>
		Emissiones	<p>Emissiones atmosféricas representadas en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Material Particulado • Ruido • Gases de combustión
		ASPECTOS AMBIENTALES DE USO	Uso

Matriz 1 Matriz de Materiales, Electricidad y Sustancias Tóxicas MET del proyecto de investigación.

Como aspectos ambientales significativos tanto de entrada como de salida en este caso son aquellos que se presentaron de manera reiterada a lo largo del proceso, es decir aquellos aspectos ambientales que se podían ser identificados en la mayor cantidad de actividades que comprenden el proceso de aprovechamiento. (Ver ANEXO I)

En ese orden de idea los aspectos ambientales significativos de entrada identificados fueron:

- Consumo de agua: de un total de 18 actividades que comprende el proceso, 11 de ellas requieren de agua ya sea como elemento principal o alterno como son los procesos de hidratación del personal que desarrolla las tareas.
- Consumo de energía: se encuentra en segundo lugar dado que se requiere en 5 de las 18 tareas, esto reflejado en procesos que tienen que ver con operación de equipos ya sea en la parte de limpieza, acondicionamiento, consolidación de la malla de llantas y actividades locativas (iluminación).

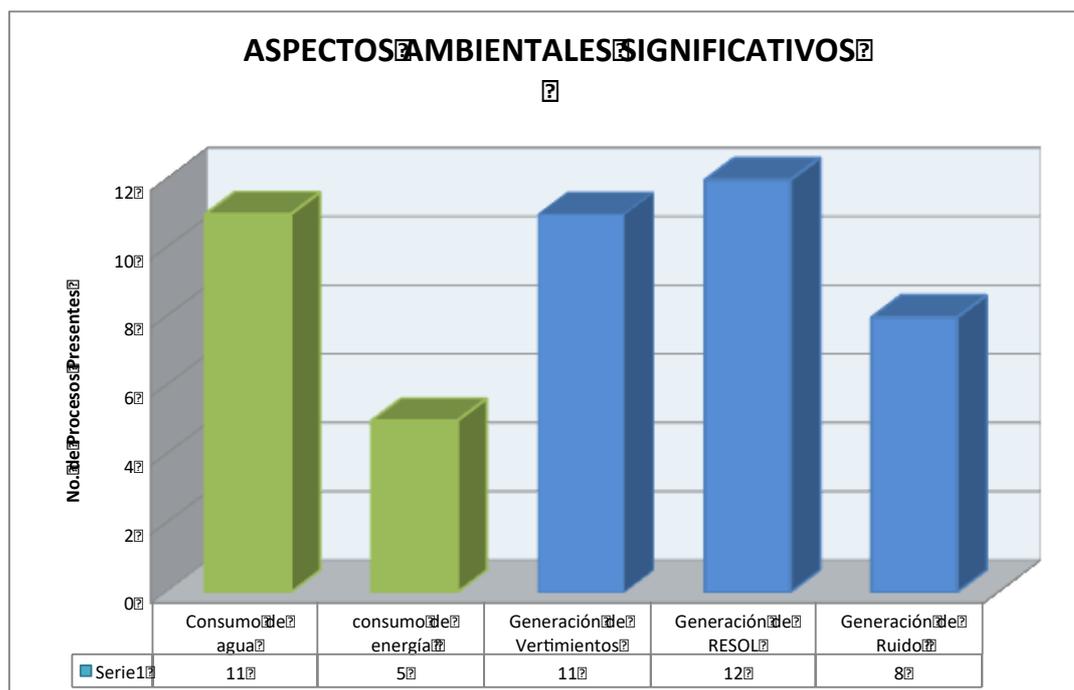
Estos aspectos fueron identificados dentro de la gráfica No. 1 con el color magenta.

En el caso de los aspectos ambientales significativos de salida (de color verde en la gráfica No. 1) se identificaron 3 teniendo en cuenta los mismos parámetros de análisis de los aspectos de entrada. Los aspectos significantes de salida son:

- Generación de vertimientos: la cantidad de actividades coincide con aquellas que requieren agua, existe un factor de retorno de las actividades que conduce a la generación de vertimientos.

- Generación de Residuos: este es el aspecto que se presenta en el mayor número de actividades, en el 66% de la gestión de aprovechamiento.
- Generación ruido: este aspecto tiene dos componentes ruido ambiental ocasionado por vehículos y ruido ocupacional relacionado con los equipos a utilizar en la parte operativa de la limpieza tanto de las llantas como de las instalaciones, así mismo como herramienta para la construcción de las mallas de llantas usadas.

A continuación se presenta la gráfica de los aspectos ambientales significativos Vs. La cantidad de actividades presentes dentro del proceso.

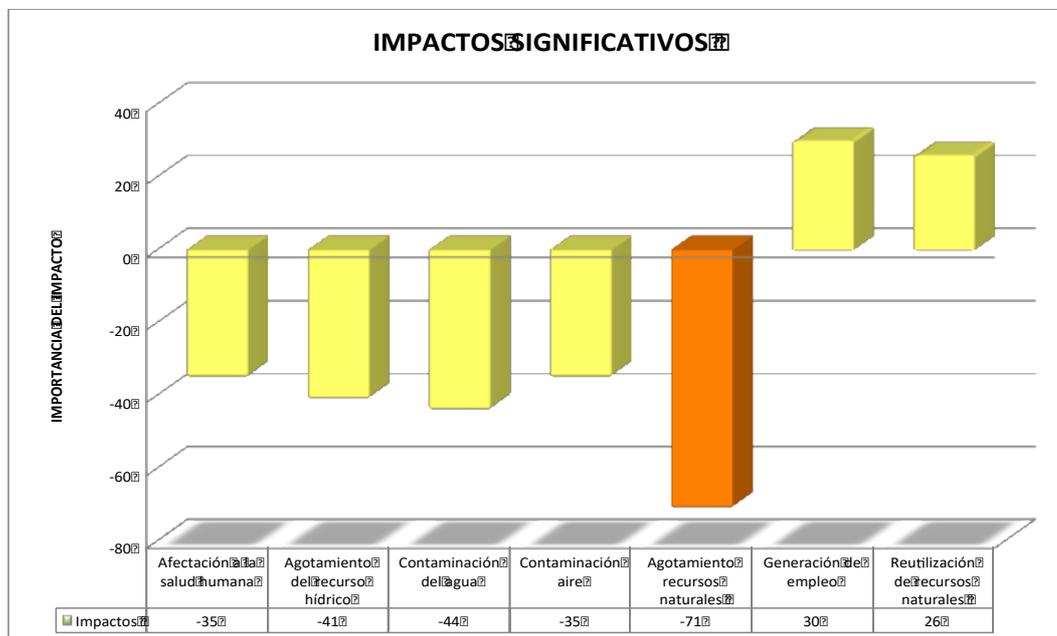


Gráfica 1 Identificación de Aspectos Ambientales Significativos.

Una vez calificada la Matriz Conesa el impacto ambiental (Ver ANEXO II) que obtuvo la mayor Importancia de carácter perjudicial es el agotamiento de recursos naturales, lo que se encuentra directamente relacionado con la utilización de material de cantera para rellenar la malla de llantas usadas, este impacto se cataloga como severo dado que obtuvo una calificación de -71, seguida por contaminación del agua con una calificación de -44 y en tercer lugar se ubicó el agotamiento del recurso hídrico con -41 de Importancia del impacto los dos considerados como moderado.

Dentro del proceso también se identificaron los impactos positivos o de carácter beneficioso que para el caso de estudio resultaron ser moderado y son “Generación de empleo” con una importancia de +30 y “Reutilización de recursos naturales” con +26 de importancia.

A continuación se ilustran los resultados de los Impactos más relevantes tanto beneficiosos como perjudiciales identificados



Gráfica 2 Identificación de Impactos ambientales representativos.

Los impactos ambientales dentro del aprovechamiento de las llantas pueden variar de acuerdo al proceso de acondicionamiento y el posterior uso que se dé a ese producto; por ejemplo al ser utilizado el GRC como combustible de hornos en plantas cementeras, los impactos se encuentran estrechamente ligados a la degradación de la calidad del aire y por tanto la afectación a la salud humana derivado de los compuestos emitidos resultantes de los procesos de combustión.

Adicionalmente dentro de los procesos de extrusión de las llantas usadas se generan emisiones y se requiere de un alto consumo de energía lo que impacta de manera directa el recurso agua dado que se presenta el agotamiento del recurso hídrico dado que las fuentes de energía eléctrica de la ciudad de Bogotá son de origen hidráulico.

4.2 VALORACIÓN ECONÓMICA

Este capítulo contiene los resultados correspondientes a la valoración económica de los impactos ambientales planteados en el tercer objetivo específico de la presente investigación.

Estos se presentan de forma independiente para cada una de las metodologías aplicadas.

4.2.1 MÉTODO DE CAMBIO DE PRODUCTIVIDAD

Es importante iniciar indicando que la aplicación de este método se hizo a un residuo especial que presenta una alta complejidad al momento de su disposición final y que compromete varios factores de riesgo ambiental para las comunidades afectadas por la presencia de las llantas usadas en espacio público; en principio se parte de la premisa que las llantas usadas carecen de algún valor lo que conlleva a su incorrecta disposición, en segundo lugar es preciso identificar claramente que la gestión propuesta implica que las llantas usadas en su forma original puedan ampliar su fin de vida siendo consideradas como un insumo en un proceso constructivo que tiene una vida útil definida. Por último y como se aclaró anteriormente en el apartado metodológico del presente trabajo investigativo los resultados que se presentan a continuación son los obtenidos para dos diferentes escenarios:

- Escenario 1: Vía construida con materiales convencionales.
- Escenario 2: Vía construida incluyendo las llantas usadas como insumo constructivo.

De manera secuencial se mostrarán los resultados obtenidos en cada uno de los pasos que conforman el proceso de valoración económica por cambio de productividad.

4.2.1.1 Análisis de precios Unitarios

Se realizó el correspondiente análisis de precios unitarios APU para la actividad de construcción de un tramo equivalente a 1 km de longitud y una amplitud de 6,5 m (medidas correspondientes a una vía local) con pavimento asfáltico para cada uno de los escenarios de lo cual se obtuvo que el costo total para el tramo anteriormente definido para el escenario 1 tiene un valor aproximado de \$ 1.450.307.162 de pesos el costo resultante del escenario 2 es de \$ 1.441.797.908

DE LLANTAS USADAS EN EL DESARROLLO VIAL LOCAL EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.

NOMBRE	UNIDAD	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
CERRAMIENTO				
CUADRILLA ALBAÑERÍA	HC	\$ 7.719	1	\$ 7.719
POSTE PARA CERRAMIENTO	UN	\$ 6.902	80	\$ 552.160
TELA VERDE CERRAMIENTO	M	\$ 1.400	2020	\$ 2.828.000
TOTAL CERRAMIENTO				\$ 3.387.879
LOCALIZACIÓN TRAZADO Y REPLANTEO				
CINTA METALICA	H	\$ 380	24	\$ 9.120
EQUIPO DE NIVELACIÓN	H	\$ 1.772	24	\$ 42.528
ESTACAS DE MADERA	UN	\$ 1.900	4	\$ 7.600
ESTACION ELECTRONICA TOTAL	H	\$ 4.320	24	\$ 103.680
MIRA AUTONIVELANTE	H	\$ 780	24	\$ 18.720
COMISION TOPOGRAFICA	H	\$ 29.473	24	\$ 707.352
TOTAL LOCALIZACIÓN TRAZADO Y REPLANTEO				\$ 889.000
DEMOLICIÓN				
DEMOLICION PAVIMENTO ASFALTICO (incluye Cargue). No incluye transporte y disposición final de sobrantes. Rendimiento estimado para espesores max. 0.15m	M3	\$ 27.109	975	\$ 26.431.275
TOTAL DEMOLICIÓN				\$ 26.431.275
EXCAVACIONES				
DESCAPOTEhora ayudante	HC	\$ 9.469	40	\$ 378.760
ACARREO A MAYOR DISTANCIA DE 2KM	UN	\$ 111.333	1000	\$ 111.333.000
EXCAVACIONE MANUAL	HC	\$ 56.817	40	\$ 2.272.680
EXCAVACIÓN MECANICA	HM	\$ 36.000	40	\$ 1.440.000
TOTAL EXCAVACIONES				\$ 115.424.440
CALZADA EN ASFALTO				
CUADRILLA ALBAÑERÍA +AYUDENATE	HC	\$ 6.861	80	\$ 548.880
MATERIAL GRANULAR SUBBASE DE PAVIMENTO	M3	\$ 5.250	4000	\$ 21.000.000
ACARREO A MAYOR DISTANCIA DE 2KM	UN	\$ 111.333	1660	\$ 184.812.780
BASE ASFALTICA	M3	\$ 59.151	952	\$ 56.311.752
BASE GRANULAR B-600	M3	\$ 6.032	4000	\$ 24.128.000
RELLENO TIPO 2 "RECEBO"	M3	\$ 31.679	952	\$ 30.158.408
RIEGO ASFALTO LIQUIDO MEDIO MC-70	M2	\$ 1.516.926	650	\$ 986.001.900
RODADA ASFALTICA B-1350	M2	\$ 1.274	952	\$ 1.212.848
TOTAL CALZADA EN ASFALTO				\$ 1.304.174.568
TOTAL				\$ 1.450.307.162

Tabla 14 Análisis Precios Unitarios Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

NOMBRE	UNIDAD	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
CERRAMIENTO				
CUADRILLA ALBAÑERÍA	HC	\$ 7.719	1	\$ 7.719
POSTE PARA CERRAMIENTO	UN	\$ 6.902	80	\$ 552.160
TELA VERDE CERRAMIENTO	M	\$ 1.400	2020	\$ 2.828.000
TOTAL CERRAMIENTO				\$ 3.387.879
LOCALIZACIÓN TRAZADO Y REPLANTEO				
CINTA METÁLICA	H	\$ 380	24	\$ 9.120
EQUIPO DE NIVELACIÓN	H	\$ 1.772	24	\$ 42.528
ESTACAS DE MADERA	UN	\$ 1.900	4	\$ 7.600
ESTACIÓN ELECTRÓNICA TOTAL	H	\$ 4.320	24	\$ 103.680
MIRA AUTONIVELANTE	H	\$ 780	24	\$ 18.720
COMISIÓN TOPOGRÁFICA	H	\$ 29.473	24	\$ 707.352
TOTAL LOCALIZACIÓN TRAZADO Y REPLANTEO				\$ 889.000
DEMOLICIÓN				
DEMOLICION PAVIMENTO ASFALTICO (Incluye Cargue). No incluye transporte y disposición final de sobrantes. Rendimiento estimado para espesores max. 0.15m	M3	\$ 27.109	975	\$ 26.431.275
TOTAL DEMOLICIÓN				\$ 26.431.275
EXCAVACIONES				
DESCAPOTE Hora ayudante	HC	\$ 9.469	40	\$ 378.760
ACARREO A MAYOR DISTANCIA DE 2KM	UN	\$ 111.333	1000	\$ 111.333.000
EXCAVACIONE MANUAL	HC	\$ 56.817	40	\$ 2.272.680
EXCAVACIÓN MECÁNICA	HM	\$ 36.000	40	\$ 1.440.000
TOTAL EXCAVACIONES				\$ 115.424.440
CALZADA EN ASFALTO				
CUADRILLA ALBAÑERÍA +AYUDENATE	HC	\$ 6.861	100	\$ 686.100
MATERIAL GRANULAR SUBBASE DE PAVIMENTO	M3	\$ 5.250	3550	\$ 18.637.500
TRASLADO LLANTAS USADAS	UN	\$ 30.000	80	\$ 2.400.000
ACARREO A MAYOR DISTANCIA DE 2KM	UN	\$ 111.333	1582	\$ 176.128.806
BASE ASFÁLTICA	M3	\$ 59.151	952	\$ 56.311.752
BASE GRANULAR B-600	M3	\$ 6.032	4000	\$ 24.128.000
RELLENO TIPO 2 "RECEBO"	M3	\$ 31.679	952	\$ 30.158.408
RIEGO ASFALTO LÍQUIDO MEDIO MC-70	M2	\$ 1.516.926	650	\$ 986.001.900
RODADA ASFÁLTICA B-1350	M2	\$ 1.274	952	\$ 1.212.848
TOTAL CALZADA EN ASFALTO				\$ 1.295.665.314
TOTAL				\$ 1.441.797.908

Tabla 15 Análisis Precios Unitarios Escenario 2. Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Flujos de caja

Para realizar este paso se tuvo en cuenta que la vía con las características descritas inicialmente tiene una vida útil promedio de 25 años, el mantenimiento

de la carpeta asfáltica tiene una frecuencia de 5 años y que existen dos tipos de mantenimiento, el primero en analizar se reemplaza la totalidad de la carpeta asfáltica y el segundo caso corresponde únicamente a la intervención de un 25 % de ésta y se denomina bacheo.

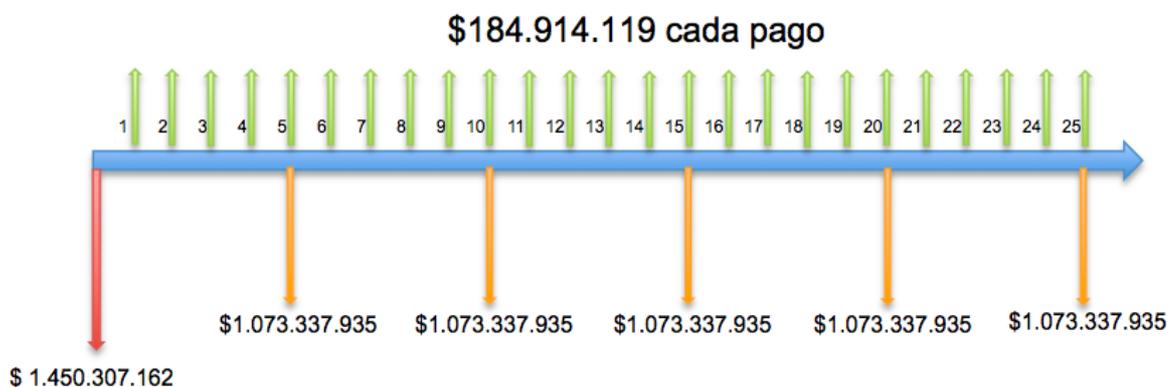
En este orden de ideas se calcularon los pagos equivalentes a la inversión durante cada uno de los años del periodo de vida útil de la vía, este valor fue calculado utilizando la Tasa de Oportunidad Social vigente equivalente al 12% para cada escenario.

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

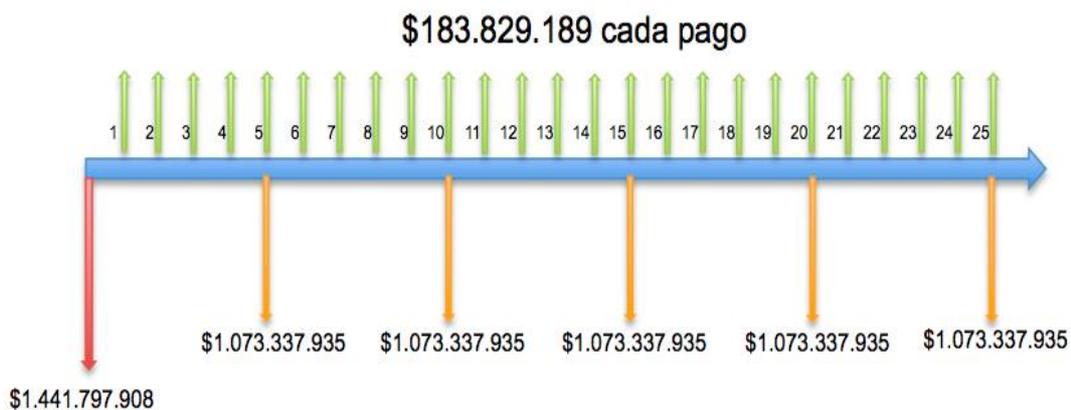
Tipo de mantenimiento	Ítems	Escenario 1	Escenario 2
		Valor en Pesos	Valor en Pesos
Reemplazo total carpeta asfáltica	Valor Inicial	\$1.450.307.162,00	\$1.441.797.908
	Pagos	\$184.914.119,37	\$183.829.190
	Costo Mantenimiento	\$1.073.337.935,00	
Reemplazo 25% carpeta asfáltica	Valor Inicial	\$1.450.307.162,00	\$1.441.797.908
	Pagos	\$184.914.119,37	\$183.829.190
	Costo Mantenimiento	\$318.667.250,00	

Tabla 16 Valores flujo de caja de los dos escenarios. Fuente: Elaboración propia.

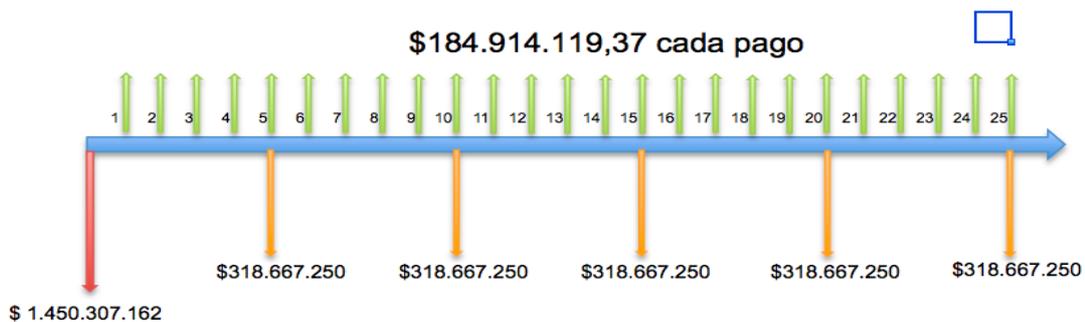
A continuación se muestran los flujos de caja para los dos escenarios y por cada mantenimiento estipulado.



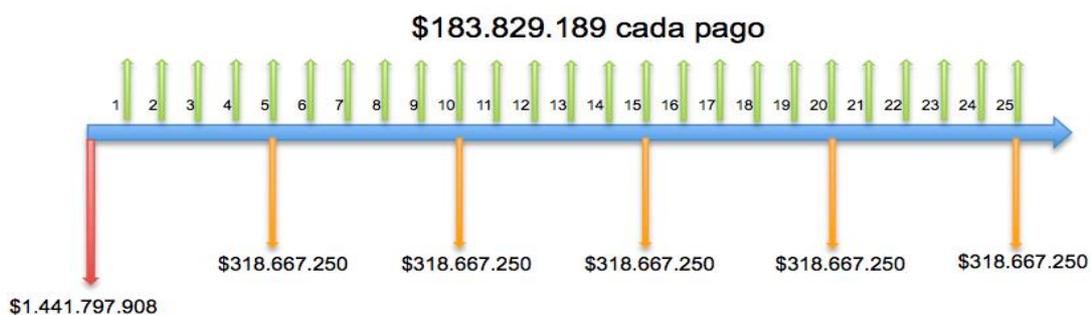
Gráfica 3 Flujo de Caja Escenario 1 Mantenimiento total carpeta asfáltica. Fuente: Elaboración propia



Gráfica 4 Flujo de Caja Escenario 2 Mantenimiento total de carpeta asfáltica. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 5 Flujo de Caja Escenario 1 Reemplazo 25% carpeta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 6 Flujo de Caja Escenario 2 Reemplazo 25% de la carpeta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Costo Anual Equivalente

El cálculo del costo anual equivalente se lleva a cabo utilizando la siguiente fórmula:

$$CAUE = VAN \times \frac{(1 + i)^n \times i}{(1 + i)^n - 1}$$

Los resultados del CAUE para los diferentes escenarios se muestran en la siguiente tabla:

	Escenario 1	Escenario 2
Tipo de mantenimiento	CAUE en pesos	CAUE en pesos
Reemplazo total carpeta	\$1.258.252.054	\$1.257.167.125
Reemplazo 25% carpeta	\$503.581.369	\$502.496.440

Tabla 17 Valores del CAUE para los escenarios 1 y 2. Fuente: elaboración propia.

4.3 MÉTODO COSTO DE ENFERMEDAD Y CAPITAL HUMANO

Este método al igual que al anteriormente desarrollado se llevó a cabo de manera secuencial, presentándose de esta forma los resultados obtenidos. Inicialmente se calcularon los costos de morbilidad asociados a la Infección Respiratoria Aguda, enfermedad que se encuentra asociada a la inhalación de gases generados en la quema de llantas usadas a cielo abierto.

Teniendo en cuenta el antecedente del incendio de un centro de acopio de llantas usadas en la localidad de Fontibón que tuvo lugar el año 2104, y sumado a que presenta un alto grado de disposición de llantas usadas en su espacio público, escogimos esta localidad para la aplicación del presente método de valoración.

La localidad de Fontibón cuenta con una población aproximada de 424.038 (Secretaría Distrital del Hábitat, 2018) habitantes de los cuales el 24.01%

(101.812 personas) y el 43.34% (183.778 personas) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2018) corresponden a las poblaciones de jóvenes (rango de edades entre los 14-19 años) y adultos (rango de edades entre los 20-64 años) respectivamente. Estos dos grupos poblacionales son los que cobran especial relevancia para la aplicabilidad de la metodología, toda vez que dentro de estos se encuentra el mayor grupo de personas laboralmente activos.

Inicialmente se estimaron los costos asociados por unidad de atención médica (urgencias, hospitalización y consulta externa) teniendo en cuenta los diferentes ítems tales como desplazamientos, imágenes diagnósticas entre otras que aplican para cada caso. A continuación se presentan los costos de cada uno de los ítems y los costos por paciente asociado a cada uno de los servicios médicos definidos anteriormente en la Tabla 12.

Para el cálculo del costo total del servicio de consulta externa, no se tomaron en cuenta los valores de los ítems de laboratorios, imágenes diagnósticas y medicamentos, toda vez que éstos no se encuentran incluidos dentro de los procedimientos propios de este servicio. Por otra parte los servicios de hospitalización y urgencias presentan el mismo valor el cual incluye la totalidad de los ítems.

TIPO DE ATENCIÓN	COSTO
CONSULTA EXTERNA	\$96.992,00
HOSPITALIZACIÓN Y URGENCIAS	\$759.436,00

Tabla 18 Costos por servicio médico. Fuente: Elaboración propia.

Según el informe de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C “ANÁLISIS DE CONDICIONES, CALIDAD DE VIDA, SALUD Y ENFERMEDAD” del año 2017 se reportaron los siguientes datos de atención de IRA por cada servicio: i)

11.252 casos en consulta externa, ii) 2.522 casos atendidos en urgencias y iii) 69 casos que requirieron de servicio de hospitalización.

Entonces los costos totales por atención médica resultaron de la multiplicación del número de casos reportados por cada servicio y su valor económico anteriormente calculado y presentado en la Tabla 19. El costo total estimado por atención médica de IRA en la localidad de Fontibón es de \$3.058.839.386,90 pesos, valor que se obtuvo de la sumatoria del valor equivalente resultante para cada servicio médico.

SERVICIO MÉDICO	NÚMERO DE CASOS	COSTO EN PESOS	TOTAL
CONSULTA EXTERNA	11252	\$96.992,00	\$1.091.315.381,18
URGENCIAS	2522	\$759.436,00	\$1.915.277.846,66
HOSPITALIZACIÓN	69	\$759.436,00	\$52.246.159,06
TOTAL			\$3.058.839.386,90

Tabla 19 Costo total por atención médica IRA Fontibón. Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente paso se calculó el costo asociado a los días de restricción médica laboral, para estos cálculos se utilizó la metodología desarrollada por los autores Dixon, Fallon Scura, Carpenter y Sherman citados en el capítulo del marco metodológico.

Como primera medida se determinó la cantidad de días de restricción médica para la población laboralmente activa (jóvenes y adultos) aplicando la siguiente fórmula:

$$No. de días = a * b * c * d$$

En donde,

a = Número de casos de IRA

b = Porcentaje de población productiva

c = Días de actividad restringida

d = Porcentaje días de actividad restringida de trabajo.

Para calcular el coste de restricción médica de IRA en Fontibón se tuvo en cuenta que la población total afectada por IRA es de 13.842 personas y teniendo en cuenta a los autores Dixon, Fallon Scura, Carpenter y Sherman que asumen que el porcentaje de días de actividad restringida de trabajo es del 50%, luego de aplicar la fórmula se tiene un total de No. De días de 68.990,33.

Luego reemplazando cada uno de los datos en la siguiente fórmula:

$$\text{Valor económico} = \text{No. de días} * \text{Valor Hora de trabajo} * \text{No. horas diarias trabajo}$$

La anterior fórmula se aplicó de manera independiente para cada uno de los grupos poblacionales; el Valor económico total de la restricción médica de IRA para la localidad de Fontibón es igual la sumatoria del resultado de cada población analizada lo que arrojó un resultado final de \$2.617.434.000 pesos. Es importante aclarar que se utilizó en la fórmula de Valor económico un promedio del valor de hora de trabajo para los niveles de escolaridad de bachiller, técnico y tecnológico.

En la siguiente tabla se listan los días y el valor económico de las restricciones por población y el valor total de la localidad en mención.

POBLACIÓN	ESCOLARIDAD	NO. DE DÍAS	VALOR ECONÓMICO
Jóvenes (14-19 años)	Bachilleres. Técnicos y Tecnólogos	1196,98	\$44.211.572
Adultos (20-64 años)	Adultos Especialización, maestría Doctorado	60,17279108	\$7.243.360
	Profesionales	1534,987552	\$120.723.701
	Bachilleres. Técnicos y Tecnólogos	66198,19395	\$2.445.255.367
TOTAL			\$2.617.434.000

Tabla 20 Costo total de restricción médica por IRA Fontibón. Fuente: Elaboración propia.

Por último se calculó el costo de la mortalidad por IRA en la localidad de Fontibón de acuerdo con los autores Dixon, Fallon Scura, Carpenter y Sherman, éstos contemplan una reducción de la vida laboral de 12,5 años (Dixon, Fallon Scura, Carpenter, & Sherman, 1994), adicionalmente para determinar el valor salarial por cada año de vida se utilizó el promedio del valor de la hora de todas las escolaridades y para la localidad en cuestión se reportaron 31 casos de muertes por IRA (no se especifican edades) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2018). Teniendo en cuenta que el costo de la mortalidad es igual al número de casos presentados por el valor salarial/vida, el resultado obtenido para la localidad de Fontibón fue de \$5.116.940.836 pesos.

Este valor puede ser más alto al que se pueden presentar en otros casos de estudio las diferencias básicamente pueden deberse a las variables analizadas y a las que intervienen directamente, estas son; población analizada, escolaridad, servicios médicos, enfermedades respiratorias estudiadas.

De lo anterior podemos dar cuenta que según la investigación “Costos De Enfermedades Respiratorias Relacionadas Al Humedal Jaboque” el costo por enfermedad ascendió a los \$190.904.000 millones de pesos, la diferencia entre los valores correspondientes a las localidades comparadas radica

principalmente en: i) la investigación relacionada con el Humedal de Jaboque no contempló dentro de los costos de atención los traslados requeridos, ii) la población analizada es menor, iii) se analizaron de forma separada dos clases de enfermedades respiratorias.

El costo total de enfermedad y capital humano por IRA en la localidad de Fontibón asciende a los \$10.793.214.223,21 de pesos.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A través de la estructuración del proceso a seguir en la gestión del aprovechamiento de las llanta usadas en su forma original, se definieron 18 actividades dentro de las cuales se contemplan funciones administrativas, limpieza y orden de las instalaciones y las labores propias de la manipulación, transporte y acopio de las llantas usadas; el procedimiento resultante sirvió como insumo para el primer paso de la evaluación ambiental propuesta, esto correspondió al análisis de inventarios aplicándose la Matriz MET identificando de esta forma las materias primas, insumos y fuentes de energía requeridas en la gestión propuesta. Del mismo modo se identificaron las salidas del proceso representadas en emisiones, vertimientos y residuos generados en las diferentes actividades.

Con base en los resultados anteriores y utilizando la matriz de identificación de los aspectos ambientales se obtuvo como resultado que el consumo de agua presentándose en el 61% seguido por el consumo de energía con el 27% de presencia en las actividades del proceso de gestión formulado; son los aspectos ambientales significativos de entrada, estos consumos se dan principalmente por las actividades de lavado y acondicionamiento de las llantas usadas, lavado de zonas de acopio y la utilización de equipos y herramientas eléctricas.

Por otra parte los aspectos ambientales significativos de salida identificados fueron la generación de residuos sólidos, que se presenta en 12 de las 18 actividades del proceso, seguida por la generación de vertimientos presente en el 60% de la gestión propuesta. Los residuos generados en su gran mayoría corresponden a residuos aprovechables como plástico, papel y cartón los

cuales pueden ser comercializados y de esta forma reciclados, los vertimientos son de aguas residuales no domésticas pero no contienen ningún tipo de sustancia peligrosa que requiera de la implementación de un sistema de tratamiento antes de ser entregado a la red de alcantarillado distrital.

Como segunda instancia, la evaluación de los impactos ambientales se llevó a cabo mediante la metodología de Vicente Conesa simplificada, valorando las 10 variables propuestas por la metodología citada para cada una de las actividades del procedimiento definido se pudo determinar el valor tanto cuantitativo como cualitativo de los impactos asociados a los aspectos ambientales anteriormente identificados. La calificación total y el carácter de la misma (beneficioso + o perjudicial -) permitieron identificar los impactos ambientales relevantes de la propuesta.

Los impactos de carácter perjudicial y de mayor magnitud identificados fueron el agotamiento de los recursos naturales con una calificación de - 71 y magnitud severo, este impacto se encuentra directamente relacionado con la actividad de relleno de la malla de llantas usadas con material de cantera, viéndose directamente impactado el recurso suelo. Los impactos agotamiento del recurso hídrico y contaminación del agua también tienen carácter perjudicial pero de magnitud moderado dado que las calificaciones obtenidas fueron de -44 y -41 respectivamente. Estos impactos están ligados a las actividades de lavado de lavado y acondicionamiento de las llantas usadas, lavado de zonas de acopio, consumo de agua y generación de vertimientos del proceso analizado; el recurso directamente impactado es el agua.

Por otra parte los impactos de carácter beneficioso y de magnitud moderado identificados para el proceso definido fueron la generación de empleo que obtuvo una calificación de +30 y la reutilización de los recursos naturales con una calificación +26.

La gestión propuesta estimula la generación de empleos directos e indirectos asociados a las diferentes actividades del proceso y que puede llegar a mantenerse en el tiempo; por otra parte la reutilización viene dada por la recolección de aguas lluvias y su utilización en actividades de lavado dentro del proceso.

Finalmente, la evaluación económica del aprovechamiento de las llantas usadas en su forma original como insumo en el proceso constructivo de vías locales abarcó dos aspectos importantes que fueron decisivos para determinar la viabilidad del proyecto. Como primera medida se aplicó la metodología de la valoración por cambio de productividad en la cual se registró una diferencia de \$8.509.254 pesos entre los valores de inversión inicial de los dos escenarios analizados, siendo más baja la inversión de la alternativa de la utilización de las llantas usadas como insumo, esto se debe a que los costos de material de relleno y transporte del mismo disminuyen.

Como el proyecto es dinámico se determinó la valoración en el tiempo de los costos (mantenimiento y otros) asociados a este y se calculó el CAUE para cada uno de los casos teniendo en cuenta la vida útil de la vía y la Tasa de Oportunidad Social vigente; como resultado de esto se obtuvo que el Escenario 2 correspondiente al aprovechamiento de las llantas usadas en su forma original como insumo constructivo presentó un valor del CAUE menor por lo tanto es el de mayor viabilidad dentro de las dos alternativas propuestas. Lo anterior también se puede ver favorecido dadas las ganancias intangibles representadas en el mejoramiento de la calidad de vida tanto de los habitantes de las localidades afectadas por la disposición de llantas en espacio público como de aquellos que puedan favorecerse de la generación de empleo directo e indirecto generados el desarrollo del proceso propuesto.

La segunda parte de la evaluación se llevó a cabo determinando una aproximación a los costos de enfermedad y capital humano asociados a la IRA en la localidad de Fontibón. Localidad seleccionada por presentar antecedente de incendios de llantas usadas y registrar una de las más altas afectaciones de disposición de llantas usadas en espacio público.

El costo estimado por atención de la IRA en la localidad de estudio en los servicios médicos de Urgencias, Consulta externa y Hospitalización asciende a los \$3.058.839.386,90 de pesos, por otra parte las restricciones laborales se tasaron en \$2.617.434.000 de pesos para la totalidad de la población de rangos de edades activamente laborales. Finalmente y dada la tasa de mortalidad de IRA en Fontibón, el costo por capital humano asciende a \$5.116.940.836 de pesos.

De manera general el monto relacionado con el costo de morbilidad y mortalidad que puede ser evidenciado mediante el aprovechamiento de las llantas usadas en su forma original dispuestas en espacio público en la localidad de Fontibón es de aproximadamente \$10.793.214.223,21 de pesos.

Es importante tener en cuenta que este valor no contempla variables intangibles como el dolor, incomodidad, ansiedad y bienestar psicológico de los pacientes, por cuanto dicho costo podría ser susceptible de variaciones.

5.2 RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los beneficios que pueden derivarse de el aprovechamiento de la llantas usadas planteado en la presente investigación, es recomendable que se abra el espectro de inclusión de este tipo de residuos en varios procesos constructivos y productivos estipulandolos dentro de la normativad ambiental existente vigente, lo que repercutiría en la obligatoriedad de la implementación

de ampliación de fin de vida las llantas usadas; por tanto los impactos sociales tales como generación de empleo, mejora en la calidad de vida serían aún mas tangibles reforzando el tejido social de un sector tan importante como el de los recicladores.

Por otro lado es igualmente importante propender por mejorar la eficiencia de la gestión de las llantas usadas teniendo en cuenta que de aprovechar las miles de llantas usadas que se producen anualmente en la ciudad de Bogotá, la ciudad también se encontraría beneficiada, inicialmente disminuyendo la presión sobre el Relleno Sanitario Doña Juana, en segundo lugar, los alcances de mantenimiento de malla vial podrían ampliarse teniendo en cuenta lo beneficios económicos y finalmente se disminuiría el pasivo ambiental por utilización de material de cantera.

Finalmente se recomienda estimular los procesos investigativos que promuevan la incorporación de residuos en el desarrollo integral de los territorios y que permita que el trabajo interdisciplinario entre la academia y el Estado unan esfuerzos y generen resultados en pos de lograr las metas planteadas para nuestro país para cada uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que apliquen.

6 ANEXOS

ANEXO I MATRIZ DE IDENTIFICACION DE ASPECTOS AMBIENTALES

DATOS INICIALES		ENTRADAS											
Actividad principal	Descripción de Sub actividad (2)	Consumo de Materias primas, elementos e insumos (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Consumo de agua (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Consumo de energía (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Consumo de combustibles (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Consumo de materias primas, elementos o insumos reusados (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Aprovechamiento de recursos naturales (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)
Selección llantas	Ubicación geográfica de las llantas	Traslado al lugar de recolección	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Determinación de estado de las llantas	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Selección de número de las llantas	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Transporte	Transporte de las llantas usadas al lugar de acopio temporal	Carque de llantas usadas seleccionadas	—	—	X	El consumo de agua se presenta en los procesos de hidratación del personal que realiza las actividades de carga y apilamiento de las llantas dentro del vehículo.	—	—	—	—	—	—	—
		Organizar las llantas usadas dentro del vehículo	—	—	X	El consumo de agua se presenta en los procesos de hidratación del personal que realiza las actividades de carga y apilamiento de las llantas dentro del vehículo.	—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	El consumo de agua se presenta en los procesos de hidratación del personal que realiza las actividades de carga y apilamiento de las llantas dentro del vehículo.	—	—	X	se hace el traslado a la zona de recolección debe hacerse en los vehículos en los cuales se transportaran posteriormente las llantas al acopio temporal	—	—	—
	Descarque de llantas usadas seleccionadas	—	—	X	El consumo de agua se presenta en los procesos de hidratación del personal que realiza las actividades de carga y apilamiento de las llantas dentro del vehículo.	—	—	—	—	—	—	—	

DATOS INICIALES		ENTRADAS												
Disposición final	Cargue de linternas usadas seleccionadas	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Transporte al lugar de recolección	—	—	—	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—
	Descargue de linternas usadas en el lugar de	—	—	X	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tarjetas de linternas y consolidación de la matriz de las linternas.	X	Se requieren grasas metálicas las cuales vienen en empaquetadas en cajas de cartón.	X	El consumo de agua se presenta en los procesos de hidratación del personal que realiza las actividades	X	Las herramientas tienen unas baterías que son usadas en el equipo de hidratación y proviene de la Hidroeléctrica El Guavio.	—	—	—	—	—	—	—	—
Repleno de la matriz	X	Se utiliza material de relleno proveniente de cementa. Para el equipo de compactación se requiere aceite para motor.	X	El consumo de agua se presenta en los procesos de hidratación del personal que realiza las actividades. En el primer uso que es compactar el material se hace necesario humedecerlo. En el segundo uso industrial el agua utilizada puede provenir de reservorios de agua lluvia.	—	—	X	Para la compactación final del material se realiza mediante un vibracompactor el cual funciona con combustible ACPM	—	—	—	—	X	Aprovechamiento de aguas lluvias.

DATOS INICIALES		SALIDAS									
Actividad principal	Descripción de Sub actividad (2)	Generación de emisiones (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Marque con "x" Emisión de ruido (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Marque con "x" Generación de Vertimientos (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Marque con "x" Generación de Residuos (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)	Marque con "x" Publicidad Exterior Visual (3)	Descripción de la condiciones en las que se realiza la actividad (4)
Selección llantas	Ubicación geográfica de las llantas	X	El vehículo utilizado en	X	El ruido se encuentra		Dado los procesos de hidratación es posible que los trabajadores requieran entrar al baño y por tanto generar vertimientos puntuales que se desecan en la red de alcantarillado de la ciudad y corresponde ARD.	X	Generación de residuos sólidos aprovechables como los envases del agua que en su mayoría corresponde a plástico.		
		Traslado al lugar de recolección									
		Desembarco de estado de las llantas									
	Selección de diámetro de las llantas										
Transporte	Transporte de las llantas usadas al lugar de acopio temporal	X	El vehículo utilizado en el proceso de recolección es de motor de combustión interna, en este proceso se generan emisiones que dependen del tipo de combustible, dentro de las emisiones más representativas se tienen: Material incluido SOX	X	El ruido se encuentra asociado al normal funcionamiento del vehículo de transporte de las llantas usadas.		Dado los procesos de hidratación es posible que los trabajadores requieran entrar al baño y por tanto generar vertimientos puntuales que se desecan en la red de alcantarillado de la ciudad y corresponde ARD.				
		Descargue de llantas usadas seleccionadas				X	Dado los procesos de hidratación es posible que los trabajadores requieran entrar al baño y por tanto generar vertimientos puntuales que se desecan en la red de alcantarillado de la ciudad y corresponde ARD.	X	Generación de residuos sólidos aprovechables como los envases del agua que en su mayoría corresponde a plástico.		

DATOS INICIALES		SALIDAS										
Acopio temporal	Apilamiento de las llantas recolectadas en las áreas designadas al acopio.	X	El vehículo utilizado en el proceso de recolección es de motor de combustión interna, en este proceso se generan diferentes emisiones que dependen del tipo de combustible, dentro de las emisiones más representativas se encuentran: Material particulado Material No SOx	X	El ruido se encuentra asociado al normal funcionamiento del vehículo de transporte de las llantas usadas.	X	Dado los procesos de hidratación es posible que los trabajadores requieran entrar al baño y por tanto generar vertimientos puntuales que se descargan a la red de alcantarillado de la ciudad y corresponde ARD.	X	Generación de residuos sólidos aprovechables como las envases de agua que en su mayoría corresponde a plástico.			
	Limpieza de cada una de las llantas usadas recolectadas.	-	-	X	El ruido puede considerarse ocupacional y está asociado al funcionamiento de las hidrobombas.	X	Los vertimientos son puntuales y entregados al alcantarillado de la ciudad de Bogotá. El vertimiento es ARND.	X	Se generan residuos ordinarios correspondientes a elementos adheridos dentro de las llantas.	-	-	
	Corte de las caras laterales de las llantas.	-	-	-	El ruido puede considerarse ocupacional y está asociado al funcionamiento de las hidrobombas.	-	-	X	Se generan residuos ordinarios que corresponden a los residuos de bardo de las instalaciones.	-	-	
Labores administrativas referente al funcionamiento del lugar de acopio temporal.	Limpieza de las zonas de acopio	-	-	X	El ruido puede considerarse ocupacional y está asociado al funcionamiento de las hidrobombas.	X	Los vertimientos son puntuales y entregados al alcantarillado de la ciudad de Bogotá. El vertimiento es ARND.	X	Se generan residuos ordinarios que corresponden a los residuos de bardo de las instalaciones.	-	-	
	Labores administrativas referente al funcionamiento del lugar de acopio temporal.	-	-	-	-	-	X	Los vertimientos son puntuales y entregados al alcantarillado de la ciudad de Bogotá. El vertimiento es ARD.	X	Se generan residuos ordinarios que corresponden a los residuos de bardo de las instalaciones.	-	-

ANEXO II MATRIZ VICENTE CONESA



Matriz Conesa Simplificada
TESIS.xlsx

7 REFERENCIAS

Galeano, S. U.-C.-C. (2006). Los anfibios de Colombia, diversidad y estado del conocimiento. Tomo II. En M. & Cháves, Galeano, S.P., Urbina, J.C., Gutiérrez-C., P.D.A., Rivera-C., M. & Páez, V. 2006. *Los anfibios de Colombia, diversidad y estado del conocimiento. Informe Nacional sobre el Avance en el Conocimiento y la Información de la Biodiversidad 1998-2004*. Bogotá: IAvH, Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander von Humboldt.

CEPAL. (2016). *Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras. Bolivia (Estado Plurinacional de), Chile, Colombia y e l Perú*. SANTIAGO: NACIONES UNIDAS.

Noguera, K. M., & Olivero, J. T. (2010). Los Rellenos Sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, XXXIV (132), 348-356.

El Tiempo. (6 de Noviembre de 2014). *EL TIEMPO*. Recuperado el 14 de Mayo de 2018, de EL TIEMPO: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14797575>

UNFPA. (2014). *UNFPA*. Obtenido de UNFPA: <https://www.unfpa.org/es/tendencias-demogr%C3%A1ficas>

PNUD. (2018). *PNUD*. Obtenido de PNUD: <http://www.co.undp.org/content/colombia/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-comunities.html>

Asociación Nacional de Empresarios de Colombia. (2011). *ANDI*. (ANDI, Productor, & ANDI) Recuperado el 28 de AGOSTO de 2016, de ANDI: WWW.ecopunto.com.co/llantas

Secretaría Distrital de Ambiente. (9 de NOVIEMBRE de 2015). *DECRETO 442 DE 9 DE NOVIEMBRE DE 2015. DECRETO 442 DE 9 DE NOVIEMBRE DE 2015 " POR MEDIO DEL CUAL SE CREA EL PROGRAMA DE APROVECHAMIENTO Y/O VALORIZACIÓN DE LLANTAS USADAS EN EL DISTRITO CAPITAL Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES" . BOGOTÁ D.C., BOGOTÁ D.C., COLOMBIA: SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE.*

Secretaria Distrital de Ambiente. (9 de NOVIEMBRE de 2015). Decreto 442 DE 9 de noviembre de 2015. *Decreto 442 DE 9 de noviembre de 2015 "Por medio del cual se crea el programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas en el Distrito Capital y se adoptan otras disposiciones"* . BOGOTÁ D.C., BOGOTÁ D.C., COLOMBIA: SECRETARIADISTRITAL DE AMBIENTE.

ETRMA. (2015). *End of Lyfe Tyre Report 2015*. ETRMA. ETRMA.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación . (12 de 10 de 2007). Gestión ambiental. ANÁLISIS CICLO DE VIDA. PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA. *GESTIÓN AMBIENTAL. Análisis ciclo de vida. Principios y marco de referencia* . BOGOTÁ D.C., BOGOTÁ D.C, COLOMBIA: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación .

Departamento Administrativo del Medio Ambiente. (2006). *Guía para el Manejo de Llantas Usadas*. Bogotá D.C, Colombia: Kimpres Ltda.

United States Environmental Protection Agency. (2010). *GUÍA SOBRE APLICACIONES DE RECICLAJE Y GESTIÓN DE LAS LLANTAS DE DESECHO EN EE.UU. Y MÉXICO*. WASHINGTON DC, WASHINGTON , EE.UU.: EPA.

Mechanical Concrete. (2016). *Mechanical Concrete*. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de Mechanical Concrete: <http://www.mechanicalconcrete/sustainability/>

Secretaria Distrital de Planeación. (2013). *Reloj de Población*. (S. D. PLANEACIÓN, Productor, & SECRETARIA DISTRITAL DE PLANEACIÓN) Recuperado el 3 de 10 de 2106, de SINUPOT: www.sdp.gov.co

Secretaria Distrital de Ambiente. (2018). *Secretaria Distrital de Ambiente*. Recuperado el 14 de Mayo de 2018, de Secretaria Distrital de Ambiente: <http://ambientebogota.gov.co/bg/aspectos-ambientales>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales . (2017). *Tercer boletín sobre contaminación atmosférica*. Bogotá D.C: IDEAM.

Al-Rahbi, A. S., & Williams , P. T. (5 de FEBRERO de 2016). Production of activated carbons from waste tyres for low temperature NOx control. *WASTE MANAGEMENT* , 188-195.

Belabdelouahab, F., & Trouzine, H. (2014). RESEARCH AND ENHANCEMENT OF USED TYRES , SUCH AS A MATERIAL INNOVATE IN ALGERIA. *PHYSIC PROCEDIA* , 68-74.

Belabdelouahab, F., & Trouzine, H. (11 de 07 de 2014). RESEARCH AND ENHACEMENT OF USED TYRES, SUCH AS MATERIA INNOVATIVE IN ALGERIA. *PHYSICS PROCEDIA* , 68-74.

Ospina Valle , G. (2016). EL PAPEL DE LAS VÍAS SECUNDARIAS Y LOS CAMINOS VECINALES EN EL DESARROLLO DE COLOMBIA. *REVISTA DE INGENIERÍA* , 20-27.

Rahgozar , M. A., & Saberian, M. (2016). Geotechnical prperties or a pet stabilised with shredded waste tyre chips. *MIRES A PEAT* , 1-12.

Villar, L., & Ramírez , j. M. (2014). *INFRAESTRUCTURA REGIONAL Y POBREZA RURAL*. FEDESARROLLO. BOGOTÁ D.C.: FEDESARROLLO.

Williams , P. T. (2 de JUNIO de 2013). Pyrolysis of a waste tyres: A review. *WEST MANAGEMENT* , 1714-1728.

Velázquez Muñoz, C. J. (2012). *Ciudad y Desarrollo Sostenible*. Barranquilla: ECOE.

Brundtland, G. H. (1987). Our Common Future; Brundtland Report. *Oxford University Press* .

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (12 de 10 de 2007). GESTIÓN AMBIENTAL. ANÁLISIS CICLO DE VIDA. PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA. *GESTIÓN AMBIENTAL. ANÁLISIS CICLO DE VIDA. PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA* . BOGOTÁ D.C., BOGOTÁ D.C, COLOMBIA: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.

Gómez Yepes, M. (Marzo de 2013). *PREVENCIÓN INTEGRAL*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2108, de *PREVENCIÓN INTEGRAL*: <https://www.prevenccionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2013/exposicion-laboral-material-particulado-nanoparticulas-su-incidencia-en-salud-trabajador>

CINEP. (16 de Febrero de 2018). *CINEP*. Obtenido de CINEP: <http://www.cinep.org.co/Home2/temas/ciudadania-y-paz/4-1-participacionciudadana.html>

GESTIONÁNDOTE. (16 de Febrero de 2018). *Gestionandote Subvenciones y Recursos para la Gestión Social*. Obtenido de Gestionandote Subvenciones y Recursos para la

Gestión Social: <http://gestionandote.org/participa-la-segunda-macrorrueda-la-reconciliacion/>

Departamento Administrativo del medio ambiente. (2006). *GUÍA PARA EL MANEJO DE LLANTAS USADAS*. Bogotá D.C, Colombia: Kimpres Ltda.

Innovation and Ecodesign in the Ceramic Industry. (2018). *Ineg Research for Sustainability*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2018, de Ineg Research for Sustainability: http://www.Ineg.pt/download/12262/Herramienta_6_MET_Matrix.pdf

Gordilo Bedoya, F., Henández Castro , N., & Ortega Morelaes, J. (2010). Pautas para una construcción sostenible en Colombia. *CPNNA-Colegio Mayor de Cundinamarca* , 6-125.

Hurtado Melo, S. (s.f.). Memoria. Principales métodos de descontaminación de suelos. *Memoria. Principales métodos de descontaminación de suelos* .

Loray , R. (2017). Políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación: tendencias regionales y espacios de convergencia. *Estudios Sociales* , 68-80.

Malagon Castro , D. (s.f.). LOS SUELOS DE COLOMBIA. *LOS SUELOS DE COLOMBIA* . BOGOTÁ D.C, COLOMBIA.

Muñoz, C., Zaror, C., Saelzer, G., & Cuchí, A. (2012). Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en la emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda tipología social. Región del Biobío, Chile. *Revista de la Construcción* , 125-145.

Toro Calderón , J., & Martinez Prada, R. (2013). Métodos de Evaluación del Impacto Ambiental en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* , 4 (2), 43-53.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (10 de Abril de 2018). *Sistema de Información Ambiental de Colombia*. Obtenido de Sistema de Información Ambiental de Colombia.

Organización Internacional de Normalización. (23 de SEPTIEMBRE de 2015). SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL. REQUISITOS CON ORIENTACIÓN DE USO. *NORMA TÉCNICA* , 2, 1-38. BOGOTÁ, BOGOTÁ, COLOMBIA: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (4 de Julio de 2016). *MINAMBIENTE*. Recuperado el 14 de Mayo de 2018, de MINAMBIENTE: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2351-constitucion-del-91-la-carta-que-le-dio-un-reconocimiento-al-medio-ambiente>

Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future; Brundtland Report*. *Oxford University Press*.

Comisión de las Naciones Europeas . (2001). *EUR-Lex Access To European Union Law*. Obtenido de EUR-Lex Access To European Union LAW: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52001DC0031>

Malthus, T. R. (1978). *Ensayo Sobre el Principio de la Población*.

Redclift, M. (1996). *Desperdiciado: Contando los costos del consumo global*. Londres, Reino Unido, Earthscan.

Daly, H. (1989). *Economía, Ecología, Ética. Ensayos hacia una economía en estado estacionario*. Ciudad de México, México: Fondo de Cultura Económica.

Grau , J., Terraza , H., Rodriguez Velosa , D. M., Rhim, A., & Sturzenegger, G. (2015). *Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo. BID.

Dixon, J., & Pagiola , S. (1998). Análisis económico y Evaluación ambiental. En T. W. Bank, *Environmental Assessment SourceBook UPDATE* (págs. 2-17). The World Bank.

Cristeche , E., & Penna, J. (2008). Métodos de la valoración económica de los servicios ambientales. En *Métodos de la valoración económica de los servicios ambientales* (Vol. 3). Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Osorio Múnera, J. D., & Correa Restrepo, F. (2004). Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimación. (U. d. Medellín, Ed.) *Semesre Económico* , 7 (13), 159-193.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Guía de aplicación de la valoración económica ambiental. *Guía de aplicación de la valoración económica ambiental* . Bogotá D.C, Colombia.

Universidad Nacional Abierta y A Distancia. (27 de Abril de 2005). Economía para Ingenieros. *Economía para ingenieros* . Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia.

Piraquive Galeano, G., Matamoros Cárdenas, M., Cépedes Rangel , E., & Rodríguez Chacón , J. (8 de Agosto de 2018). Actualización de la tasa de rendimiento del capital en Colombia bajo la metodología Harberger. *Actualización de la tasa de rendimiento del capital en Colombia bajo la metodología HarbergerA* . Bogotá C.C, Bogotá D.C, Colombia: Departamento Nacional de Planeación.

Dixon, J. A., Fallon Scura, L., Carpenter, R. A., & Sherman, P. B. (1994). *Economic Analysis of Environmental Impacts*. Londres, Inglaterra: Earthsan Publications Ltd.

Bernal Aguirre , C., Carvajal Sierra , H., & Alvis Zakzuk, N. J. (2017). *Costos de económicos de la enfermedad de la infección respiratoria aguda en un municipio de Colombia* (Vol. 43). (U. I. Santander, Ed.) Bucaramanga , Santander , Colombia: Revista de la Universidad Industrial de Santander.

Pulido Gutierrez , M. A., Delgado, W., & Garzón , G. (Noviembre de 2018). Costos de Enfermedades Respiratorias relacionadas con el Humedal Jaboque. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* .

Sechretaría Distrital del Hábitat. (2018). *Diagnóstico Fontibó 2018*. Recuperado el 15 de Octubre de 2018, de Secretaria Distrital del Hábitat: <http://habitatencifras.habitatbogota.gov.co/documentos/boletines/Localidades/Fontibon.pdf>

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2018). *Analisi de condiciones, calidad de vida, saud y enfermedad localidad de Fontibón*. Alcaldía Mayor de Bogotá .