



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Desempeño Ambiental de tubería de PVC corrugada de
doble pared y tubería de PVC de perfil cerrado con sello
elastomérico en el Ecuador”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL

Presentada por:

Joel Estuardo Salgado Herrera

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres, a mi hermana, a mi novia y a mi director de proyecto, Dr. Ángel Ramírez M, por acompañarme siempre a lo largo de este proceso, transmitirme sus conocimientos con toda la predisposición y alentarme a culminar satisfactoriamente este trabajo. Especialmente, quiero agradecer a mi familia por, fortaleza y apoyo para lograr mi objetivo. Confío plenamente en que las recompensas de mi esfuerzo vendrán guiadas por Dios.

DEDICATORIA

Este trabajo realizado con esfuerzo, sacrificio y constante seguimiento por varios meses está dedicado a mis padres, hermana, abuela y novia.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ángel Ramírez M., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ángel Ramírez M., Ph.D.
DIRECTOR DE PROYECTO

Andrés Rigail C., Ph.D..
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Joel Estuardo Salgado Herrera

RESUMEN

La presente investigación se realiza con el fin de presentar información acerca del desempeño ambiental de dos productos a base de PVC del catálogo de tuberías para agua, aplicando la metodología denominada Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de acuerdo la ISO 14040.

Para el análisis se estableció como unidad funcional “1 tubería de PVC corrugada 975mmx6m” y “1 tubería unión-lisa perfil cerrado con sello elastomérico con 1035 mm x6m”. Los límites del sistema estudiado incluyen desde la producción de la materia prima y la fabricación de las tuberías (cuna a la puerta).

En el análisis de inventario se cuantificaron las entradas y salidas del consumo de agua, energía, consumo de materias primas, generación aguas residuales, emisiones y desechos de los procesos; en cuanto a la evaluación de impactos se realizó mediante el método denominado ReCiPe. Se utilizaron 8 categorías de impacto (cambio climático, eutrofización de agua dulce y marina, agotamiento de ozono, agotamiento de combustibles fósiles, acidificación terrestre, material particulado agotamiento de agua). Los cálculos fueron realizados usando la herramienta OpenLCA.

Los resultados indican que, para la producción de las tuberías, el proceso que mayormente contribuye al impacto ambiental se genera durante la producción de las materias primas representando aproximadamente el 95% de aportación, en comparación con la elaboración de las tuberías cuya contribución es menor al 5%. Entre las medidas que se podrían plantear para optimizar el desempeño ambiental de las tuberías se encuentran: evitar desperdicio, reducir el espesor de las paredes para reducir la cantidad de materia prima; adquirir equipos y maquinas eficientes para los procesos involucrados en la fabricación de las tuberías estudiadas para la reducción del consumo de energía eléctrica.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
CAPÍTULO 1	
1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Justificación del estudio.....	2
CAPÍTULO 2	
2 MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 El sector del plástico en el mundo.....	3
2.2 Importancia del sector del plástico.....	3
2.3 Industria de plástico en Ecuador.....	4
2.4 Tipos de plástico.....	6
2.5 Plástico de un solo uso y plásticos de larga duración.....	6
2.6 Demanda del PVC.....	7
2.7 Aplicaciones de PVC.....	8
2.8 Retos ambientales de la industria del plástico.....	10
2.9 Materiales usados en instalaciones hidráulicas.....	11
2.10 Análisis del ciclo de vida.....	12
2.11 Beneficios del Análisis Ciclo de Vida.....	12
2.12 Análisis de ciclo de vida de productos de PVC.....	13
CAPÍTULO 3	
3 METODOLOGÍA.....	18
3.1 Definición de objetivo y alcance.....	18
3.2 Análisis de Inventario de ciclo de vida (AICV).....	18
3.3 Evaluación de impacto de ciclo de vida e interpretación.....	19
3.4 Interpretación de ciclo de vida.....	19
CAPÍTULO 4	
4 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE TUBERÍA CORRUGADA Y LISA.....	20
4.1 Objetivo y Alcance.....	20
4.1.1 Objetivo.....	20
4.1.2 Alcance.....	20
4.2 Análisis del Inventario de Ciclo de Vida.....	25
4.2.1 Requerimiento de calidad de datos.....	25
4.2.2 Fuente de datos.....	25
4.2.3 Inventario de entradas y salidas de procesos desarrollados para este estudio.....	28
4.2.4 Evaluación de Impacto De Ciclo De Vida.....	37

4.2.5	Resultados de caracterización de impactos.....	39
CAPÍTULO 5		
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1	Conclusiones	48
5.2	Recomendaciones	49
BIBLIOGRAFÍA		

ABREVIATURAS

ACV	Análisis del Ciclo de Vida
ADP	Potencial de agotamiento abiótico
AP	Potencial de acidificación
FDP	Potencial de agotamiento de combustibles fósiles
FEP	Potencial de eutrofización de agua dulce
GWP	Cambio climático, potencial de calentamiento global
MEP	Potencial de eutrofización marina
PE	Poliestireno
PMFP	Potencial de formación de material particulado
ODP	Potencial de agotamiento del ozono
PP	Polipropileno
PVC	Policloruro de Vinilo
RDAP	Red de Distribución de Agua Potable
TAP	Potencial de acidificación terrestre
TC	Tubería Corrugada
TUL	Tubería Unión Lisa
WDP	Potencial de agotamiento de los recursos hídrico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Ranking de empresas con mayores ingresos en el 2019.....	5
Figura 2.2	Volumen del consumo global por región de PVC en 2017	7
Figura 2.3	Valor del mercado de PVC en el 2019.....	7
Figura 2.4	Consumo de PVC por aplicación en 2017	8
Figura 4.1	Espesor tubería corrugada	21
Figura 4.2	Espesor tubería y unión lisa	21
Figura 4.3	Tubería corrugada doble 975mm x 6m.....	21
Figura 4.4	Tubería unión-lisa perfil cerrado con sello elastomérico de 1035 mm x 6m	22
Figura 4.5	Limites de sistema del ACV Tubería y Unión Lisa 1035mm x 6m	23
Figura 4.6	Limites de sistema del ACV de la Tubería corrugada doble pared 975mm x 6M.....	24
Figura 4.7	Categoría de impacto, metodo ReCiPe mindpoint	37
Figura 4.8	Categorías de impacto, metodo ReCiPe endpoint	37
Figura 4.9	Resultados de caracterización de impactos por la materia prima de la tubería Corrugada 975mm x 6m	41
Figura 4.10	Resultados de caracterización de impactos por la materia prima para la tubería Lisa 1035mm x 6m	42
Figura 4.11	Caracterización de impactos por procesos de la de unidad funcional (tubería Corrugada)	47
Figura 4.12	Caracterización de impactos por procesos de la unidad funcional (tubería unión-lisa)	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Aplicaciones industriales del PVC	9
Tabla 2	Tipos de tuberías.....	11
Tabla 3	Revisión bibliográfica.....	16
Tabla 4	Especificaciones de la unidad funcional	20
Tabla 5	Fuente de datos para la elaboración de tubería PVC corrugada 975mm x6m.....	26
Tabla 6	Fuente de datos para la elaboración de tubería PVC lisa 1035mmx6m.....	27
Tabla 7	Inventario de entrada y salidas materias primas tubería corrugada 975mmx6m	28
Tabla 8	Inventario de entrada y salidas compuesto tubería corrugada 975mmx6m	30
Tabla 9	Inventario de entrada y salidas extrusión tubería corrugada 975mmx6m	30
Tabla 10	Inventario de entrada y salidas del producto terminado tubería corrugada 975mmx6m.....	31
Tabla 11	Inventario de entrada y salidas de las materias primas tubería lisa de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m	32
Tabla 12	Inventario de entrada y salidas compuesto tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m.....	33
Tabla 13	Inventario de entrada y salidas extrusión tubería lisa de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m	34
Tabla 14	Inventario de entrada y salidas formación tubería-unión tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m.....	34
Tabla 15	Inventario de entrada y salidas formación tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m.....	35
Tabla 16	Inventario de entrada y salidas formación unión tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m	35
Tabla 17	Inventario de entrada y salidas producto terminado tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m	36
Tabla 18	Inventario de entrada y salidas producto terminado unión tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6M	36
Tabla 19	Categorías de impacto del método ReCiPe endpoint	38
Tabla 20	Resultados de caracterización de impactos por la materia prima de la tubería Corrugada 975mmx6m	39
Tabla 21	Resultados de caracterización de impactos por la materia prima de la tubería Lisa 1035mmx6m	40
Tabla 22	Resultados de caracterización de impactos para unidad funcional (elaboración de tubería Corrugada).....	44
Tabla 23	Resultados de caracterización de impactos para unidad funcional (elaboración de tubería y unión lisa).....	45

CAPÍTULO 1

1 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Las actividades industriales son una fuente importante de contaminación del aire, agua, tierra e incluso ocasionan enfermedades, no obstante, todos los productos que derivan de las industrias causan degradación ambiental de alguna manera, sea esto durante la fabricación, uso o durante la eliminación (European Commission, 2006).

La industria del plástico es un sector con una amplia diversidad de productos destinados a diferentes aplicaciones, entre los cuales, se encuentran tuberías plásticas de PVC que se utilizan con mayor frecuencia en las redes de distribución de agua potable (RDAP), sistemas de cableado, sistemas sanitarios, entre otras; y cuyo uso en la actualidad es fundamental para el desarrollo de sociedad (Molecor, 2017). No obstante, la fabricación de dichas tuberías destinadas a la distribución de agua, generan diversos impactos ambientales asociados a las emisiones atmosféricas, consumo de materias primas, consumo de energía, agua y generación de residuos.

En consecuencia, existe escasa información sobre el desempeño ambiental en los procesos que involucran la fabricación de las tuberías de PVC corrugada de doble pared y Tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico (lisa), así como los impactos que se derivan de dichos productos. Existiendo la necesidad de disminuir impactos que ocasionan sobreexplotación de recursos naturales que contribuyen al calentamiento climático; permitiendo así tomar decisiones en temas de producción más limpia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar el desempeño ambiental de modelos de tuberías PVC corrugada de doble pared y tubería PVC de perfil cerrado con sello elastomérico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir el ciclo de vida de las tuberías estudiadas.
- Cuantificar las entradas y salidas ambientalmente relevantes de los sistemas estudiados.
- Cuantificar los indicadores de impacto de ciclo de vida para los sistemas estudiados.
- Comparar los resultados de la evaluación de impacto de ciclo de vida de ambos sistemas.

1.3 Justificación del estudio

El ciclo de vida de una tubería lo determina su materia prima, el proceso de producción, el producto final y su vida útil; cuales infieren afectando ambientalmente (Martínez & Romero, 2016).

La evaluación del desempeño ambiental de las tuberías es fundamental para obtener resultados medibles de la gestión que lleva acabo la organización con respecto sus aspectos ambientales; por su parte (Vazquez et al., 2016), menciona que “no existe un método universal para determinar el impacto ambiental de un producto, pues es concepto amplio, en el que intervienen muchos factores y que puede tener diferentes interpretaciones y que una de las metodologías de evaluación es el análisis de ciclo de vida del producto”. El ciclo de vida de un producto abarca la extracción de los recursos naturales, fabricación, montaje, comercialización, distribución, venta y uso, hasta su eventual disposición como residuo (Keila Rojas Gutierrez, 2018).

La presente investigación se realiza con el fin de obtener información detallada referente al consumo de agua, energía, consumo de materias primas, generación aguas residuales, emisiones y desechos sólidos, mediante la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), definiéndose el sistema desde la cuna a la puerta, determinando así el impacto generado durante la producción de la materia prima, y durante la fabricación de la Tubería de PVC corrugada de doble pared y de perfil cerrado con sello elastomérico (PlasticsEurope, 2019).

La obtención de la información es de vital importancia para el mejoramiento del desempeño ambiental de la empresa, debido a que, no se cuenta con una investigación que permita identificar los puntos críticos en cada uno de los procesos asociados, a lo anterior expuesto, el ACV permite proporcionar estrategias de producción más limpia que contribuya a optimizar el uso de recursos, materias primas vírgenes y mejorar la eficiencia eléctrica, uso del agua y reducir los impactos negativos en los procesos.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 El sector del plástico en el mundo

La producción de plástico global se distribuye en Asia con 51%, como responsable de la producción de la mitad de plástico, seguido por América del Norte con un 18%; Europa con un 17%, África y Medio Oriente 7%, América Latina 4% y Comunidad de Estados Independientes formada por exrepúblicas Soviéticas (CEI) 3% (PlasticsEurope, 2019).

De acuerdo con los datos de (Statista, 2021), indica que la producción mundial de materiales plástico aumento 3,16% en dos años; para el 2017 se produjeron 348 millones de toneladas de plásticos y en el 2018, 359 millones de toneladas de plásticos (sin incluir fibras de PET, PA ni las poliacríticas), mientras que producción acumulada de plástico mundial alcanzó los 8.300 millones de toneladas métricas y se espera a que esta cifra aumente a 34 mil millones de toneladas métricas para el 2050.

2.2 Importancia del sector del plástico

La industria del plástico es uno de los sectores importantes en la economía de los países, reflejando crecimientos significativos a lo largo de los años, su uso es cada vez es más evidente, convirtiéndose en una sección integral de la mayor parte de las industrias manufactureras (Fernández Espejel & Sánchez, 2019).

Según datos de PlasticsEurope (2019), a nivel global la industria del plástico genera ventas por más de \$ 22 mil millones de dólares al año y su valor de mercado de acuerdo con las estadísticas de Statista (2021), indica que en el 2018 su valor fue de 523 mil millones USD y se estima que para el 2027 ésta aumente a más de 750 mil millones UDS. Con respecto al empleo, entre las principales productoras de plástico; Estados Unidos en el 2019 registro 21.000 empresas generando 989.000 puestos de empleo; mientras en Europa el sector está conformado 60.000 empresas cuya cifra de empleos asciende a 1,5 millones de personas, mientras que, en América Latina, en Colombia la fabricación de plásticos en formas primarias contribuye con 10.500 empleados y las empresas transformadoras de materias plásticas con 205.300 (ACOPLASTICOS, 2020).

El peso de la industria plástica en la actualidad es tal que, desde que comenzó la fabricación industrial del plástico en 1950 su volumen era de 1,5 millones de toneladas métricas; y para 2018, esta cifra llega a los 360 millones de toneladas métricas evidenciándose un crecimiento exponencial (Statista, 2021).

Este éxito se atribuye en gran parte a su bajo costo, baja densidad y numerosas propiedades mecánicas y térmicas que hacen que los plásticos sean adecuados para una amplia gama de aplicaciones (Horodytska, Valdés, & Fullana, 2018). Los

polímeros termoplásticos usuales que se usan con mayor frecuencia son polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y cloruro de polivinilo (PVC) (Chauhan, Kärki, & Varis, 2019).

El plástico es ampliamente usado en los diferentes sectores más grandes de la economía, cuya producción global por sector industrial son aplicables en la industria electrónica, construcción, agricultura, transporte, la industria alimentaria que recurre a un amplio uso de plásticos con fines de seguridad, envasado; y la industria médica también utiliza ampliamente el plástico para la realización de productos específicos (Pazienza & De Lucia, 2019).

2.3 Industria de plástico en Ecuador

De acuerdo con Ubilla R (2019), “la Industria Plástica en Ecuador se encuentra en constante innovación y crecimiento a través de los años; esta involucra una cadena de “valor” que interviene en casi todas las ramas de la producción y genera empleo”.

En el 2018 la Asociación Ecuatoriana de Plásticos (ASEPLAS), evidencia que el sector representa el 1,2% del PIB nacional, es decir cerca de USD 1 200 millones; produciendo más de 19 000 empleos directos y 120 000 indirectos (Revista Líderes, 2018).

La industria plástica se encuentra compuesta por unas 600 empresas, de las cuales 120 pertenecen a la ASEPLAS (EKOS, 2018), produciendo aproximadamente cerca de 500.000 toneladas anuales de plástico a nivel nacional (Ubilla R, 2019), estimándose que al año una persona consume en Ecuador 20kg de productos plásticos.

Las industrias manufactureras de plástico en Ecuador comprenden únicamente la elaboración de productos a base de materias primas importadas, a través de la transformación de resinas plásticas nuevas o recicladas para obtener productos intermedios o finales, mediante procesos tales como el moldeo por compresión, extrusión, inyección o insuflación de aire comprimido y el vaciado (CFN, 2017). Las materias primas son adquiridas de proveedores internacionales, entre los países ofertantes de resinas vírgenes se encuentran USA (34%), Colombia (26%), Korea (14%), Brasil (7%) y Chile (6%), proveedores de resinas de PVC en suspensión, se encuentran Colombia (74%), Venezuela (14%), México (5%) y Corea (4%) (Bolívar, 2005).

El Ranking empresarial de las industrias plásticas en el Ecuador desarrollado por la revista EKOS, presenta las empresas con mayores ingresos en el año 2019 en la comercialización de productos plásticos en Ecuador (Fernández Espejel & Sánchez, 2019), como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1 Ranking de empresas con mayores ingresos en el 2019

Fuente: Elaboración propia en base a TOP 1000 Ranking Empresarial Revista (EKOS, 2019)

2.4 Tipos de plástico

Los plásticos comprenden un amplio grupo de materiales, que dependiendo de su composición tiene diferentes usos.

Termoplásticos: son aquellos que se reblandecen al aplicarles calor, por eso puede moldearse por los diferentes procesos como el de inyección, los principales son: Polietileno (PE). Polipropileno (PP). Poliestireno (PS). Cloruro de polivinilo (PVC), ABS (Acilo Nitrilo/Butadieno/Estireno), Estireno Acrilonitrilo (SAN), Acrílico (polimetilmetacrilato, PMMA), Policarbonato (PC), Nylon (poliamida, PA), Polietileno Tereftalato (PET), Poliester (Polibutileno Tereftalato, PBT or PBTP), Acetal (polioximetileno, POM), PPO, PPE (Oxido Polifenileno Modificado y Ether Polifenileno), Polisulfone, Polietierimide, y Poliethersulfone (PSO, PEI, PES), Poliuretano Termoplástico (TPU) (Madrigal, 2011).

Termofijos: son aquellos que se endurecen por medio del calor, siendo necesario en algunos casos el empleo de presión para ser moldeados, no son regenerables por el calor, los principales son: Resina epoxi, Poliésteres no saturados, Poliuretanos, Silicones, Resinas Fenólicas, (Fenol-Formaldehído), Resinas Urea Folmaldehído, Resinas de Melanina o Melamínicas, (Melaminas-Formaldehído) (Madrigal, 2011).

2.5 Plástico de un solo uso y plásticos de larga duración

Los plásticos de un solo uso, o plásticos desechables son aquellos destinados a usarse una sola vez antes de ser descartados o reciclados. Estos incluyen, entre otros, artículos tales como bolsas de supermercado, envases de alimentos, botellas, pajillas, recipientes, vasos y cubiertos.

Los plásticos de larga duración son aquellos cuya estructura química los hace resistentes a muchos procesos naturales de degradación y, como resultado, tardan en degradarse, como tuberías, accesorios, envases, geomembranas, acometidas eléctrica, pisos, marcos entre otros.

2.6 Demanda del PVC

El cloruro de polivinilo (PVC) es el tercer plástico más consumido, con bajo costo y desempeño sobresaliente; de acuerdo con las estadísticas de Statista (2021), “el volumen total de la producción global de PVC, en 2018 ascendió a 44,3 millones de toneladas métricas y se estima que el tamaño del mercado crezca a casi 60 millones de toneladas métricas en 2025, en cuanto al consumo de PVC por región en 2017, muestra que China es el mayor consumidor de este material con 18.240,9 millones de ton, seguido de Norte América con 5.816,5 millones de ton y en tercer lugar se encuentra Asia del Pacífico con 4.599,7 ” como se muestra en la figura 2.2.

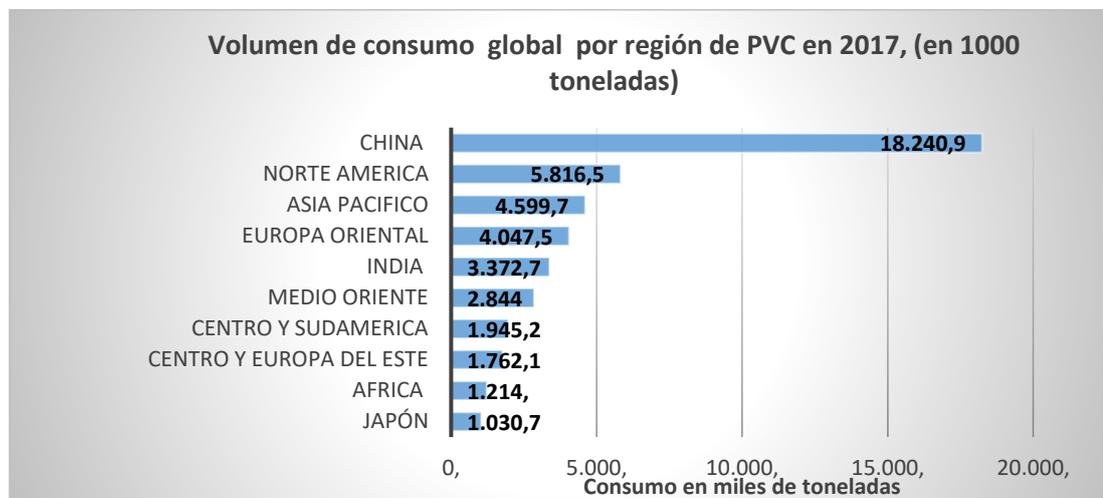


Figura 2.2 Volumen del consumo global por región de PVC en 2017

Fuente: (Statista, 2021)

El valor global del mercado del PVC el 2019, represento 65.000 millones USD, con una proyección de 88.000 millones USD para el 2027 como se muestra en la figura 2.3 (Statista, 2021).

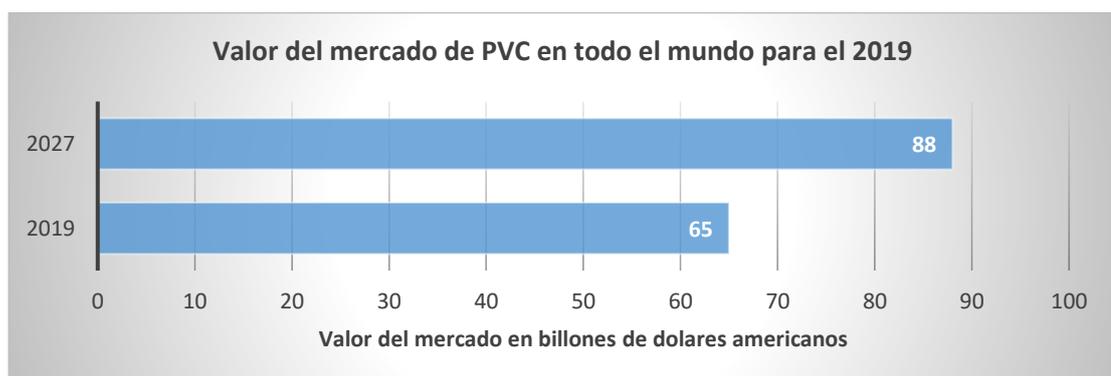


Figura 2.3 Valor del mercado de PVC en el 2019

Fuente: (Statista, 2021)

2.7 Aplicaciones de PVC

El consumo total de PVC por aplicación represento el 990.100 ton en el 2017, siendo las tuberías/conductos las más adquiridas representado el 13852,9 ton, seguido de la aplicación en otras extrusiones con 10032.1 ton y la aplicación en películas cuyo consumo se encuentra en 5018.7 ton (Statista, 2021) figura 2.4.

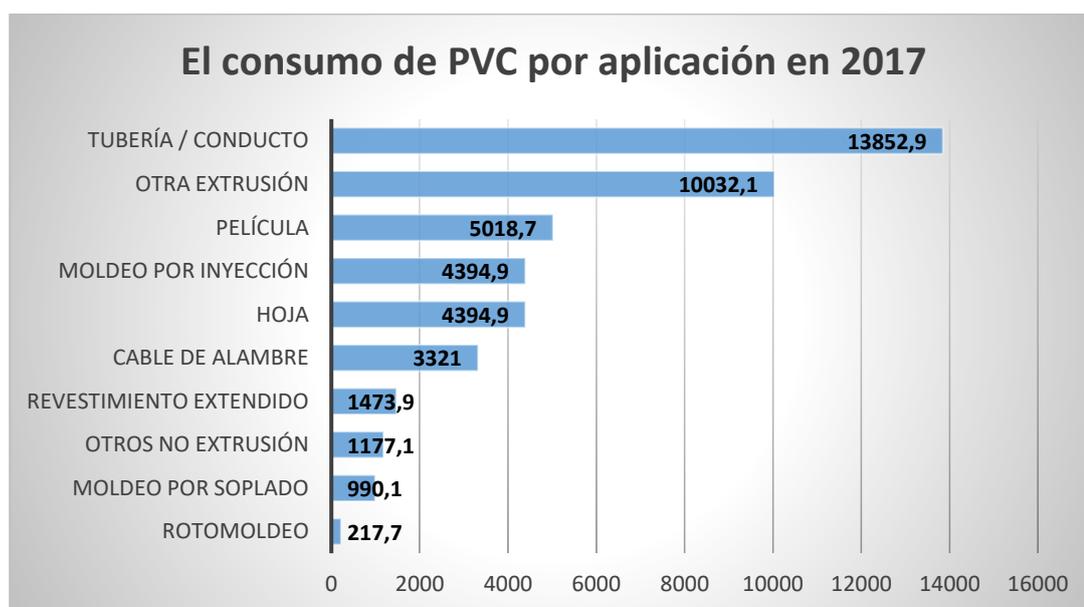


Figura 2.4 Consumo de PVC por aplicación en 2017

Fuente: (Statista, 2021)

A nivel global, las tuberías de PVC representan un 39% del mercado, de acuerdo con (Carrasco Melendez, 2005):

- El 55% del PVC fabricado en el mundo es utilizado en la industria de la construcción, así como en obras civiles, hidráulicas.
- “El 9% es utilizado en la fabricación de conductores eléctricos como aislación o vaina ya que formulado correctamente proporciona excelente resistencia a la acción de la luz y el calor por muchos años de tal forma que vida útil del PVC para este grupo de productos o aplicaciones puede variar entre 15 y 50 años” (Camacho et al., 2017).
- El 24% es utilizado en la industria automotriz, electrodomésticos, mangueras, juguetes, etc.
- El 12% es utilizado en aplicaciones de corta duración como films de embalajes, botellas para aceite comestible, jugos de fruta, agua, detergentes, cosméticos envases farmacéuticos etc.
- No obstante, sólo el 0.7% es utilizado en objetos que luego formarán parte de los RSU (Residuos Sólidos Urbanos).

Bolívar (2005), indica que en Ecuador el principal uso está orientado hacia la industria de la construcción con el 50% mediante la producción de tubería en donde sobresalen dos empresas que manejan el 80% del mercado, estas son PLASTIGAMA S.A. y PLÁSTICOS RIVAL, seguido del sector automotriz con el 21% y en tercer lugar el Packing con el 8% (tabla 1).

Tabla 1 Aplicaciones industriales del PVC

SECTOR	APLICACIÓN	VIDA ÚTIL AÑOS
CONSTRUCCIÓN 50%	Botas, ropa de seguridad, ropa impermeable, guantes. Accesorios, molduras, aislantes de cables. tuberías de agua potable, ventilación, desagües, acometidas eléctricas, transporte liviano, Ventanas, puertas, persianas, marcos, perfiles, zócalos, pisos, paredes, láminas para impermeabilización (techos, suelos)	15-100
AUTOMOTRIZ 21%	Tapicería, paneles para tablero, apoyabrazos, protección anticorrosiva y anti vibratoria, etc.	2-15
PACKAGING 8%	Botellas para agua y jugos, frascos y conservas (alimentos, fármacos, cosmética, limpieza, etc.). Láminas o films (golosinas, alimentos)	0-2
VIVIENDA 5%	Paneles para paredes, tapicería. Piezas para muebles (manijas, rieles, burletes, etc.); placas divisorias. Muebles de jardín, reposeras, mesas	10-70
ELECTRONICA 9%	Partes de artefactos eléctricos, cajas de distribución, enchufes, carcazas y partes de computadoras. Aislantes de cables	15-70
MEDICINA 4%	Tubos y bolsas para sangre y diálisis, catéteres, válvulas, delantales, botas. Blisters	0-2
VESTIMENTA 2%	Calzado, zapatillas, ropa impermeable, guantes, bolsos, valijas, carteras.	0-5
VARIOS 1%	Tarjetas de crédito, artículos de librería. Juguetes. Mangueras, art. de riego, etc.	0-5

Fuente: Estudio de la factibilidad para una planta procesadora de resinas de PVC (Bolívar, 2005)

2.8 Retos ambientales de la industria del plástico

Globalmente se consumen al año 320 millones de toneladas métricas de plástico, de las cuales se estima que 2.41 millones terminan como desechos en los mares, afectando la vida marina (Duque Poveda, 2015). Solo en 2010, la cantidad de plásticos que ingresaron a los océanos varió entre 4.8 millones y 12.7 millones de toneladas métricas (Thompson et al., 2009).

El plástico representa una gran preocupación pública debido al problema de gestión de residuos y contaminación asociado a él, este material tarda varios años en desintegrarse si no es desechado adecuadamente (Pazienza & de Lucia, 2020).

Los inconvenientes asociados a la fabricación de plástico dependen de los principales procesos en la transformación y elaboración de productos; no obstante, entre los aspectos ambientales asociados a los procesos se encuentran:

- Emisiones atmosféricas de material particulado.
- Emisiones de gases de efecto invernadero
- Consumo de materias primas, agua, energía
- Generación de residuos sólidos.
- Vertimientos de aguas residuales del proceso.
- Derrames o fugas de materia prima.
- Emisiones de gases y vapores
- Generación de residuo (disolvente mezclado con plastisoles).

Cada vez existe más relevancia sobre los efectos de los plásticos en el ambiente y cómo afrontar los problemas derivados de estos, dentro de este marco en los últimos años se han hecho avances en materia de políticas ambientales.

En 2014 se publicó el acuerdo ministerial 19 “Políticas para el manejo integral del plástico en Ecuador”, en relación al uso de bolsas plásticas, el artículo 12 del mismo reglamento establece: “Promover en todos los niveles de la economía, la reutilización de bolsas plásticas en mercados, supermercados y centros comerciales, implementado medidas que incrementen el uso de bolsas reutilizables y, que reduzcan el consumo de bolsas plásticas” (MAE, 2014).

Ecuador es parte de la campaña "Mares Limpios" de ONU Medio Ambiente, que promueve compromisos audaces de gobiernos, empresas y ciudadanos para reducir la contaminación causado por el plástico en los océanos de forma drástica. Brasil, Colombia, Costa Rica, Granada, Panamá, Perú, República Dominicana, Santa Lucía y Uruguay también apoyan la campaña (Zambrano-Monserrate & Ruano, 2020).

2.9 Materiales usados en instalaciones hidráulicas

Los sistemas de canalización de agua de alto volumen lo conforman materiales como: fibrocemento, acero, policloruro de vinilo (PVC), polietileno de alta densidad, hierro dúctil, hierro galvanizado y entre otras descritas en la tabla 2. La función esencial de las tuberías en un sistema de abastecimiento es servir de conducto por donde se traslade el agua de un lugar a otro (Villacis Coraquilla, 2018).

Tabla 2 Tipos de tuberías

TIPO DE TUBERÍA	DESCRIPCIÓN
Tubería de fibrocemento	Las tuberías de fibrocemento (FC) se fabrican con cemento, fibras de asbesto y sílice. La selección de la tubería de fibrocemento, de acuerdo con su tipo, dependerá de la agresividad del agua (interna y externa a la tubería), así como de la presencia de sulfatos
Tubería de hierro fundido	Debido a los menores costos de otros tipos de tubería, los tubos de hierro fundido han sido desplazados en la construcción de redes de distribución. Sin embargo, aún se utilizan en estaciones de bombeo e instalaciones donde se requiere rigidez y resistencia al impacto y a la corrosión.
Tuberías de acero inoxidable	Son las que tienen mayor resistencia a la corrosión, fácil desinfección y limpieza, pero su costo es más elevado
Tuberías de cobre	Pueden ser fabricadas fácilmente por ser un material suave, este tipo de tubería requieren ser soldadas entre sí
Tuberías de PVC	Es un material sumamente usado para diversas aplicaciones dependiendo su anchura, son resistentes a la corrosión y son usadas frecuentemente en sistema de abastecimiento de agua; las tuberías de PVC no son aptas para transportar agua caliente.
Tuberías de hormigón	Está destinada, principalmente, a conducir en canalizaciones enterradas, drenajes de carreteras, aguas negras o de saneamiento, aguas pluviales y aguas de superficie por gravitación u, ocasionalmente, a baja presión. La tubería de concreto que se utiliza en agua potable es de concreto presforzado (con o sin cilindro de acero).
Tuberías de hierro galvanizado	fue muy utilizada hace 50 años con la entrada y producción del hierro en el Ecuador, sin embargo, si a este tipo de material no se le da un buen tratamiento, se corroe con mucha facilidad y permite la generación de incrustaciones minerales en sus paredes interiores; sin embargo, para el uso de sistemas contra incendios es muy usado por su gran resistencia a las altas temperaturas (Villacis Coraquilla, 2018).

Fuente: (Villacis Coraquilla, 2018)

2.10 Análisis del ciclo de vida

“El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) estudia de forma científica, objetiva, metódica y sistemática, el impacto ambiental originado por un proceso/producto durante su ciclo de vida completo, como herramienta de gestión medioambiental” (Llorente, 2011).

De acuerdo con ISO 14044 (2006), el ACV ayuda a:

- la identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida,
- Contribuye con información importante para la toma de decisiones en organizaciones e industrias,
- la selección de los indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición, y
- el marketing

2.11 Beneficios del Análisis Ciclo de Vida

De acuerdo con Malakul & Ayudhaya (2014), los beneficios del análisis de ciclo de vida:

- Ayuda a comparar entre productos o procesos, métodos y gestión.
- Desarrollo de mejoras, en la eficiencia (económica-ecológica), de diseños verdes y productos ecológicos.
- Mejora la comunicación de la organización hacia el público mediante de informes, declaraciones ambientales y etiquetas.
- Permite plantear políticas dirigidas (Malakul & Ayudhaya, 2014).

2.12 Análisis de ciclo de vida de productos de PVC

En la actualidad existen diversos estudios referentes al ciclo de vida de productos plásticos, siendo el PVC uno de los más utilizados, como parte de la cadena de productos.

En el trabajo de Alsadi et al. (2020), se analizó y comparó las emisiones de carbono (CO₂) durante la fase de fabricación asociada a tres tipos de tubería: tubería de cilindro de hormigón prensado (PCCP), PVC y polimerizada (CIPP), cuya unidad funcional se estableció tuberías con un diámetro de 90 cm y 30 m longitud aproximadamente; los resultados de la comparativa revelan que durante el proceso de fabricación de la tubería de PCCP con 73% de hormigón prensado la huella de carbono fue de 28080 lb/CO₂, esto debido a la pequeña cantidad de energía incorporada por el hormigón (es decir, 0,12 kWh = lb), por ende sus emisiones de carbono son menores en la etapa de fabricación, en cuanto a la tubería de PVC con 100% de resina la huella de carbono obtuvo un valor de 68005 lb/CO₂ mucho mayor al PCCP y menor a la polimerizada cuyo valor fue de 99592 lb/CO₂ que debido tiene un mayor consumo de energía por el 63% de resina epoxi incorporada (es decir, 17.26kWh = lb).

Estudio realizado por PAVCO (2017), denominado de “Análisis del ciclo de vida de las tuberías de agua y alcantarillado de PVC y análisis comparativo de la sustentabilidad de los materiales de las tuberías del análisis del ciclo de tuberías de agua y alcantarillado de PVC”, el estudio define la unidad funcional la longitud de 100 de cuatro materiales (concreto, PVC, Polímeros Reforzados con fibra y hierro dúctil). pies dentro de sistema del ciclo de vida se analiza de la cuna a la tumba desde la extracción de la materia prima hasta la instalación de las tuberías.

Los resultados documenta la acumulación de energía en cada uno de los procesos e indican la materia prima es el mayor aportador a las categorías de impacto, lo cual se debe a la producción de resina de PVC, mientras que la fabricación, indica que es un proceso muy eficiente debido a que se requiere bajas entradas de energía y agua, así también tiene la capacidad de volver reutilizar los desechos de PVC como material molido; y durante uso en las tuberías para distribución de agua de PVC tienen menos impactos incorporados durante el bombeo, mientras que otros materiales presentan problemas en las paredes internas de las tuberías, como es el caso del concreto y el hierro dúctil que pueden degradarse y afectar la eficiencia del bombeo generando mayor uso de energía y aumento del costo después de los 50 años (PAVCO, 2017).

Concluyendo que las tuberías de PVC tienen la energía incorporada más baja para un ciclo de vida de 100 años, significando que tienen un bajo impacto ecológico, debido a características del PVC, puesto a que el material no se corroe, ni emiten o filtran sustancias tóxicas como es el caso de las tuberías de hierro dúctil o ni a la oxidación química que afecta al polietileno de alta densidad; en tuberías con paredes lisas ahorran energía en el bombeo (PAVCO, 2017).

El estudio realizado por Chunzhi et al. (2016), se evalúa el ciclo de vida de tuberías de polipropileno (PPR), tubo de polietileno (PE) y tubería rígida de PVC (PVC-U), para la unidad funcional se estableció tubería de plástico de 1 kg, los límites técnicos del sistema corresponden "de la cuna a la puerta" desde el proceso de fabricación de tuberías de plástico, la producción de materias primas, transporte de materia prima; producción de electricidad y energía las categorías de impacto establecidas para el estudio son potencial de agotamiento abiótico (ADP), potencial de calentamiento global (GWP), acidificación (AP), potencial de eutrofización (EP), inorgánica respiratoria (RI).

Los resultados del estudio indican que la mayor influencia de impactos ambientales en las tuberías estudiadas proviene de la producción de las materias primas, seguido del consumo de electricidad y el transporte; es así que la producción de PVC-U para las categorías de impacto ADP representa el 79.40%, AP el 77.58%, EP 58.24% y GWP 92.26%; los índices de influencia ambiental dentro del ciclo de vida se concluye que de la tubería PVC-U es mayor que la tubería PPR y la tubería PE, esto se debe al proceso de producción de resina primaria es fundamental reducir el consumo de resina primaria con el fin de optimizar la influencia ambiental de la tubería de plástico (Chunzhi et al., 2016).

Masdeu i Font et al. (2015), en su trabajo, evaluó los impactos ambientales de la construcción de la red de agua potable, tomando en cuenta máquinas y trabajos de obra civil, al igual que los componentes de la red, con especial atención en las tuberías, los límites del sistema a estudiar corresponden tuberías (transporte, descarga, obra civil), depósitos (obra civil construcción de depósitos), válvulas, estación de bombeo, determinándose 1 km de red como unidad funcional.

La red de tuberías corresponde a 447,63 km de longitud, en cuál consideró tubos de diferentes materiales: hierro dúctil, fibrocemento, hierro fundido, acero inoxidable, polietileno, plomo, polietileno de baja densidad, hormigón armado, policloruro de vinilo, y acero asfaltado con diámetros de 90mm y de 100 a 250mm de diámetro; seleccionó 6 categorías de impacto, agotamiento de la capa de ozono, calentamiento global, acidificación, ecotoxicidad acuática de agua dulce, agotamiento abiótico de combustibles y oxidación fotoquímica (Masdeu i Font et al., 2015).

Los resultados del análisis de toda la red de distribución para las categorías evaluadas demuestra que las tuberías son las que ocasionan el mayor impacto de toda la red, representando una media del 75%, en este sentido los tubos que presentan valores de impacto significativos en casi todas las categorías de impacto se encuentran los metálicos (acero inoxidable 3,91%, fundición dúctil 37,2 % y hierro 0,55 %), seguido de los tubos de polietileno 19,0%; PVC 2,27% y el fibrocemento 4,8%; mientras que las válvulas y los depósitos contribuyen con el 11-12%, exceptuando la categoría de agotamiento de la capa de ozono, el 36% representa a los depósitos, por último, el 1% se atribuye a las estaciones de bombeo en la mayoría de categorías (Masdeu i Font et al., 2015).

Con base en el estudio de Sanjuan-Delmas et al. (2014) cuyo objetivo consiste en comparar el impacto ambiental de diferentes alternativas constructivas en sistema de tuberías para el transporte y la red de distribución de agua potable, en el cual se plantea como unidad declarada, un metro lineal de red con una tubería de 90 mm de diámetro y una presión máxima de 6 bar o una tubería de 200 mm de diámetro y una presión máxima de 10 bar, incluidos los accesorios de la tubería y la espalda, en la evaluación se incluyeron las siguientes categorías de impacto de 7 puntos medios de la línea base CML 2 2000: potencial de agotamiento abiótico (ADP), potencial acidificación (AP), potencial de eutrofización (EP), potencial de calentamiento global (GWP), agotamiento de la capa de ozono (OLDP), oxidación fotoquímica (PCOP) y la demanda de energía acumulada (CED).

Resultados de las tuberías de 90mm indican que el PVC y el HDPE tienen impactos ambientales similares, pero el PVC tiene un impacto del 10% menor para ADP, PCOP y CED; el LDPE es la solución más impactante, ya que tiene entre un 5 y un 25% más de impacto que el HDPE en 5 de las 7 categorías de impacto y este tipo de tubería requiere una mayor cantidad de material para fabricar (hasta un 90% más que el PVC); mientras que en las tuberías con 200mm los impactos ambientales de HDPE y PVC son similares a las observadas para soluciones constructivas de 90 mm, esto entre un 40 y un 90% menos de impacto que Di y GFRP; esto se debe a que las tuberías DI y GFRP están hechas con mayores cantidades de materia, es así que las diferencias entre (el PVC es entre un 0 y un 20% menos impactante) (Sanjuan-delmas et al., 2014).

En el artículo de Akhtar et al. (2014), denominado "Evaluación de la sostenibilidad del ciclo de vida para la selección de materiales de tuberías de alcantarillado" realizado en Canadá, con el objetivo evaluar y comparar cuatro materiales típicos de las tuberías de alcantarillado [hormigón (CO), cloruro de polivinilo (PVC), arcilla vitrificada (VC) y hierro dúctil(Di)], utilizando la metodología LCA para evaluar los impactos ambientales generales de los materiales y la LCC para evaluación de impactos económicos, se definió como unidad funcional tuberías de 3 m de longitud y 400 mm de diámetro y vida útil de diseño estimada de 100 años, los límites del sistema técnico se encuentran definidos desde extracción de materias primas, la fabricación de materiales, la construcción, la operación, el mantenimiento y la demolición.

Se definió las categorías de impacto el calentamiento global, uso de recursos, consumo de energía, potencial de smog y acidificación; el resultado del análisis del ciclo de vida para las tuberías seleccionadas demuestran que la tubería de PVC en la etapa de producción, el indicador calentamiento global para el PVC es de $2.42E-01$ kg de CO₂, en comparación con el hormigón que genera $3.90E+01$ kg, VC $6.15E+01$ y el Di $1.40E+02$ kg; en la categoría de uso de recursos la tubería Di es más intensiva en recursos y el consumo de combustible, mientras que la tubería de PVC es menos intensiva en recursos entre todas las tuberías; concluyendo que la tubería de PVC es la opción más sostenible desde el punto de vista medioambiental y económico (Akhtar et al., 2014).

Tabla 3 Revisión bibliográfica

REFERENCE	SISTEMA	DESCRIPCIÓN Y LÍMITES TÉCNICOS	UNIDAD FUNCIONAL	IMPACT CATEGORIES
ALSADI ET AL. (2020)	Tubería de presión de alcantarillado de	Comparativa de emisiones generadas por las tuberías. Los límites técnicos de la cuna a la tumba desde la etapa de fabricación (extracción de materiales, producción de materiales y fabricación de tuberías)	Tres tipos de tubería con un diámetro de 90 cm y 30 m aproximadamente	Emisiones de carbono
PAVCO (2017)	Tuberías de agua y alcantarillado	Análisis comparativo del ciclo de vida de tuberías. Los límites del sistema técnico engloban la extracción de materias primas, la fabricación de materiales, la construcción, la operación, el mantenimiento y la demolición	Longitud de 100 pies del sistema de tuberías	Agotamiento del ozono, la acidificación, la eutrofización, calentamiento global (GPW).
CHUNZHI ET AL. (2016)	Tuberías de alcantarillado	Evaluación del ciclo de vida. Los límites técnicos del sistema corresponden "de la cuna a la puerta" desde el proceso de fabricación de tuberías de plástico, la producción de materias primas, producción de electricidad y energía, Proceso de transporte de materia prima	Tubería de plástico de 1 kg	Non-renewable resource consumption (ADP), greenhouse effect (GWP), acidification effect (AP), eutrophication (EP), inhalable inorganics (RI)
MASDEU I FONT ET AL. (2015).	Tuberías de la red de distribución de agua,	Evaluación de impactos ambientales los límites del sistema a estudiar corresponden tuberías (transporte, descarga, obra civil), depósitos (obra civil construcción de depósitos), válvulas, estación de bombeo	La unidad funcional utilizada ha sido 1 km de red. La red de tuberías analizada tiene una longitud de 447,63 km,	Agotamiento abiótico de combustibles, agotamiento de la capa de ozono, ecotoxicidad acuática de agua dulce, oxidación fotoquímica, acidificación calentamiento global .

REFERENCE	SISTEMA	DESCRIPCIÓN Y LÍMITES TÉCNICOS	UNIDAD FUNCIONAL	IMPACT CATEGORIES
SANJUAN-DELMAS ET AL. (2014)	Tuberías para el transporte y la red de distribución de agua potable	evaluación comparativa de los diferentes materiales de las tuberías, cuyos límites corresponden a la producción, transporte e instalación de la tubería	Se plantea unidad declarada un metro lineal de red con una tubería de 90 mm de diámetro y una presión máxima de 6 bar o una tubería de 200 mm de diámetro y una presión máxima de 10 bar, incluidos los accesorios de la tubería y la espalda.	potencial de agotamiento abiótico (ADP), potencial acidificación (AP), potencial de eutrofización (EP), potencial de calentamiento global (GWP), agotamiento de la capa de ozono (OLDP) y oxidación fotoquímica (PCOP) y la demanda de energía acumulada (CED).
AKHTAR ET AL. (2014)	Tuberías para sistemas de alcantarillado en Canadá	Evaluación comparativa del ciclo de vida de diferentes materias de tuberías. Los límites del sistema técnico engloban la extracción de materias primas, la fabricación de materiales, la construcción, la operación, el mantenimiento y la demolición (de la cuna a la tumba)	Tuberías de alcantarillado de diferentes materiales con 3 m de longitud y 400 mm de diámetro y vida útil de diseño estimada de 100 años.	Calentamiento global. uso de recursos, consumo de energía, Potencial de smog, acidificación

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGÍA

La metodología para utilizar es el Análisis de Ciclo de Vida, esta técnica evalúa el desempeño ambiental a lo largo del ciclo de vida de un producto o desde la realización de un servicio. Desde la extracción y el consumo de recursos (incluida la energía), así como las liberaciones al aire, al agua y al suelo, se cuantifican en todas las etapas (UNEP, 2003).

El Análisis de Ciclo de vida de acuerdo la ISO 14040 se realiza en cuatro etapas: primero, definición del objetivo y alcance del sistema de producción a estudiar; segundo, análisis del Inventario (AICV) cuantificando las cargas medioambientales implicadas: la energía y las materias primas utilizadas, y las emisiones y residuos liberados; tercero, Evaluación del Impacto (EICV) de las entradas y salidas asociadas; cuarto, Interpretación de los resultados y evaluar las oportunidades de mejoras ambientales (ISO 14040, 2006).

3.1 Definición de objetivo y alcance

La definición de objetivo y alcance es una parte integral de la realización de un ACV y se relaciona con cualquiera de las otras fases, incluyendo la selección de la unidad funcional (Curran, 2017). En los objetivos se exponen los motivos por los que se desarrolla el estudio, la aplicación prevista y a quién va dirigido; el alcance consiste en la definición de la amplitud, profundidad y detalle del estudio (Llorente, 2011).

Incluye: el sistema del producto a estudiar, las funciones del sistema del producto, la definición de la unidad funcional, los límites del sistema, los requisitos de calidad de los datos necesarios, las características de impacto seleccionadas y la metodología de evaluación de impactos (ISO 14040, 2006; Pontón, 2017).

3.2 Análisis de Inventario de ciclo de vida (AICV)

ISO define AICV como la "etapa de la evaluación del periodo de vida que involucra la compilación y cuantificación de las entradas y salidas de un producto durante su periodo de vida". El inventario se relaciona con la colección de datos de entradas y salidas del medio ambiente relacionadas en el periodo de vida de un producto (Senthilkannan, 2020).

Esto implica identificar y cuantificar todos los recursos utilizados para producir el producto, como energía, agua, materias primas y materiales procesados, y todas las sustancias liberadas al medio ambiente, como la emisión de contaminantes al aire, suelo y agua, y pérdidas resultantes de la producción y consumo del producto (Torabi & Ahmadi, 2020).

De acuerdo Mansor et al. (2018) con los datos requeridos para el análisis deben estar relacionados con la unidad funcional; en este sentido la recopilación de datos, se examinará la base de datos de las plantas de Extrusión y Novaloc, donde se realizan ambos procesos, pertenecientes a la empresa.

3.3 Evaluación de impacto de ciclo de vida e interpretación

La evaluación del ciclo de vida puede ser una herramienta valiosa para analizar el impacto ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida y, por lo general, proporciona información sobre qué etapas del ciclo de vida del producto son más importantes (Remmen, Astrup, & Frydendal, 2007). Esta fase se caracteriza por ser donde se realiza la evaluación de los impactos ambientales potenciales derivados de los caudales elementales (recursos ambientales y liberaciones) obtenidos en el AICV (Nieuwlaar, 2004).

AICV proporciona indicadores de categoría y selección de categorías de impacto (Mohan, 2018). En la práctica, este paso suele realizarse con el software LCA, y el profesional solo elige el método y algunos otros detalles (Torabi & Ahmadi, 2020). Esto permite a los profesionales y a los responsables de la toma de decisiones comprender mejor el daño causado por el uso de recursos y las emisiones (Laurin & Dhaliwal, 2017).

3.4 Interpretación de ciclo de vida

De acuerdo con Curran (2017), es fundamental la existencia de una etapa para la interpretación de resultados, incluyendo cualquiera de los aspectos relevantes del resultado mencionado y los aspectos de las conclusiones establecidas es así como los resultados del análisis del inventario y la evaluación de impacto se resumen durante la fase de interpretación.

En cuanto Cao (2017) indica que “el resultado de la fase de interpretación es un conjunto de conclusiones y recomendaciones para el estudio, siendo de esta forma el paso final del estudio ACV”.

CAPÍTULO 4

4 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE TUBERÍA CORRUGADA Y LISA

4.1 Objetivo y Alcance

4.1.1 Objetivo

Comparar entre los procesos de elaboración de la tubería corruga y lisa; de este modo identificar los impactos que se derivan desde la producción de la materia prima, fabricación y obtención del producto final.

Identificar los procesos con mayor impacto de acuerdo con las categorías analizadas y establecer medidas para minimizar los efectos en los procesos.

4.1.2 Alcance

Unidad funcional

El presente estudio consideró como unidad funcional dos productos a base de PVC del catálogo de tuberías para agua de la empresa, específicamente corresponde a “1 tubería de PVC corrugada 975mmx6m” y “1 tubería unión-lisa perfil cerrado con sello elastomérico con 1035 mmx6m”, producida en la planta de extrusión de la ciudad de Duran, cuya recopilación de datos corresponde a una unidad de cada tubería mencionada, cuyas especificaciones se describen en la tabla 4 y espesor en la figura 4.1 y 4.2.

Tabla 4 Especificaciones de la unidad funcional

ESPECIFICACIONES	TUBERÍA CORRUGADA	TUBERÍA LISA
Diámetro nominal (mm)	975	1035
Lomgitud (m)	6	6
Diámetro aproximado (mm)	900	1000
Peso (Kilos)	273	248
Espesor (mm)	e1:3,90mm; e2: 3,30mm; e3:6,50mm	e1: 1003,10mm; e2: 1008,80mm
Rigidez min (kn/m ²)	4	1

Fuente: Elaboración propia en base al software openLCA

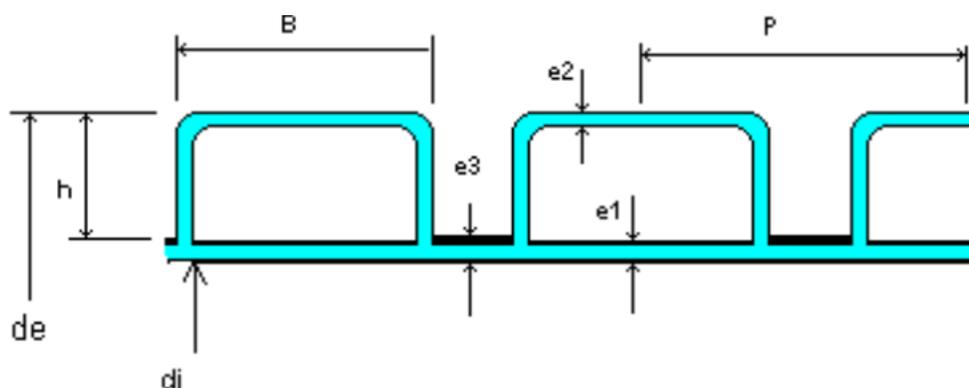


Figura 4.1 Espesor tubería corrugada

Fuente: Elaboración propia

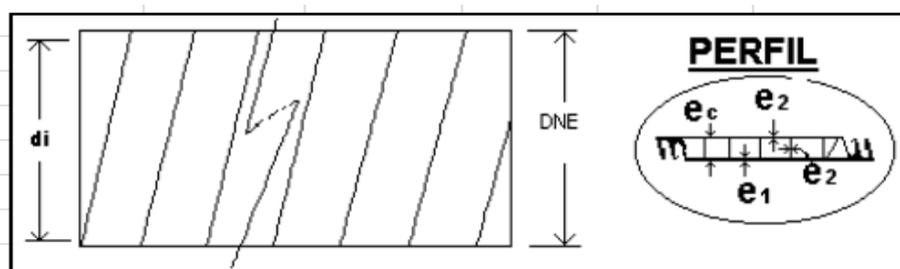


Figura 4.2 Espesor tubería y unión lisa

Fuente: Elaboración propia

Límites del sistema

Se consideró el sistema “cradle to gate” para analizar y cuantificar los impactos ambientales durante el proceso de producción de tuberías a base de PVC. Se consideraron dos productos a base de PVC del catálogo de tuberías para agua de la empresa, estos corresponden a la tubería corrugada de doble pared (figura 4.3) y tubería lisa con sello elastomérico (figura 4.4) cuyos diagramas de procesos se representan en las figuras 4.5 y 4.6.



Figura 4.3 Tubería corrugada doble pared 975mmx6m

Fuente: Elaboración propia de producción final en la planta



Figura 4.4 Tubería unión-lisa perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m.

Fuente: Elaboración propia de producción final en la planta

Límites geográficos

El estudio se sitúa en el cantón Durán, provincia del Guayas; se consideró la cadena productiva del plástico desde la compra de las materias primas (resinas PVC, carbonato de calcio, estabilizantes y aditivos), pesaje, recepción, transformación hasta la salida del producto terminado en la planta de extrusión representados en el diagrama de procesos.

Límites temporales: El periodo de tiempo de recolección de datos del presente estudio, se consideró desde el 1 de enero del 2019 hasta el 31 de diciembre del 2019.

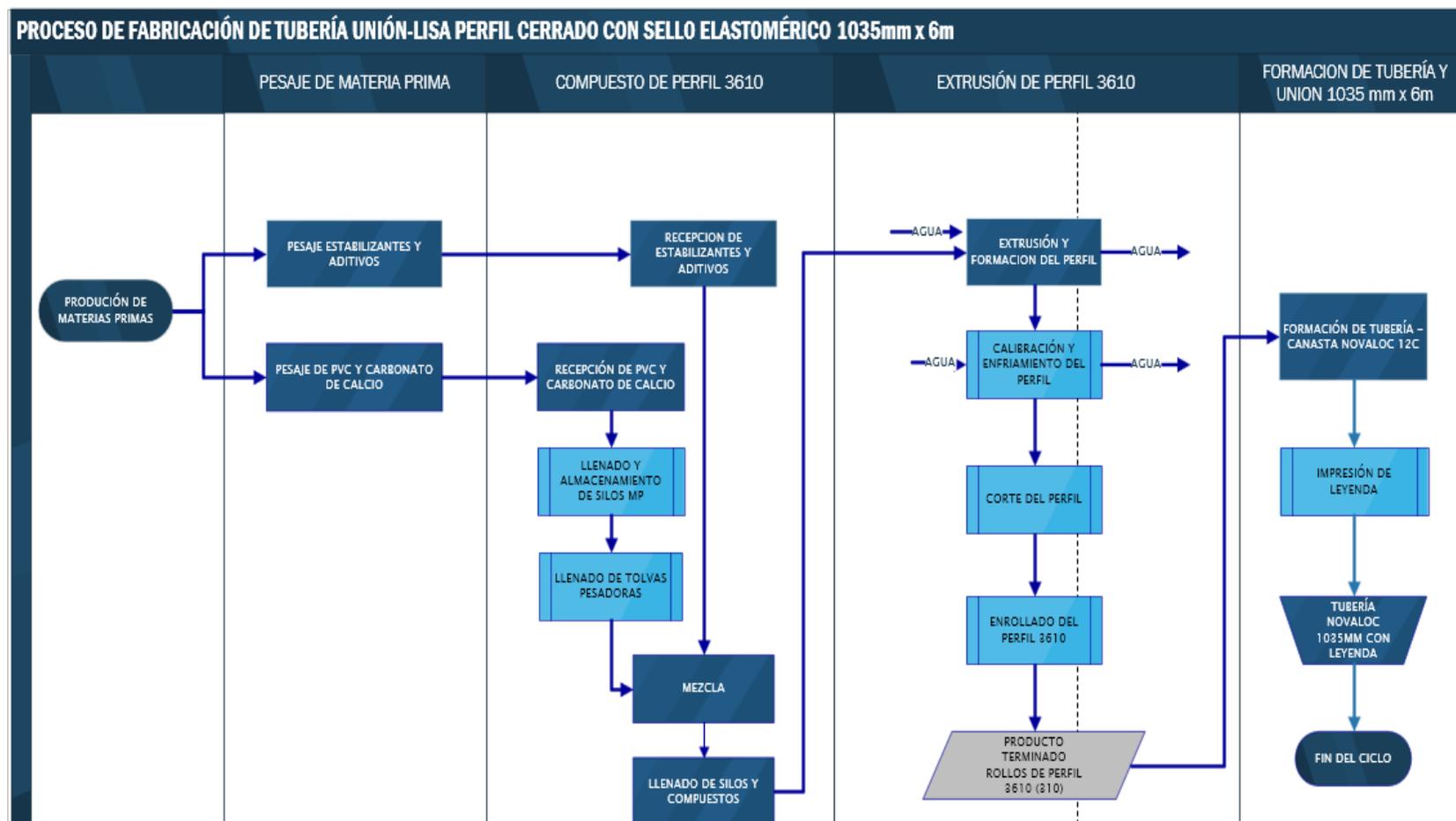


Figura 4.5 Límites de sistema del ACV Tubería y Unión Lisa 1035mmx6m
Fuente: Elaboración Propia

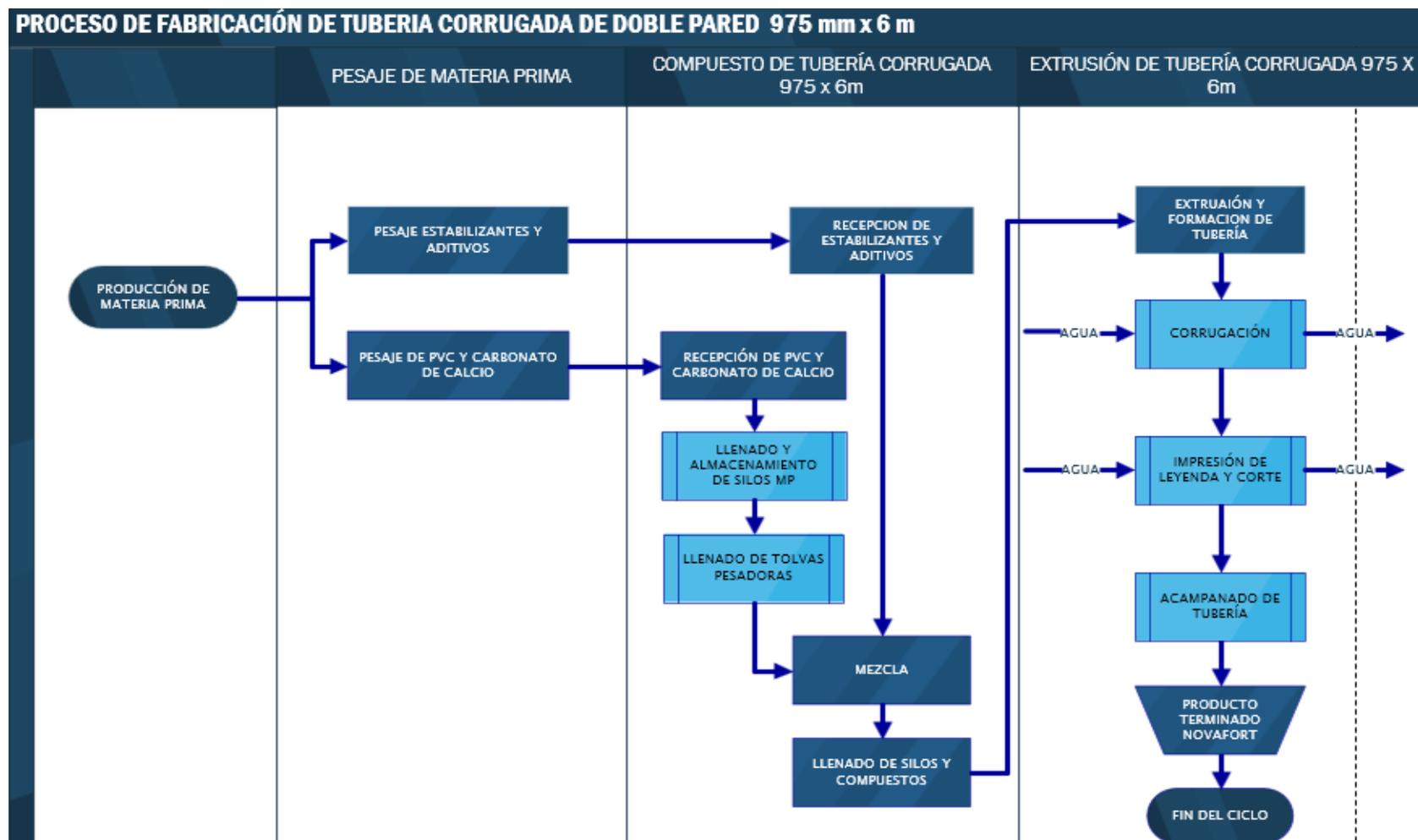


Figura 4.6 Límites de sistema del ACV de la Tubería corrugada doble pared 975mmx6m

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis del Inventario de Ciclo de Vida

4.2.1 Requerimiento de calidad de datos.

La recopilación de datos se realizó de fuentes primarias provenientes de la planta de extrusión de la empresa ubicada en Durán, el conjunto de datos de entrada y salida de producción se toman de las bases de datos de ECOINVENT y Green Delta.

La información corresponde al periodo del 1 de enero del 2019 hasta el 31 de diciembre del 2019, siendo este un año de producción continuo.

Las estadísticas recopiladas corresponden a la cantidad materia prima que ingresa, consumo de agua, energía empleada; al igual que las cantidades de desechos generados en cada uno de los procesos.

4.2.2 Fuente de datos.

La base de datos usada en el análisis de materias primas, logística, consumo agua, consumo eléctrico del proceso de producción, se asignaron en base a ítems de la base de datos de EcoInvet 3.7.1, los cuales se detallan en la tabla 5 y 6.

Tabla 5 Fuente de datos para la elaboración de tubería PVC corrugada 975mm x6m

ENTRADAS /SALIDAS	BASE DE DATOS
Productos químicos	
PVC extrusión 440-650	Polyvinylidenechloride, granulate
Carbonato (caco3)	Calcium carbonate, precipitated
Estabilizante	Chemical, organic
Estearato de calcio (saco polietileno) x 25 kg	Stearic acid
Ayuda de proceso 1 (saco polietileno) x 22,68 kg	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer
Cera parafínica rheolub (saco papel) x 22,68 kg	Petroleum slack wax
Cera polietilénica ac 629-a (saco papel) x 25 kg	Polyethylene, low density, granulate
Dióxido de titanio (saco papel) x 25 kg	Titanium dioxide
Modificador de impacto (saco nylon) x 22,68 kg	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer
Pigmento holcobatch amarillo (carton - fundas plasticas) x 25 kg	Epoxy resin insulator, sio2
Materia prima pesada en báscula	Raw material weighed on scale
Consumo de agua	
Agua	Tap water
Agua drenaje	Wastewater, average
Agua evaporación	Water vapour
Residuos solidos	
Big-bags nylon (3 kg)	Waste plastic, mixture
Saquillos nylon (0,2 kg)	Waste plastic, mixture
Saquillos papel (0,1 kg)	Waste packaging paper
Saquillos polietileno (0,3 kg)	Waste polyethylene, for recycling, unsorted
Tanques estabilizantes polietileno alta densidad - metal antioxidante (70 kg)	Waste polyethylene, for recycling, unsorted
Insumos	
Big-bags nylon (3 kg)	Nylon 6
Saquillos nylon (0,2 kg)	Nylon 6
Saquillos papel (0,1 kg)	Kraft paper, unbleached
Saquillos polietileno (0,3 kg)	Polyethylene, low density, granulate
Pallets (15 kg)	Eur-flat pallet
Tanques estabilizantes polietileno alta densidad - metal antioxidante (70 kg)	Polyethylene, low density, granulate
Electricity	
Electricidad	Electricity, low voltage
Productos	
Compuesto para extrusión	Extrusion_compound
Tubería novafort 975 mmx6m	Novafort_pipe
Tubería novafort 975 mm x 6 m	Novafort_975mmx6m_pipe
Caucho para novafort 975 mm x 6 m	Synthetic rubber

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 6 Fuente de datos para la elaboración de tubería PVC lisa 1035mmx6m

ENTRADAS /SALIDAS	BASE DE DATOS
Productos químicos	
PVC extrusión 440-650	Polyvinylidenchloride, granulate
Carbonato (caco3)	Calcium carbonate, precipitated
Estabilizante	Chemical, organic
Estearato de calcio (saco polietileno) x 25 kg	Stearic acid
Ayuda de proceso 1 (saco polietileno) x 22,68 kg	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer
Cera parafínica rheolub (saco papel) x 22,68 kg	Petroleum slack wax
Cera polietilénica ac 629-a (saco papel) x 25 kg	Polyethylene, low density, granulate
Dióxido de titanio (saco papel) x 25 kg	Titanium dioxide
Modificador de impacto (saco nylon) x 22,68 kg	Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (ABS)
Pigmento holcobatch amarillo (carton - fundas plasticas) x 25 kg	Epoxy resin insulator, SiO ₂
Consumo de agua	
Agua	Top water
Agua drenaje	Wastewater, average
Agua evaporación	Water vapour
Residuos solidos	
Big-bags nylon (3 kg)	Waste plastic, mixture
Saquillos nylon (0,2 kg)	Waste plastic, mixture
Saquillos papel (0,1 kg)	Waste packaging paper
Saquillos polietileno (0,3 kg)	Waste polyethylene, for recycling, unsorted
Tanques estabilizantes polietileno alta densidad - metal antioxidante (70 kg)	Waste polyethylene, for recycling, unsorted
Insumos	
Big-bags nylon (3 kg)	Nylon 6
Saquillos nylon (0,2 kg)	Nylon 6
Saquillos papel (0,1 kg)	Kraft paper, unbleached
Saquillos polietileno (0,3 kg)	Polyethylene, low density, granulate
Pallets (15 kg)	Eur-flat pallet
Tanques estabilizantes polietileno alta densidad - metal antioxidante (70 kg)	Polyethylene, low density, granulate
Electricity	
Electricidad	Electricity, low voltage
Productos	
Rollo perfil 3610 - 310 m.	3610_profile_roll
Tubería novaloc 1035 mmx6m	Novaloc_1035mmx6m_pipe
Union novaloc 1035 mmx6m	Novaloc_1035mmx6m_union
Caucho para tubería novaloc 1035mm x 6 m	Synthetic rubber
Caucho para union novaloc 1035mm x 6 m	Synthetic rubber

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

4.2.3 Inventario de entradas y salidas de procesos desarrollados para este estudio.

A continuación, se presenta las entradas y salidas durante los distintos procesos desde la materia prima hasta la tubería de PVC corrugada de doble pared y tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico terminada.

La recopilación de datos dentro de los límites del sistema natural corresponde a datos directos de los procesos productivos registrando entradas de insumos, materias primas, energía, agua, productos y salida de residuos, descargas, estos datos fueron validados mediante la relación con los valores unitarios de cada proceso que tengan mayor similitud a la base de datos de ECOINVENT y Green Delta.

En el presente trabajo se analizó de dos tuberías de PVC, cuya medida de datos de entradas y salidas durante el proceso de elaboración de la tubería corrugada de doble pared y la tubería lisa de perfil cerrado con sello elastomérico que posteriormente serán analizados en el software openLCA se detallan a continuación en la tabla 7 hasta la 18.

➤ Tubería de PVC Corrugada de doble pared

Tabla 7 Inventario de entrada y salidas materias primas tubería corrugada 975mmx6m

PESAJE DE MATERIA PRIMA TUBERÍA CORRUGADA 975MMX6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE
Agua	26400	M3/año	0,003932797	Tap water
Electricidad	4697	Kwh /año	0,00069971	Electricity, low voltage
Big-bags nylon (3 kg)	54000	Kg/año	0,008044357	Nylon 6
Saquillos nylon (0,2 kg)	2154,497	Kg/año	0,000320955	Nylon 6
Saquillos papel (0,1 kg)	395	Kg/año	5,88967E-05	Kraft paper, unbleached
Saquillos polietileno (0,3 kg)	723	Kg/año	0,000107762	Polyethylene, low density, granulate
Pallets (15 kg)	200	Item/año	2,97939E-05	EUR-flat pallet
Tanques estabilizantes polietileno alta densidad - metal antioxidante (70 kg)	10080	Kg/año	0,001501613	Polyethylene, low density, granulate
MATERIA PRIMA	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE
PVC extrusión 440-650	4886403	Kg/año	0,72792539	polyvinylidenchloride, granulate
Carbonato (caco3)	1319329	Kg/año	0,196539884	calcium carbonate, precipitated
Estabilizante	112387	Kg/año	0,016742244	chemical, organic

ADITIVOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE
Estearato de calcio (saco polietileno) x 25 kg	29318	Kg/año	0,00436749	stearic acid
Ayuda de proceso 1 (saco polietileno) x 22,68 kg	27204	Kg/año	0,004052568	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer
Cera parafínica rheolub (saco papel) x 22,68 kg	58637	Kg/año	0,008735129	petroleum slack wax
Cera polietilénica ac 629-a (saco papel) x 25 kg	9773	Kg/año	0,00145588	polyethylene, low density, granulate
Dióxido de titanio (saco papel) x 25 kg	24432	Kg/año	0,003639625	titanium dioxide
Modificador de impacto (saco nylon) x 22,68 kg	244320	Kg/año	0,036396247	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer
Pigmento holcobatch amarillo (carton - fundas plasticas) x 25 kg	977	Kg/año	0,000145543	epoxy resin insulator, SiO2
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Agua pesada en báscula	26400	M3/año	0,003932797	
Materia prima pesada en báscula	6.712.780	Kg/año	1	Raw material weighed on scale
Desechos			0	
Big-bags nylon (3 kg)	54000	Kg/año	0,008044357	Waste plastic, mixture
Saquillos nylon (0,2 kg)	2154,497354	Kg/año	0,000320955	Waste plastic, mixture
Saquillos papel (0,1 kg)	395	Kg/año	5,88967E-05	Waste packaging paper
Saquillos polietileno (0,3 kg)	723	Kg/año	0,000107762	Waste polyethylene, for recycling, unsorted
Tanques estabilizantes polietileno alta densidad - metal antioxidante (70 kg)	10080	Kg/año	0,001501613	Waste polyethylene, for recycling, unsorted

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

**Tabla 8 Inventario de entrada y salidas compuesto tubería corrugada
975mmx6m**

COMPUESTO TUBERÍA CORRUGADA 975MMX6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Materia prima pesada en báscula	6.712.780	Kg/ año	1,052631579	Raw material weighed on scale
Electricidad	1172922,99 2	Kwh/ año	0,18392615	Electricity, low voltage
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Compuesto para extrusión novafort 975mmx6m	6377141	Kg/ año	1	Extrusion_compound

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

**Tabla 9 Inventario de entrada y salidas extrusión tubería corrugada
975mmx6m**

EXTRUSIÓN TUBERÍA CORRUGADA 975MMX6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Compuesto para extrusión	6685576,28	Kg/año	1,036278754	Extrusion_compound
Electricidad	1507617,2	Kwh/año	0,23368392	electricity, low voltage
Agua	15533819,6 8	Kg/año	2,40777558	top water
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Tubería novafort 975 mmx6m	6451523,06 2	KG/AÑO	1	Novafort_pipe
Agua drenaje	4133,20050 7	M3/AÑO	0,000640655	wastewater, average
Agua evaporación	9731965,47 7	KG/AÑO	1,508475655	Water vapour

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 10 Inventario de entrada y salidas del producto terminado tubería corrugada 975mmx6m

PRODUCTO TERMINADO TUBERÍA CORRUGADA 975MMX6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Tubería novafort 975 mm x 6 m	273	Kg		Novafort_975mmx6m_pipe
Caucho para novafort 975 mm x 6 m	2	Kg		Synthetic rubber
SALIDAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Tubería novafort 975 mm x 6 m	273	Kg		Novafort_pipe

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

➤ **Tubería lisa de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m**

Tabla 11 Inventario de entrada y salidas de las materias primas tubería lisa de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m

PESAJE DE MATERIA PRIMA TUBERÍA Y UNIÓN LISA 1035 mm X 6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Agua	26400	M3/AÑO	0,041028574	top water
Electricidad	4697	KWH/AÑO	0,007299667	electricity, low voltage
Big-bags nylon (3 kg)	54000	KG/AÑO	0,083922083	nylon 6
Saquillos nylon (0,2 kg)	175	KG/AÑO	0,000271517	nylon 6
Saquillos papel (0,1 kg)	42	KG/AÑO	6,53662E-05	kraft paper, unbleached
Saquillos polietileno (0,3 kg)	407	KG/AÑO	0,000633123	polyethylene, low density, granulate
Pallets (15 kg)	200	KG/AÑO	0,000310823	EUR-flat pallet
Tanques estabilizantes polietileno alta densidad - metal antioxidante (70 kg)	10080	KG/AÑO	0,015665455	polyethylene, low density, granulate
Materia prima	Valores	Unidad	Proceso Unitario	Fuente de Datos
PVC extrusion 440-650	495293	KG/AÑO	0,769741116	polyvinylidenechloride, granulate
Carbonato (caco3)	84200	KG/AÑO	0,130856285	calcium carbonate, precipitated
Estabilizante	2972	KG/AÑO	0,004618823	chemical, organic
ADITIVOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Estearato de calcio (saco polietileno) x 25 kg	3962	KG/AÑO	0,006157394	stearic acid
Ayuda de proceso 1 (saco polietileno) x 22,68 kg	27204	KG/AÑO	0,04227808	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer
Cera parafínica rheolub (saco papel) x 22,68 kg	5944	KG/AÑO	0,009237646	petroleum slack wax
Cera polietilénica ac 629-a (saco papel) x 25 kg	991	KG/AÑO	0,001540126	polyethylene, low density, granulate
Dióxido de titanio (saco papel) x 25 kg	2972	KG/AÑO	0,004618823	titanium dioxide
Modificador de impacto (saco nylon) x 22,68 kg	19812	KG/AÑO	0,03079008	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer
Pigmento holcobatch amarillo (carton - fundas plásticas) x 25 kg	104	KG/AÑO	0,000161628	epoxy resin insulator, SiO2
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDADES/ MES	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Agua pesada en báscula	26400	M3/AÑO	0,041028574	
Materia prima pesada en báscula	643454	KG/AÑO	1	raw material weighed on scale

PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Big-bags nylon (3 kg)	54000	KG/AÑO	0,083922083	waste plastic, mixture
Saquillos nylon (0,2 kg)	175	KG/AÑO	0,00027197	waste plastic, mixture
Saquillos papel (0,1 kg)	42	KG/AÑO	6,52727E-05	waste packaging paper
Saquillos polietileno (0,3 kg)	407	KG/AÑO	0,000632524	waste polyethylene, for recycling, unsorted
Tanques estabilizantes polietileno alta densidad - metal antioxidante (70 kg)	10080	KG/AÑO	0,015665455	waste polyethylene, for recycling, unsorted

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 12 Inventario de entrada y salidas compuesto tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m

COMPUESTO PARA TUBERÍA Y UNIÓN LISA 1035 mm X 6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Materia prima pesada en báscula	643.454	Kg/ Año	1,052631579	Raw material weighed on scale
Electricidad	112430,62	Kwh/ año	0,18392615	Electricity, low voltage
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Compuesto para extrusión perfil 3610	611.281	Kg/ Año	1	3610_profile_compound

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 13 Inventario de entrada y salidas extrusión tubería lisa de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m

EXTRUSION PERFIL 3610 PARA TUBERÍA Y UNIÓN LISA 1035 mm X 6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Compuesto para extrusión perfil 3610	611281,3	Kg/ año	1,017734902	3610_profile_compound
Electricidad	153694,9	Kwh/año	0,255889824	Electricity, low voltage
Agua	1446180,32	Kg/ año	2,407775579	Tap water
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Rollo perfil 3610 - 310 m.	600629,2	Kg/ año	1	3610_PROFILE_ROLL Wastewater, average
Agua drenaje	384,7961001	M3/ año	0,000640655	Water vapour
Agua evaporación	906034,5259	Kg/ año	1,508475655	

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 14 Inventario de entrada y salidas formación tubería-unión tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m

FORMACIÓN TUBERÍA Y UNIÓN LISA 1035 mmX6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Rollo perfil 3610 - 310 m.	640.629	Kg/año		
Electricidad	31634,8	KWh /año		
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Tubería novaloc 1035 mm	442.795	Kg/año		
Uniones 1035 mm	158.268	Kg/año		

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 15 Inventario de entrada y salidas formación tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m

FORMACIÓN TUBERÍA LISA 1035mmX6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Rollo perfil 3610 - 310 m.	471.943	Kg/año	1,065828284	3610_profilero11
Electricidad	23304,9468 2	KWh/año	0,052631483	Electricity, low voltage
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Tubería novaloc 1035 mmx6m	442.795	Kg/año	1	Novaloc_1035mmx6 m_pipe

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 16 Inventario de entrada y salidas formación unión tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m

FORMACIÓN UNION LISA 1035mmX6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE
Rollo perfil 3610 - 310 m.	168.686	Kg/año	1,065828284	3610_profilero11
Electricidad	8329,85	KWh/año	0,052631483	Electricity, low voltage
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE
UNION NOVALOC 1035 MMX6M	158.268	KG/AÑO	1	Novaloc_1035mmx6M_union

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 17 Inventario de entrada y salidas producto terminado tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6m

PRODUCTO TERMINADO TUBERÍA LISA 1035mmX6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Tubería novaloc 1035 mmx6m	248	Kg		Novaloc_1035mmx6m_pip e
Caucho para tubería novaloc 1035mm x 6 m	5	Kg		Synthetic rubber
SALIDAS				
PRODUCTOS	Valores	Unidad		
Tubería novaloc 1035 mmx6m	248	Kg		Novaloc_1035mmx6m_pip e

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 18 Inventario de entrada y salidas producto terminado unión tubería de PVC de perfil cerrado con sello elastomérico 1035mmx6M

PRODUCTO TERMINADO UNIÓN TUBERÍA DE PVC DE PERFIL CERRADO CON SELLO ELASTOMÉRICO 1035mm X 6M				
ENTRADAS				
INSUMOS	VALORES	UNIDAD	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Union novaloc 1035 mmx6m	18	Kg		Novaloc_1035mmx6m_unio n
Caucho para union novaloc 1035mm x 6 m	5	Kg		Synthetic rubber
SALIDAS				
PRODUCTOS	VALORES	UNIDADES	PROCESO UNITARIO	FUENTE DE DATOS
Unión novaloc 1035 mmx6m	18	Kg		Novaloc_1035mmx6m_unio n

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

4.2.4 Evaluación de Impacto De Ciclo De Vida

4.2.4.1 Metodología

El procesamiento de datos se realizó mediante el software open LCA 1.10.3 para cada uno de los procesos dentro del ciclo de vida, el cual permite evaluar los impactos utilizando método el denominado ReCiPe cuyo objetivo es proporcionar un método que combine Eco-Indicador 99 y CML, el método distingue dos niveles de indicadores, indicadores de punto medio e indicadores de punto final con las siguientes categorías: Daños a la salud humana, daños a los ecosistemas y daños a la disponibilidad de recursos descritos en la figura 4.7 y 4.8 (Acero et al., 2017).

Method: ReCiPe midpoint (E, H & I)				
Impact category group	Name of the impact category in the method	E	H	I
Acidification	Terrestrial acidification	TAP500-E	TAP100-H	TAP20-I
Climate change	Climate Change	GWP500-E	GWP100-H	GWP20-I
	Fossil depletion	FDPinf-E	FDP100-H	FDP20-I
Depletion of abiotic resources	Metal depletion	MDPinf-E	MDP100-H	MDP20-I
	Water depletion	WDPinf-E	WDP100-H	WDP20-I
	Freshwater ecotoxicity	FETPinf-E	FETP100-H	FETP20-I
Ecotoxicity	Marine ecotoxicity	METPinf-E	METP100-H	METP20-I
	Terrestrial ecotoxicity	TETPinf-E	TETP100-H	TETP20-I
Eutrophication	Freshwater eutrophication	FEPinf-E	FEP100-H	FEP20-I
	Marine eutrophication	MEPinf-E	MEP100-H	MEP20-I
Human toxicity	Human toxicity	HTPinf-E	HTP100-H	HTP20-I
Ionising Radiation	Ionising radiation	IRPinf-E	IRP100-H	IRP20-I
	Agricultural land occupation	ALOPinf-E	ALOP100-H	ALOP20-I
Land use	LOP-E	LOP-H	LOP-I	
	Natural land transformation	LTPinf-E	LTP100-H	LTP20-I
	LTP-E	LTP-H	LTP-I	
Urban land occupation	ULOPinf-E	ULOP100-H	ULOP20-I	
	ODPinf-E	ODP100-H	ODP20-I	
Ozone layer depletion	Ozone depletion	MDE-E	MDE-H	MDE-I
Particulate matter	Particulate matter formation	PMFPinf-E	PMFP100-H	PMFP20-I
Photochemical oxidation	Photochemical oxidant formation	POFPinf-E	POFP100-H	POFP20-I

Figura 4.7 Categoría de impacto, metodo ReCiPe midpoint

Fuente: Tomado de LCIA methods, impact assessment methods in life cycle assessment and their impact categories. Versión 1.5.6. (Acero et al., 2017)

Method: ReCiPe endpoint (E, H & I)				
Impact category group	Name of the impact category in the method	E	H	I
Acidification	Terrestrial acidification	TAPinf EQ-E	TAP100 EQ-H	TAP20 EQ-I
Climate change	Climate change	GWPinf HH-E	GWPinf HH-H	GWPinf HH-I
		GWPinf EQ-E	GWPinf EQ-H	GWPinf EQ-I
Depletion of abiotic resources	Metal depletion	MDPinf RD-E	MDP100 RD-H	MDP20 RD-I
	Fossil depletion	FDPinf RD-E	FDP100 RD-H	FDP20 RD-I
Ecotoxicity	Freshwater ecotoxicity	FETPinf EQ-E	FETP100 EQ-H	FETP20 EQ-I
	Marine ecotoxicity	METPinf EQ-E	METP100 EQ-H	METP20 EQ-I
	Terrestrial ecotoxicity	TETPinf EQ-E	TETP100 EQ-H	TETP20 EQ-I
Eutrophication	Freshwater	FEPinf EQ-E	FEP100 EQ-H	FEP20 EQ-I
Human toxicity	Human toxicity	HTPinf HH-E	HTP100 HH-H	HTP20 HH-I
Ionising radiation	Ionising radiation	IRPinf HH-E	IRP100 HH-H	IRP20 HH-I
	Agricultural land occupation	ALOPinf EQ-E	ALOP100 EQ-H	ALOP20 EQ-I
Land use	Urban land occupation	ULOPinf EQ-E	ULOP100 EQ-H	ULOP20 EQ-I
	Natural land transformation	LTPinf EQ-E	LTP100 EQ-H	LTP20 EQ-I
Ozone layer depletion	Ozone depletion	ODPinf HH-E	ODP100 HH-H	ODP20 HH-I
Particulate matter	Particulate matter formation	PMFPinf HH-E	PMFP100 HH-H	PMFP20 HH-I
Photochemical oxidation	Photochemical oxidant formation	POFPinf HH-E	POFP100 HH-H	POFP20 HH-I

Figura 4.8 Categorías de impacto, metodo ReCiPe endpoint

Fuente: Tomado de LCIA methods: Impact assessment methods in life cycle assessment and their impact categories. Version 1.5.6 (Acero et al., 2017)

En la realización de presente estudio se tomaron en consideración las categorías de impacto del punto de salida del método ReCiPe descritos anteriormente, las categorías de impactos y factor de caracterización se describen a continuación en la tabla 19.

Tabla 19 Categorías de impacto del método ReCiPe endpoint

Categoría de impacto	
Cambio climático	
Aumento de la temperatura media de la tierra, principalmente a través de la liberación de gases de efecto invernadero. Los resultados comunes son el aumento de los desastres naturales y el aumento del nivel del mar.	
Potencial de calentamiento para 100 años (GWP-100)	Unidad: kg CO2-eq
Eutrofización	
La eutrofización es la acumulación de una concentración de nutrientes químicos en un ecosistema que conduce a una productividad anormal. Esto provoca un crecimiento excesivo de plantas como las algas en los ríos, las emisiones de amoníaco, nitratos, óxidos de nitrógeno y fósforo al aire o al agua tienen un impacto en la eutrofización. Aumento de las concentraciones de nitrógeno y fósforo	
Potencial de eutrofización de agua dulce (FEP)	Unidad: kg P-eq
Potencial de eutrofización marina (MEP)	Unidad: kg N-eq
Agotamiento de capa de ozono	
Los gases que agotan la capa de ozono causan daños al ozono estratosférico o la "capa de ozono". Los CFC, los halones y los HCFC son las principales causas del agotamiento del ozono. El daño a la capa de ozono reduce su capacidad para evitar que la luz ultravioleta (UV) ingrese a la atmósfera terrestre, aumentando la cantidad de luz UV cancerígena que llega a la superficie de la tierra.	
Potencial de agotamiento del ozono (ODP)	Unidad: kg CFC-11-eq
Agotamiento del agua	
La escasez de agua se puede definir como el punto en el que el consumo de los usuarios afecta al suministro o calidad del agua, de forma que la demanda no puede ser completamente satisfecha	
Potencial de agotamiento de los recursos hídrico (WDP)	Unidad: m3 water-eq
Agotamiento de combustibles	
Disminución de la disponibilidad de recursos no renovables como consecuencia de su uso insostenible.	
Potencial de agotamiento de combustibles fósiles (FDP)	Unidad: kg oil-eq
Material Particulado	
El material particulado es una mezcla de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran suspendidas en el aire.	
Potencial de formación de partículas (PMFP)	Unidad: kg PM10 eq
Acidificación terrestre	
Es un proceso conocido como deposición ácida principalmente cuando la lluvia ácida cae a una distancia considerable de su fuente, causando un deterioro del ecosistema de diverso grado.	
Potencial de acidificación terrestre (TAP 100)	Unidad: Kg SO2 eq

Fuente: Elaboración propia en base a LCA methods, impact assessment methods in life cycle assessment and their impact categories. Version 1.5.6 (Acero et al., 2017)

4.2.5 Resultados de caracterización de impactos.

4.2.5.1 Materia prima

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante el software LCA.

En las tablas 20 y 21 se presentan los resultados de la caracterización de impactos para la etapa de producción de materias primas empleada en la fabricación de la tubería corrugada 975mmx6m y tubería unión lisa 1035mmx6m.

Tabla 20 Resultados de caracterización de impactos por la materia prima de la tubería Corruca 975mmx6m

Materia Prima para la producción tubería corrugada doble pared 975mm x 6M								
CATEGORÍA DE IMPACTO	Cambio climático GWP-100	Agotamiento de Combustibles fósiles FDP	Eutrofización de agua dulce FEP	Eutrofización marina MEP	Agotamiento de ozono ODP	Material particulado PMFP	Acidificación terrestre TAP 100	Agotamiento del agua WDP
UNITS	Kg CO2-eq	Kg oil-eq	Kg P-eq	Kg N-eq	Kg CFC-11-eq	Kg PM10-eq	Kg SO2 eq	M3 water-eq
Pvc	3,68E+00	1,22E+00	3,50E-04	4,10E-4	3,50E-05	8,95E-03	1,81E-02	4,13E-02
Carbonato de calcio	3,13E-01	6,28E-02	4,99E-05	4,62E-5	1,49E-08	3,90E-04	7,00E-04	1,15E-03
Modificador impacto-acrylonitrile	1,82E-01	9,84E-02	1,34E-05	3,02E-5	2,47E-09	1,90E-04	5,10E-04	2,37E-03
Nylon-saquillos de big bag	7,82E-02	2,52E-02	1,86E-06	2,94E-5	1,50E-10	8,16E-05	2,30E-04	5,80E-04
Estabilizante (chemical)	3,04E-02	2,46E-02	6,04E-06	4,45E-6	2,74E-09	4,74E-05	1,10E-04	5,30E-04
Dioxido de titanio	2,61E-02	7,04E-03	9,72E-06	7,62E-6	2,02E-09	6,56E-05	1,60E-04	3,80E-04
Cera parafínica (wax)	9,00E-03	1,20E-02	1,99E-07	1,21E-6	6,39E-09	1,96E-05	6,82E-05	2,19E-05
Polietileno	7,18E-03	5,85E-03	1,55E-06	1,15E-6	1,33E-10	1,06E-05	2,34E-05	9,03E-05
Esterato de calcio	6,01E-03	9,00E-04	1,56E-06	2,80E-5	2,66E-10	2,22E-05	8,06E-05	2,80E-04
(Waste plastic) nylon	2,04E-03	4,01E-05	6,64E-09	4,88E-5	1,98E-11	6,88E-06	2,73E-06	5,46E-07
Waste de polietileno - tanques estabilizantes	3,70E-04	1,20E-04	6,46E-08	6,99E-7	2,90E-11	1,10E-06	1,14E-06	2,31E-06
Epoxy resin insulator - pig. Amarillo	2,70E-04	1,30E-04	7,27E-08	4,51E-8	3,75E-11	4,87E-07	9,32E-07	3,31E-06
Electricidad 1	2,00E-04	6,97E-05	1,13E-08	3,98E-8	2,76E-11	3,63E-07	1,28E-06	3,37E-07
Pallets	2,00E-04	8,72E-05	5,91E-08	5,12E-8	1,75E-11	6,31E-07	9,56E-07	2,00E-06
Desecho saquillos de papel	9,36E-05	2,82E-07	9,73E-10	2,21E-7	1,39E-13	1,15E-08	1,79E-08	2,53E-09
Saquillo de papel	6,22E-05	1,88E-05	3,93E-08	3,91E-8	5,06E-12	1,85E-07	3,46E-07	3,04E-06
TOTAL DE MATERIA PRIMA	4,33E+00	1,46E+00	4,40E-04	6,10E-4	3,50E-05	9,79E-03	2,00E-02	4,67E-02

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

Tabla 21 Resultados de caracterización de impactos por la materia prima de la tubería Lisa 1035mmx6m

Materia Prima para la producción tubería Unión Lisa con sello elastomérico 1035mm x 6M								
CATEGORÍA DE IMPACTO	Cambio climático GWP-100	Agotamiento de Combustibles fósiles FDP	Eutrofización de agua dulce FEP	Eutrofización marina MEP	Agotamiento de ozono ODP	Material particulado PMFP	Acidificación terrestre TAP 100	Agotamiento del agua WDP
UNITS	Kg CO2-eq	Kg oil-eq	Kg P-eq	Kg N-eq	Kg CFC-11-eq	Kg PM10-Eq	Kg SO2 eq	M3 water-eq
Pvc	3,89E+00	1,29E+00	3,70E-04	4,40E-04	3,70E-05	9,47E-03	1,91E-02	4,36E-02
Carbonato de calcio	2,08E-01	4,18E-02	3,32E-05	3,07E-05	9,93E-09	2,60E-04	4,70E-04	7,70E-04
Modificador impacto-acrylonitrile	3,29E-01	1,78E-01	2,43E-05	5,45E-05	4,45E-09	3,40E-04	9,30E-04	4,29E-03
Nylon-Saquillos- big bag	7,87E-01	2,53E-01	1,87E-05	3,00E-04	1,51E-09	8,20E-04	2,36E-03	5,85E-03
Estabilizante (chemical)	8,39E-03	6,80E-03	1,67E-06	1,23E-06	7,57E-10	1,31E-05	2,96E-05	1,50E-04
Dioxido de Titanio	3,32E-02	8,94E-03	1,23E-05	9,67E-06	2,57E-09	8,33E-05	2,10E-04	4,80E-04
Cera Parafínica (wax)	9,51E-03	1,27E-02	2,10E-07	1,28E-06	6,76E-09	2,07E-05	7,21E-05	2,32E-05
Polietileno	4,18E-02	3,40E-02	9,04E-06	6,69E-06	7,75E-10	6,15E-05	1,40E-04	5,30E-04
Esterato de Calcio	8,49E-03	1,27E-03	2,20E-06	3,95E-05	3,79E-10	3,14E-05	1,10E-04	3,90E-04
(waste plastic) Nylon	2,05E-02	4,00E-04	6,69E-08	4,90E-04	1,99E-10	6,92E-05	2,75E-05	5,49E-06
Waste de Polietileno - Tanques estabilizantes	3,73E-03	1,26E-03	6,56E-07	7,08E-06	2,94E-10	1,12E-05	1,16E-05	2,35E-05
Epoxy resin insulator - pig, Amarillo	3,00E-04	1,40E-04	8,07E-08	5,01E-08	4,17E-11	5,40E-07	1,03E-06	3,67E-06
Electricidad 1	2,12E-03	7,30E-04	1,20E-07	4,17E-07	2,88E-10	3,80E-06	1,33E-05	3,54E-06
Pallets	2,20E-03	9,50E-04	6,43E-07	5,90E-07	2,04E-10	7,06E-06	1,06E-05	2,13E-05
Desecho Saquillos de Papel	1,00E-04	3,13E-07	1,08E-09	2,45E-07	1,55E-13	1,27E-08	1,99E-08	2,80E-09
Saquillo de papel	6,87E-05	2,07E-05	4,34E-08	4,33E-08	5,55E-12	2,04E-07	3,83E-07	3,37E-06
TOTAL, DE MATERIA PRIMA	5,34E+00	1,83E+00	4,70E-04	1,37E-03	3,70E-05	1,12E-02	2,35E-02	5,62E-02

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

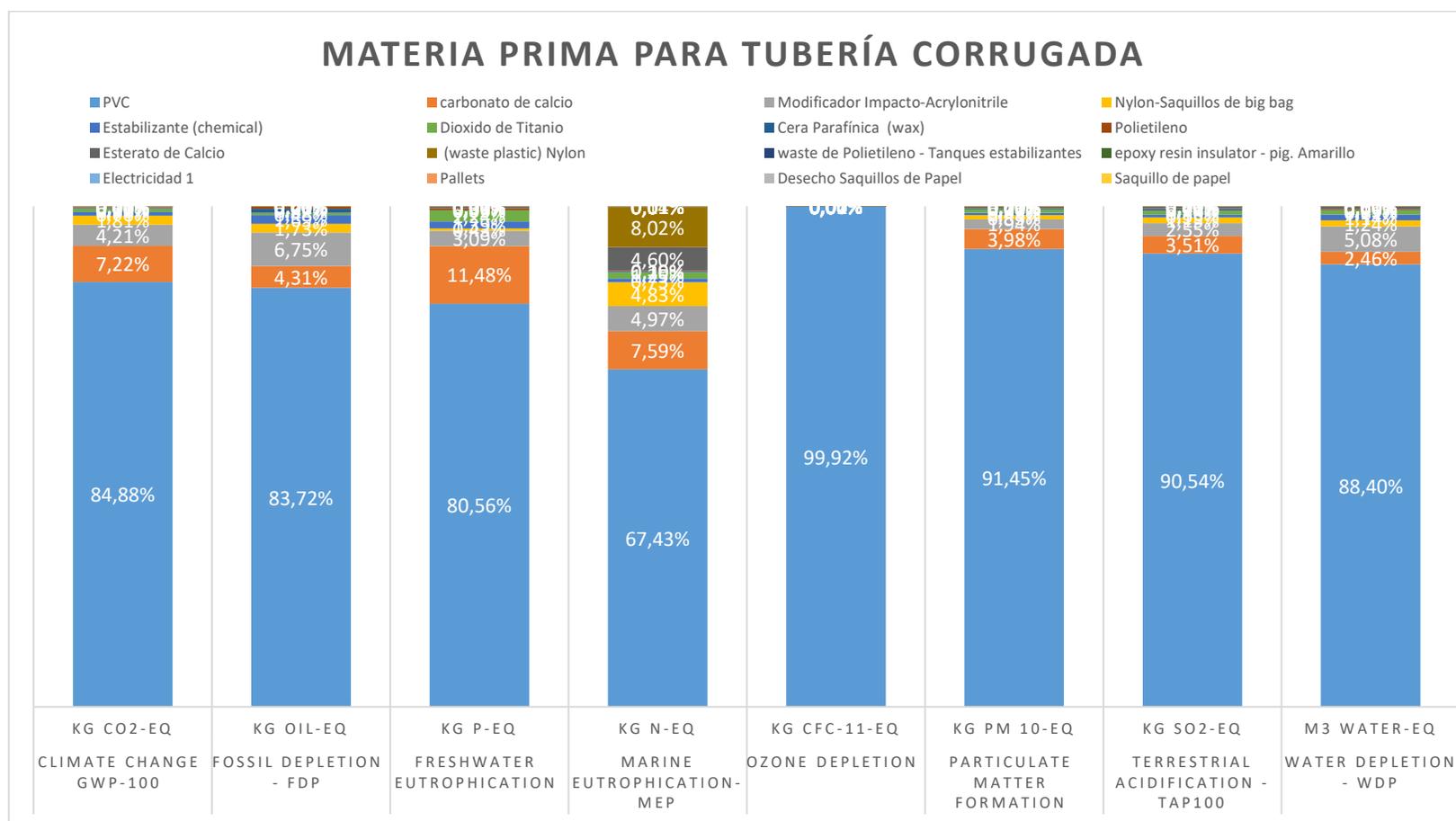


Figura 4.9 Resultados de caracterización de impactos por la materia prima de la tubería Corrugada 975mmx6m
Fuente: Elaboración propia en base a resultados de desempeño ambiental del Software openLCA

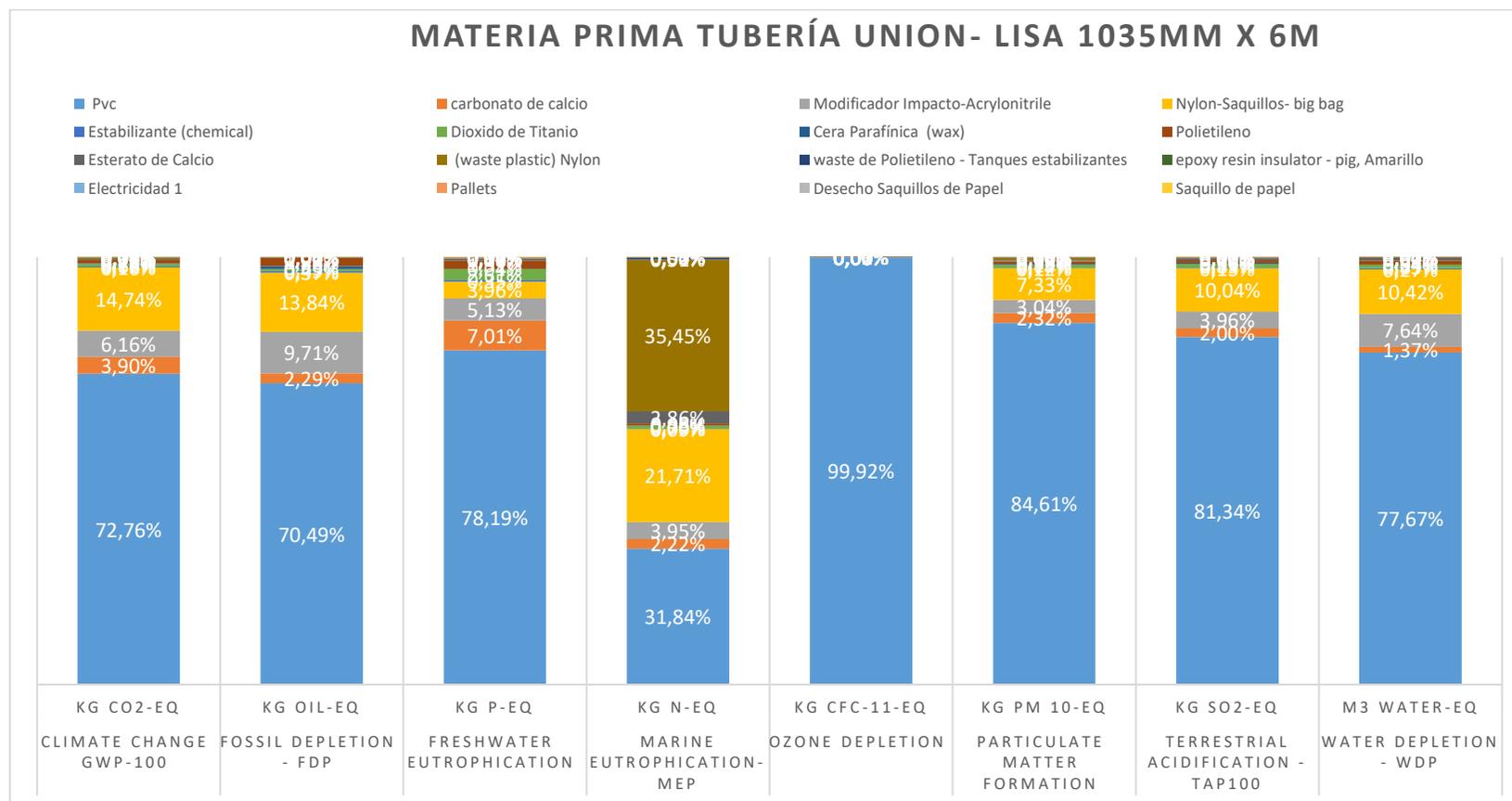


Figura 4.10 Resultados de caracterización de impactos por la materia prima para la tubería Lisa 1035mmx6m

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de desempeño ambiental del Software openLCA

Las contribuciones de las diferentes materias primas usadas en la elaboración de tubería corrugada y tubería unión lisa se representan en la figura 4.9 y 4.10, cuyos resultados indican que la producción de resina de PVC necesaria para la elaboración de las tuberías; indica significativamente en las todas las categorías de impacto establecidas, esto se debería a los procesos que conlleva la obtención de la resina desde las industrias petroquímicas, de forma similar PAVCO (2017) expresa que “la mayoría de los efectos ambientales se encuentran dentro de la extracción y procesamiento de materias primas requeridos para la fabricación de resina de PVC y a partir de los ingredientes de la mezcla de alimentación, la resina de PVC es responsable de la mayoría de los efectos ambientales y el uso de los recursos, aunque también se encontró que los aditivos tienen un efecto significativo”.

Cambio climático: Dentro de la categoría de cambio climático el PVC contribuye significativamente con 84,88% para TC; la producción de saquillos de nylon aporta en la TUL el 14,74% y mientras que en la TC su aporte es poco significativo; mientras que la producción del Carbonato de Calcio aporta el 7,22% en la TC y el 3,90% en la TUL; seguido del modificador de impacto con 4,21% TC y 6,16% TUL.

Agotamiento de combustibles fósiles: Dentro de la materia prima considerada para la producción de TC, se considera que después de la resina de pvc, el carbonato de calcio presenta un porcentaje de contribución a la categoría del 11,48%, seguido del modificador de impacto con 3,09% y el 2,24% correspondiente al dióxido de titanio. En cuanto a la TUL con sello elastomérico de perfil cerrado se evidencia que el carbonato de calcio tiene un porcentaje de contribución 7,01%, seguido del modificar de impacto con 5,13% y 3,96% del saquillo de nylon.

Eutrofización de agua dulce: Las contribuciones a esta categoría de eutrofización de agua dulce están atribuidas al desecho del nylon con 8,02%, carbonato de calcio con 7,59%; seguido del modificador de impacto, saquillos de nylon y estarato de calcio con 4,60% en la TC. Mientras que para TUL uno de los menores aporte se deriva de los desechos del nylon con 0,01%%, seguido de los saquillos de nylon con 3,96%, modificar de impacto 5,13% y el carbonato de calcio 7,01%.

Eutrofización marina: Entre las contribuciones a esta categoría se encuentra principalmente en la producción del carbonato de calcio con un 7,59% para TC, mientras que para la fabricación de TUL presentan el 2,22%, sin dejar de recalcar el modificador de impacto presentando el 4,97% en TC y 3,95 % en TUL.

Agotamiento de Ozono: La resina de PVC contribuye significativamente con el 99,92% en la producción de TC, el carbonato de calcio y modificador de impacto contribuyen con un 0,04% y 0,01% a la categoría; mientras que TUL la contribución de este insumo es poco significativa.

Formación de partículas: Para la producción de TC, los procesos de producción del carbonato de calcio y modificador de impacto representan entre el 3,98 y 1,94% de aportación en la generación de material particulado PM10. Por otra parte, en la

TUL los saquillos de nylon aportan el 7,33%, seguido del modificador de impacto y el carbonato de calcio con el 3,04 y 2,32% de aportación.

Acidificación de la tierra: La categoría de acidificación de la tierra para la TC se ve influenciada por 2,55% de la producción del modificador de impacto; 3,51% del carbonato de calcio y 1,15% de los saquillos de nylon. En comparación de con la TUL donde la mayor aportación se muestra de la fabricación de PVC, seguido de los saquillos de nylon con 10,04% modificador de impacto y carbonato de calcio con el 3,96 y 2%

Agotamiento del Agua: El modificador de impacto contribuye de manera significativa con un 5,08% para TC y 7,64% para TUL, seguido del carbonato de calcio con un 2,46% y 1,37% para TUL y finalmente con una contribución menor del 1,24% de contribución para TC en comparación a la TUL con el 10,42% en cuanto al saquillo nylon.

En cuanto al resto de materias primas su impacto es poco significativo.

4.2.5.2 Tuberías

En la tabla 22 y 23 se puede observar los resultados de caracterización de impactos para los procesos de elaboración de las Tubería corrugada doble pared 975mmx6m y Tubería unión- Lisa con sello elastomérico 1035mmx6m definidas como unidades funcionales.

Tabla 22 Resultados de caracterización de impactos para unidad funcional (elaboración de tubería Corrugada)

UNIDAD FUNCIONAL TUBERÍA CORRUGADA DOBLE PARED 975MM X 6M						
CATEGORÍA DE IMPACTO	Unidad	Caucho	Extrusión	Preparación de compuesto	Materias primas	Total
CAMBIO CLIMÁTICO GWP-100	Kg CO ₂ -Eq	5,18E+00	1,94E+01	1,52E+01	1,30E+03	1,34E+03
AGOTAMIENTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES FDP	Kg oil-Eq	3,72E+00	5,79E+00	4,54E+00	4,36E+02	4,50E+02
EUTROFIZACIÓN DE AGUA DULCE FEP	Kg P-Eq	1,44E-03	4,49E-03	3,19E-03	1,37E-01	1,46E-01
EUTROFIZACIÓN MARINA MEP	kg N-Eq	9,30E-04	6,26E-03	1,99E-03	1,84E-01	1,93E-01
AGOTAMIENTO DE OZONO ODP	Kg CFC-11-Eq	1,08E-06	1,17E-06	7,84E-07	1,04E-02	1,04E-02
AL PARTICULADO PMFP	Kg PM ₁₀ Eq	9,95E-03	3,02E-02	2,28E-02	2,94E+00	3,01E+00
ACIDIFICACIÓN TERRESTRE TAP 100	Kg PM ₁₀ -Eq	2,20E-02	1,04E-01	8,24E-02	6,00E+00	6,21E+00
AGOTAMIENTO DEL AGUA WDP	Kg SO ₂ -Eq	8,55E-02	2,52E-01	1,84E-01	1,40E+01	1,45E+01

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

**Tabla 23 Resultados de caracterización de impactos para unidad funcional
(elaboración de tubería y unión lisa)**

UNIDAD FUNCIONAL TUBERÍA Y UNIÓN LISA 1035MM X 6M							
CATEGORÍA DE IMPACTO	Unidad	Caucho	Formación de Tubería y unión lisa 1035mm x 6 M	Preparación de compuesto o tubería	Preparación ext perfil 3610 tubería	Materia Primas	Total
CAMBIO CLIMÁTICO GWP-100	Kg CO2-Eq	2,64E+01	4,92E+00	1,56E+01	2,13E+01	1,32E+03	1,39E+03
AGOTAMIENTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES FDP	Kg oil-Eq	1,87E+01	1,63E+00	5,33E+00	7,28E+00	4,45E+02	4,78E+02
EUTROFIZACIÓN DE AGUA DULCE FEP	Kg P-Eq	7,76E-03	8,89E-04	9,44E-04	1,30E-03	1,40E-01	1,51E-01
EUTROFIZACIÓN MARINA MEP	kg N-Eq	4,82E-03	4,76E-03	3,08E-03	4,20E-03	1,88E-01	2,05E-01
AGOTAMIENTO DE OZONO ODP	Kg CFC-11-Eq	5,43E-06	7,47E-07	2,11E-06	2,89E-06	1,06E-02	1,06E-02
MATERIAL PARTICULADO PMFP	Kg PM10 Eq	5,16E-02	9,68E-03	2,80E-02	3,82E-02	3,00E+00	3,13E+00
ACIDIFICACIÓN TERRESTRE TAP 100	Kg PM 10-Eq	1,14E-01	2,91E-02	9,76E-02	1,33E-01	6,13E+00	6,50E+00
AGOTAMIENTO DEL AGUA WDP	Kg SO2-Eq	4,32E-01	3,85E-02	2,73E-02	3,74E-02	1,42E+01	1,48E+01

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

En la figura 4.11 y 4.12 se observa que el proceso que incide significativamente en las 8 categorías estudiadas a lo largo del ciclo de vida de la unidad funcional se origina en la producción de las materias primas consideradas para la fabricación de la tubería, mientras que el impacto generado por los procesos de fabricación es poco significativo en comparación con la materia prima, lo que concuerda con el estudio de PAVCO (2017) y por Chunzhi et al (2016), en el cual especifica que la fase que representa la mayor influencia ambiental de las tuberías depende principalmente de las materias primas necesarias para la producción de estas, en cuanto a las fábricas de tuberías de PVC causan comparativamente poco efecto.

A lo anterior expuesto, la materia prima tiene su mayor aporte en la categoría de agotamiento de ozono con 99% en ambas tuberías, tomando en cuenta que para las demás categorías la contribución representa entre 91 al 97% en 7 de las categorías, mientras que, del total de los procesos implicados en fabricación de las tuberías estos representan entre el 0,03% al 6,25% para TC y para la TUL las cifras van desde 0,11% al 8,23% de aportación a las categorías.

En el proceso de preparación de compuesto, en la TC la mayor contribución se evidencia en la eutrofización de agua dulce con 2,19%, seguido de la acidificación terrestre del agua con 1,33%, consumo de agua 1,27% y cambio climático con 1,13%, por otra parte, en la TUL el mayor grado de impacto se da en las categorías de eutrofización del agua y acidificación terrestre con 1,5%, seguido del 1,12% de cambio climático, 1,11% agotamiento de combustibles fósiles y 0,89% formación de partículas.

La contribución del proceso de extrusión en la TC incide representativamente en la eutrofización de agua dulce y marina con 3%, el resto de las categorías se encuentran con una cifra porcentual de 0,01% a 1,74%. Por otra parte, TUL está representada por el indicador eutrofización de agua dulce con 0,86%, agotamiento del de combustibles fósiles 1,52% y 2,05% de eutrofización marina, el resto de las categorías corresponde del 0,3 al 2,05% de aportación.

El caucho como complemento del producto final incide significativamente en la TUL, dónde 1,75% corresponde a la acidificación terrestre y 2,35% eutrofización marina, mientras que 1,90 al 3,92% representa al cambio climático y agotamiento de combustibles fósiles; a diferencia de la TC, donde la contribución es mínima con cifras porcentuales de 0,01 a 0,99% de aportación en las categorías.

La contribución del proceso formación de TUL es poco significativo encontrándose entre 0,01% a 2,32%, cabe destacar que este proceso es solamente aplica para la producción de TUL.

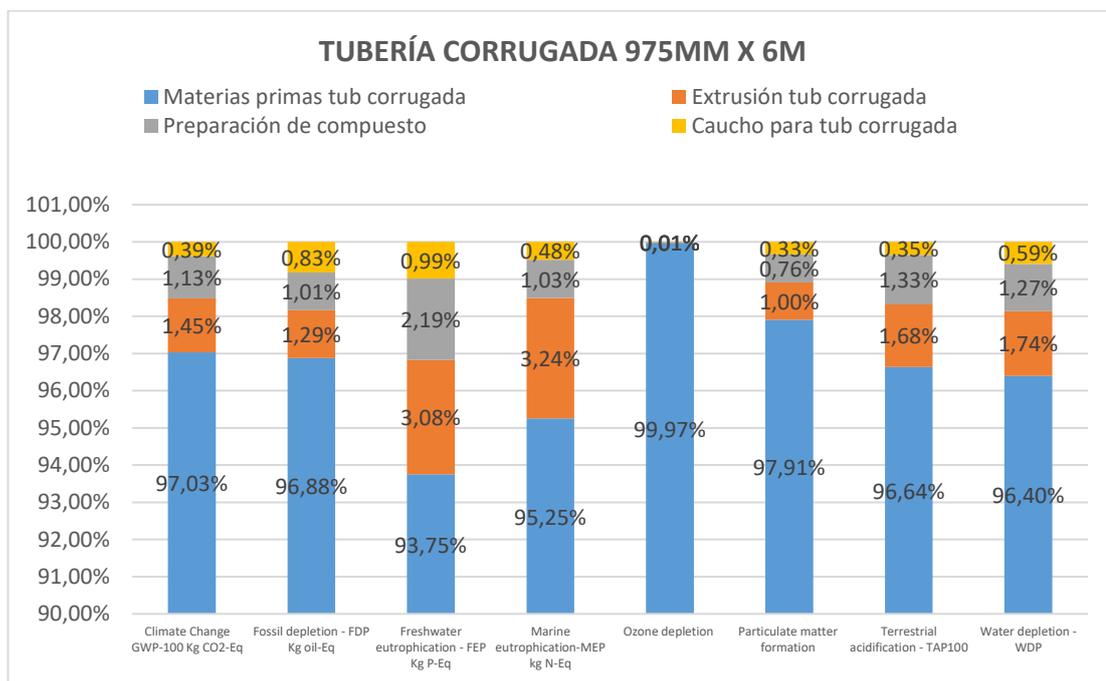


Figura 4.11 Caracterización de impactos por procesos de la de unidad funcional (tubería Corrugada)

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

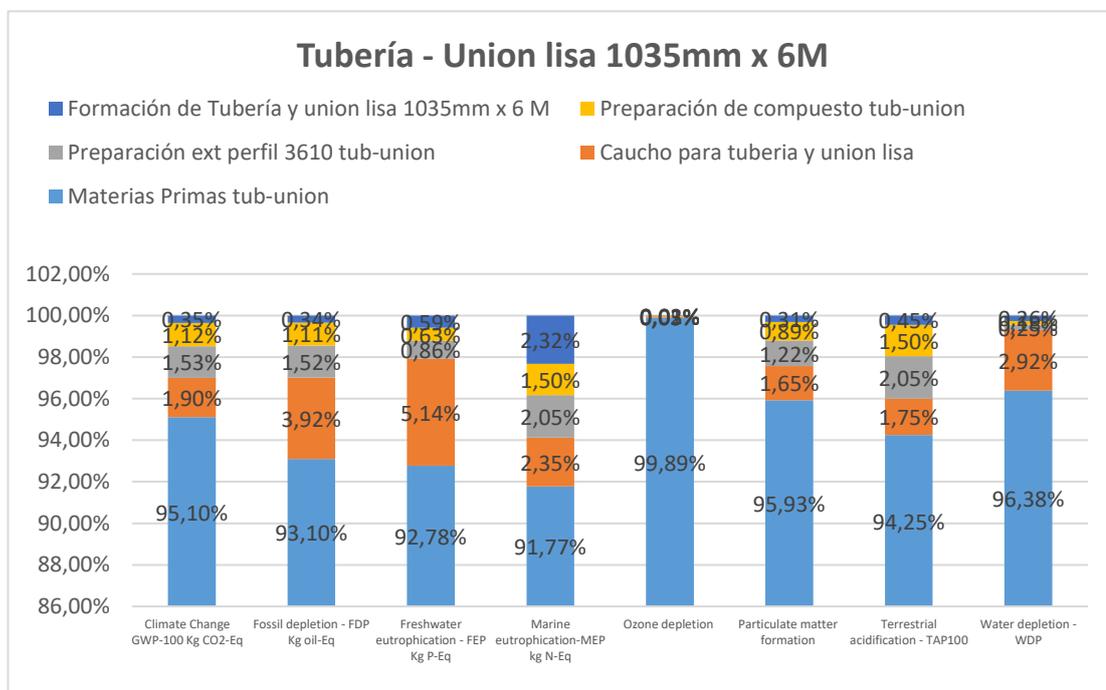


Figura 4.12 Caracterización de impactos por procesos de la unidad funcional (tubería unión-lisa)

Fuente: Elaboración propia en base al Software openLCA

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El presente estudio realizado mediante el análisis de ciclo de vida, se identificó la contribución que existe en las dos fases de fabricación de las tuberías: producción de materias primas para la obtención de TC y TUL, así como, durante la producción de ambas tuberías correspondientes al periodo 2019.

1. Se concluye que en base a los resultados de caracterización de impactos; los procesos de fabricación de las tuberías son poco significativo en comparación con la materia prima.
2. En base a los resultados obtenidos de la producción de las materias primas utilizadas en la fabricación de TC y TU, se concluye que, para todas las categorías de impacto la resina de PVC es el principal aportante en ambas tuberías analizadas, seguido del carbonato de calcio y modificador de impacto. Por otra en la TUL los saquillos de nylon y desechos de nylon contribuyen a la categoría de MEP y en menor medida se encuentran el estabilizante, dióxido de titanio, pigmentos, entre otras materias primas.
3. Los resultados de la fase de producción indica que la mayor contribución en los indicadores se encuentra durante la producción de las materias primas representando aproximadamente el 95% de aportación en las 8 categorías de ambas tuberías, seguido de los proceso de fabricación cuya contribución total es menos del 5% a las categorías; las cuales se distribuyen de la siguiente manera, para la TC el proceso de extrusión representa entre el 0,01% al 3,24%, seguido del proceso de preparación de compuesto 0,01% al 2,19% y finalmente el caucho aporta entre 0,01% al 0,99%. En cuanto a la TUL el proceso de extrusión representa entre 0,03% al 2,05%, preparación de compuesto va desde 0,02% a 1,50%, proceso de formación de tubería y unión 0,01% al 0,59% y el caucho del 0,05% al 3,92%.
4. La producción de materias primas es la más impactante a lo largo de la producción de las tuberías, en cuento a los demás procesos asociados es mínimo, esto se debe a que estos son eficientes, debido a que, durante la fabricación de la Tubería de PVC, el agua es recirculada, los materiales con fallas y residuos de PVC que se generan son reutilizados nuevamente en el proceso de fabricación.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda:

1. Concluir el análisis de ciclo de vida de las tuberías estudiadas con la evaluación de los impactos durante la fase de obra civil e instalación de las tuberías.
2. Ajustar el espesor de pared de las tuberías, de forma que la medida que cumpla con los estándares de producción y tenga un mejor rendimiento ambiental, optimizando el consumo de materia prima, energía y agua empleada para la fabricación.
3. Realizar un estudio de comparativo del ciclo de vida para diferentes tipos de tuberías usadas comúnmente en los sistemas las redes distribución de agua, como tuberías de hormigón armado, tuberías de polietileno de alta densidad (HDPE), entre otras; frente a las tuberías de PVC y así evaluar el impacto que tiene el PVC frente a las otras alternativas.
4. La reutilización de los big bags y saquillos de nylon que permitan reducir los residuos que se generar en la recepción y durante la utilización de materia prima.
5. La adquisición de equipo y maquinas eficientes durante el proceso de preparación de compuesto, extrusión de tuberías y perfiles y en la planta de formación de TUL, reduciendo el consumo excesivo de energía eléctrica.
6. Gestionar los mantenimientos eléctricos y mecánicos de las máquinas que se encuentran el proceso de preparación de compuesto, extrusión y formación de tuberías.
7. Desarrollar estrategias de mejora continua, que contribuyan a la implementación de un sistema de paneles solares, permitiendo alternar energía eléctrica de la red con energía renovable, de esta forma se podrá reducir el consumo y costos en la fabricación del producto.
8. Evitar el desperdicio de las materias primas involucradas en el proceso de producción para la fabricación de tuberías.

BIBLIOGRAFÍA

- Acero, A. P., Rodriguez, C., & Ciroth, A. (2017). LCIA methods: Impact assessment methods in life cycle assessment and their impact categories. Version 1.5.6. *Green Delta*, 23, 1–23. <https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/LCIA-METHODS-v.1.5.4.pdf>
- Akhtar, S., Reza, B., & Hewage, K. (2014). *Life cycle sustainability assessment (LCSA) for selection of sewer pipe materials*. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0849-x>
- Alsadi, A., Matthews, J. C., Asce, M., & Matthews, E. (2020). *Environmental Impact Assessment of the Fabrication of Pipe Rehabilitation Materials*. 11(1), 1–7. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000395](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000395)
- Bolivar, N. (2005). *Estudio de la factibilidad para una planta procesadora de resinas de PVC*. [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/15833/3/Estudio de factibilidad Planta PVC.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/15833/3/Estudio%20de%20factibilidad%20Planta%20PVC.pdf)
- Camacho, J., Chalcualan, J., & Masaquiza, G. (2017). Escenarios para el cambio estructural de la economía a través de la industria petroquímica. In *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE* (Vol. 62, Issue 1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.cya.2016.07.002>
- Cao, C. (2017). Sustainability and life assessment of high strength natural fibre composites in construction. In *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction* (pp. 529–544). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00021-2>
- Carrasco Melendez, Y. A. (2005). *Análisis comparativo de ventanas de PVC versus ventanas de aluminio*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/myaccess.library.utoronto.ca/pubmed/11720961>
- CFN, C. F. N. (2017). *Industrias manufactureras. Fabricación de Productos Plásticos*. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/12/Ficha-Sectorial-Manufacturas-de-Plástico-dic-2017.pdf>
- Chauhan, V., Kärki, T., & Varis, J. (2019). Review of natural fiberreinforced engineering plastic composites, their applications in the transportation sector and processing techniques. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 1-41. doi:<https://doi.org/10.1177/0892705719889095>
- Chunzhi, Z., Mengchi, H., Yi, L., & Liping, M. (2016). *Research on Life Cycle Assessment of Plastic Pipeline System*. 847, 366–373. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.847.366>
- Curran, M. A. (2017). *Overview of Goal and Scope Definition in Life Cycle Assessment* (pp. 1–62). https://doi.org/10.1007/978-94-024-0855-3_1
- Duque Poveda, J. G. (2015). *Metodología constructiva para instalaciones hidráulicas y sanitarias en viviendas*. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11167>
- EKOS. (2018). Producción de plásticos: Un pilar para el encadenamiento productivo -. *Revista EKOS*, 287, 110–120. <https://www.ekosnegocios.com/articulo/produccion-de-plasticos-un-pilar-para-el-encadenamiento-productivo>
- European Commission. (2006). *Environment fact sheet: industrial development*.
- Fernández Espejel, G., & Sánchez, O. (2019). El plástico modernidad y deterioro ambiental. *Cesop*, 120, 33.

- <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/camara/Centros-de-Estudio/CESOP/Novedades/Carpeta-informativa.-El-plastico-modernidad-y-deterioro-ambiental>
- Horodytska, O., Valdés, F. J., & Fullana, A. (Abril de 2018). Plastic flexible films waste management – A state of art review. *Waste Management*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.023>
- ISO 14040, U.-E. (2006). *UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia* (p. 29). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- ISO 14044, U.-E. (2006). *UNE-EN ISO 14044 Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices*. (p. 26). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>
- Keila Rojas Gutierrez. (2018). *Análisis del Ciclo de Vida de Producto*. <https://www.gestiopolis.com/analisis-del-ciclo-vida-producto-acv-gestion-ambiental/>
- Laurin, L., & Dhaliwal, H. (2017). Life Cycle Environmental Impact Assessment. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (pp. 225–232). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10060-0>
- Llorente, I. M. (2011). *Análisis del ciclo de vida de la ventana de madera*. http://oa.upm.es/10912/1/ANÁLISIS_DEL_CICLO_DE_VIDA_DE_LA_VENTANA_DE_MADERA.pdf
- Madrigal, J. (2011). *Manual de plásticos para diseñadores*.
- Malakul, P., & Ayudhaya, N. (2014). *Benefits of Life Cycle Assessment on Plastic Products Presentation Outline*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bse.2445>
- MAE. (3 de Abril de 2014). Políticas para gestión integral de plásticos en el Ecuador. Recuperado el 25 de Enero de 2021, de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/06/Acuerdo-19.pdf>
- Mansor, M. R., Mastura, M. T., Sapuan, S. M., & Zainudin, A. Z. (2018). The environmental impact of natural fiber composites through life cycle assessment analysis. In *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites* (pp. 257–285). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102290-0.00011-8>
- Martínez, & Romero. (2016). Redes sostenibles en PVC orientado (PVC-O) - Huella Ambiental. *Congreso Nacional de Riegos*. <https://doi.org/10.21151/cnriegos.2016.c12>
- Masdeu i Font, M., Morera, S., Dragoste, C., Ballell, X., & Laboratori, J. C. (2015). Análisis del ciclo de vida de la fase de construcción de la red de distribución de agua potable de Girona, Salt y Sarrià de Ter. *TECNOAQUA*, 12, 12. https://www.tecnoaqua.es/descargar_documento/articulo-tecnico-analisis-ciclo-vida-construccion-red-distribucion-agua-potable-tecnoaqua-es.pdf
- Mohan, M. (2018). Perovskite photovoltaics. In *Perovskite Photovoltaics: Basic to Advanced Concepts and Implementation* (pp. 447–480). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812915-9.00014-9>

- Molecor, T. (2017). *Impacto ambiental de las Tuberías de PVC Orientado TOM - Agua*. <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/168830-Impacto-ambiental-de-las-Tuberias-de-PVC-Orientado-TOM.html>
- Nieuwlaar, E. (2004). Life Cycle Assessment and Energy Systems. En *Encyclopedia of Energy* (págs. 647-654). doi:<https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00233-3>
- PAVCO. (2017). *Análisis del ciclo de vida de las tuberías de agua y alcantarillado de PVC y analisis comparativo de la sustentabilidad de los materiales de las tuberías*. (Issue 1). <https://pavcowavin.com.co/blog/ciclo-de-vida-tuberias-pvc>
- Pazienza, P., & de Lucia, C. (2020). The EU policy for a plastic economy: Reflections on a sectoral implementation strategy. *Business Strategy and the Environment*, 29(2), 779–788. <https://doi.org/10.1002/bse.2445>
- Pazienza, P., & De Lucia, C. (6 de Diciembre de 2019). The EU policy for a plastic economy: Reflections on a sectoral implementation strategy. 1-10. doi:<https://doi.org/10.1002/bse.2445>
- PlasticsEurope. (2019). Plásticos – Situación en 2019. *Plastic Europe*. <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/2511-plasticos-situacion-en-2019>
- Pontón, B. (2017). *Análisis De Ciclo De Vida De La Varilla De Acero Sae 1029 Producida En Guayaquil*.
- Remmen, A., Astrup, A., & Frydendal, J. (2007). *LIFE CYCLE MANAGEMENT: A Business Guide to Sustainability*. United Nations Environment Programme UNEP. Obtenido de <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2012/12/2007%20-%20LCM.pdf>
- Revista Líderes. (2018). *La industria del plástico se mueve al ritmo de unas 600 empresas*. Revista Lideres. <https://www.revistalideres.ec/lideres/industria-plastico-inversion-innovacion-ritmo.html>
- Sanjuan-delmás, D., Petit-boix, A., Gasol, C. M., Villalba, G., Suárez-ojeda, M. E., Gabarrell, X., Josa, A., & Rieradevall, J. (2014). Environmental assessment of different pipelines for drinking water transport and distribution network in small to medium cities : a case from Betanzos , Spain. *Journal of Cleaner Production*, 66, 588–598. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.055>
- Senthilkannan, S. (2020). Estimating the overall environmental impact of textile processing. In *Assessing the Environmental Impact of Textiles and the Clothing Supply Chain* (pp. 105–129). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819783-7.00006-5>
- Statista. (2021). *Industria mundial del plástico: estadísticas y hechos | Statista*. <https://www.statista.com/topics/5266/plastics-industry/>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Saal, F. S. V., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Torabi, F., & Ahmadi, P. (2020). Battery technologies. In *Simulation of Battery Systems* (pp. 1–54). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816212-5.00005-2>
- Ubilla R, Y. (2019). “La evolución de la industria plástica en el Ecuador periodo 2013-2017.” [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41415/1/T-UBILLA ROJAS YANINA JESSICA.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41415/1/T-UBILLA_ROJAS_YANINA_JESSICA.pdf)

- UNEP. (2003). *Environmental LCA – Life Cycle Initiative*.
<https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/environmental-lca/>
- Vazquez, A., Beltrán, M., Espinosa, R. M., & Velasco, M. (2016). El origen de los plásticos y su impacto en el ambiente. *Researchgate*, 1–14.
https://www.researchgate.net/publication/303045381_El_origen_de_los_plasticos_y_su_impacto_en_el_ambiente
- Villacis Coraquilla, K. L. (2018). *Evaluación de la Línea de Conducción del Sistema de Abastecimiento de agua potable del Cantón Rumiñahui*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19455/1/CD-8849.pdf>