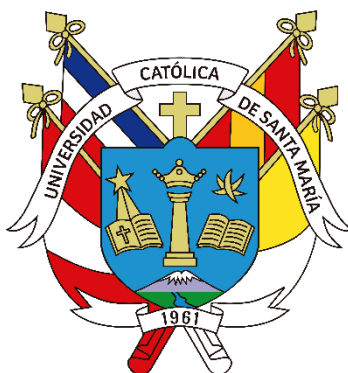


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura, Ingeniería Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL Y PEATONAL MUNICIPAL EN CAYMA-AREQUIPA -PERÚ 2023.

Tesis presentada por la Bachiller:

Meza Elguera, Meryl Liam

para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Asesor (a):

**Mg. Cardenas Pillco, Berly
Edinsson**

Arequipa- Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 17 de Octubre del 2023

Dictamen: 002089-C-EPIA-2023

Visto el borrador del expediente 002089, presentado por:

2014701452 - MEZA ELGUERA MERYL LIAM

Titulado:

ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL Y PEATONAL MUNICIPAL EN CAYMA-AREQUIPA -PERÚ 2023.

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR**



**29519918 - BEJARANO MEZA MARIA ELIZABETH
DICTAMINADOR**



**43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA
DICTAMINADOR**



ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN RELACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL Y PEATONAL MUNICIPAL EN CAYMA-AREQUIPA -PERÚ 2023.

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	ria.utn.edu.ar Fuente de Internet	2%
2	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	1%
3	perulca.com Fuente de Internet	1%
4	zagan.unizar.es Fuente de Internet	1%
5	docshare.tips Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIAS

Esta Tesis va dedicado principalmente a mis padres Isaias y Manuela por su apoyo incondicional que me brindaron y gracias a ellos estoy logrando este gran paso en mi vida profesional.

A mi Familia en general por la motivación y ánimo incondicional que me han otorgado, confiando en mi desde el primer momento y que me da mucha gratitud que este logro de ser Ingeniera Ambiental.

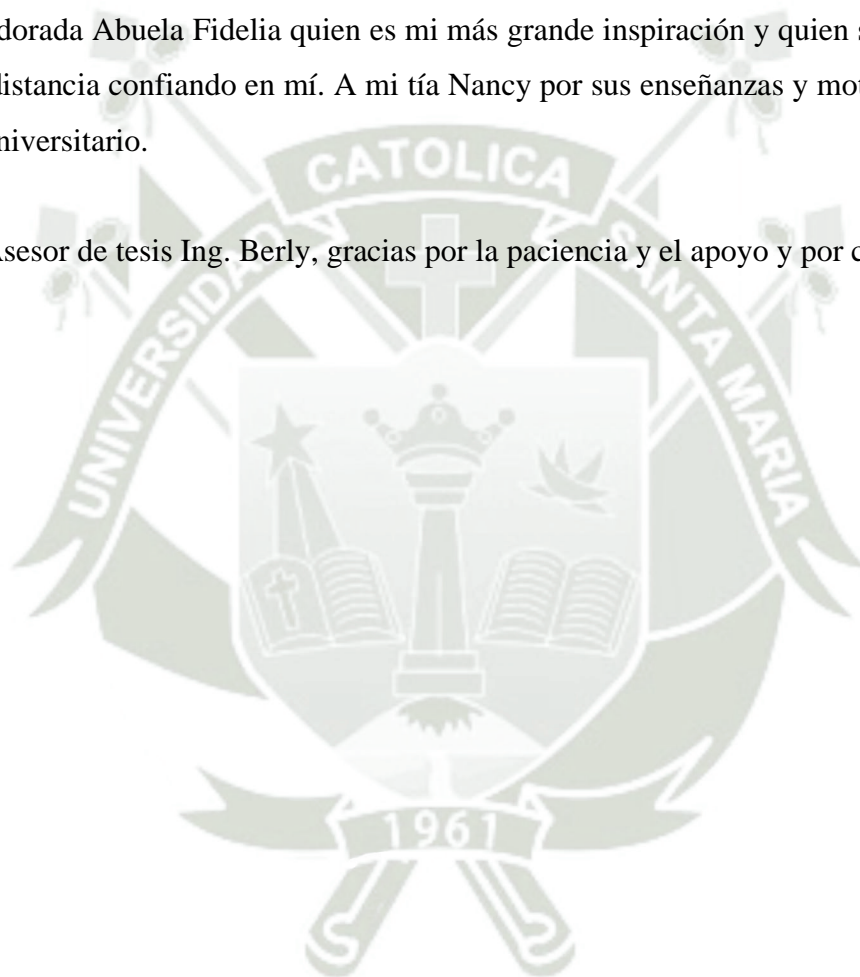


AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme en este camino de dedicación y esfuerzo para seguir adelante. A mis padres Isaias y Manuela por brindarme su apoyo y amor constante a lo largo de este camino, por ser ellos mi más grande ejemplo de vida; A mis hermanos Jader, Roy, Naysha y Daisy por siempre apoyarme y estar en cada etapa de mi vida.

A mi adorada Abuela Fidelia quien es mi más grande inspiración y quien siempre está ahí conmigo a la distancia confiando en mí. A mi tía Nancy por sus enseñanzas y motivación en todo este camino Universitario.

A mi Asesor de tesis Ing. Berly, gracias por la paciencia y el apoyo y por creer en mí.



RESUMEN

Durante los últimos 5 años la construcción viene siendo uno de los sectores que impacta negativamente al medio ambiente. El objetivo de este estudio fue elaborar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la fase de construcción de origen municipal utilizando como referencia la metodología ISO 14044:2006 Gestión ambiental- Análisis de Ciclo de Vida. Se estableció en primer momento el objetivo y alcance, seguidamente se recopiló la información necesaria para poder realizar el inventario de ciclo de vida (ICV), luego se evaluó el impacto y finalmente esta la interpretación de la comparación de escenarios propuesto y modificado tomando en cuenta límites del sistema. Para el cálculo de las cargas ambientales de los procesos constructivos se utilizó el software SimaPro V 9.5 y la base de datos de Ecoinvent 3.6, la metodología de evaluación de impacto fue IPCC 2013 y como categoría de impacto cambio climático. En el análisis del ICV se utilizaron como principales entradas transporte y materiales de construcción, posteriormente como resultado del estudio teniendo en cuenta la unidad funcional para el ACV fue de 1m² de construcción de una obra civil municipal durante un periodo de 5 meses de obra, se obtuvo que, el frente de Tupac Amaru posee mayor carga ambiental debido a su área (m²) y mayor actividad de la maquinaria pesada, así mismo se concluye que para los límites del sistema se obtuvo de acuerdo a la Unidad Funcional que el cemento Portland representa una carga ambiental mayor de acuerdo a la Norma Euro 3, aproximadamente al 9% mayor en impacto ambiental en Kg de CO₂ equivalente respecto al cemento puzolánico en un 40% de acuerdo a la Norma Euro IV, el siguiente límite del sistema es el cambio del EURO III al EURO IV de la maquinaria pesada respecto a los procesos constructivos se observa un incremento del 6.29 KgCO₂eq, a 6,38 KgCO₂eq, ya que esto corresponde a la categoría de impacto de cambio climático IPCC2013 GWP100A, En la comparación final de escenarios el sistema convencional sin límites del sistema se obtuvo un total de carga ambiental de 5528.19Kg.CO₂eq y el escenario con Limite de Sistema un total de 5253.87KgCO₂eq

PALABRAS CLAVE

Cambio Climático, Categoría de Impacto, Impacto Ambiental del sector Constructivo, Análisis de Ciclo de Vida SimaPro, Ecoinvent

ABSTRACT

During the last 5 years, construction has been one of the sectors that has a negative impact on the environment. The objective of this study was to prepare a Life Cycle Assessment (LCA) of the construction phase of municipal origin using the ISO 14044:2006 Environmental Management-Life Cycle Analysis methodology as a reference. The objective and scope were established at first, then the necessary information was collected to be able to carry out the life cycle inventory (LCI), then the impact was evaluated and finally there is the interpretation of the comparison of proposed and modified scenarios taking into account system boundaries. For the calculation of the environmental loads of the construction processes, the SimaPro V 9.5 software and the Ecoinvent 3.6 database were used, the impact evaluation methodology was IPCC 2013 and climate change as an impact category. In the analysis of the ICV, transport and construction materials were used as the main inputs, later as a result of the study taking into account the functional unit for the LCA was 1m² of construction of a municipal civil work during a period of 5 months of work, it was obtained that the Tupac Amaru front has a greater environmental load due to its area (m²) and greater activity of heavy machinery, likewise it is concluded that for the limits of the system it was obtained according to the Functional Unit that Portland cement represents. a higher environmental load according to the Euro 3 Standard, approximately 9% greater in environmental impact in Kg of CO₂ equivalent with respect to pozzolanic cement by 40% according to the Euro IV Standard, the next limit of the system is the change of EURO III to EURO IV of heavy machinery with respect to construction processes, an increase of 6.29 KgCO₂eq is observed, to 6.38 KgCO₂eq, since this corresponds to the IPCC2013 GWP100A climate change impact category. In the final comparison of scenarios the conventional system without system limits a total environmental load of 5528.19Kg.CO₂eq was obtained and the scenario with System Limit a total of 5253.87KgCO₂eq

KEYWORDS

Climate Change, Impact Category, Environmental Impact of the Construction sector, Life Cycle Assessment, SimaPro, Ecoinvent

ÍNDICE

DEDICATORIAS	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
ABREVIATURAS	12
INTRODUCCIÓN	15
CAPITULO I	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1 Problemática De La Investigación	18
1.2 JUSTIFICACIÓN	20
1.2.1 Aspecto Ambiental.....	20
1.2.2 Aspecto Social.....	20
1.2.3 Aspecto Económica.....	20
1.2.4 Aspecto Tecnológica.....	21
1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.3.1 Objetivo Principal	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO II	22
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	23
2.2.1 Antecedentes a Nivel Internacional.....	23
2.2.2 Antecedentes a Nivel Nacional	33
2.2 Marco Teórico	36
2.2.1 Cambio Climático	36
2.2.2 Clasificación de Gases de efecto invernadero (GEI):	37
2.2.3 Principales Emisiones de Gases de Efecto invernadero de origen antropogénico.	38

2.2.4 Efecto Invernadero de origen antropogénico	38
2.2.5 Factores de Caracterización o de emisión de Gases de Efecto Invernadero:	38
2.2.6 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2014.....	39
2.2.7 Construcción Sostenible	40
2.2.8 Consumo y Producción responsable	41
2.2.9 Norma EURO	41
2.2.10 Clasificación de la Normativa EURO	41
2.2.11 La Evolución de la Norma Euro en el Perú.....	42
2.2.12 Norma EURO IV	43
2.2.13 Índice de Nocividad de Combustible	44
2.2.14 Gestión Ambiental.....	45
2.4 Marco Legal	55
CAPÍTULO III	57
3. METODOLOGÍA	58
3.1 Tipo Y Nivel De Investigación.....	58
3.1.1 Nivel De Investigación:.....	58
3.1.2 Tipo De Investigación:	58
3.2 Desarrollo Metodológico.....	58
3.2.1 Técnicas De Recolección De Datos	58
a) Clasificación De Recolección De Datos	58
b) Instrumentos Utilizados:	59
3.2.2 Elaboración Del Análisis Del Inventario De Ciclo De Vida.....	59
3.2.3 Evaluación De Impactos Utilizando El Software Sima Pro V.9.5	62
3.2.4 Comparación de escenarios propuesto y uno modificado tomando en cuenta límites del sistema.....	67
CAPÍTULO IV	68

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	69
4.1. Resultados De La Recolección De Datos Del Caso De Estudio.	69
4.1.1. Clasificación De Recolección De Datos	69
4.2. Resultados De La Elaboración Del Análisis Del Inventario De Ciclo De Vida	80
Cronología:	81
4.3. Resultados De La Evaluación De Impacto Ambiental.....	90
4.4. Resultados De La Comparación De Escenarios Propuesto Y Modificado Tomando En Cuenta Límites Del Sistema.	93
4.5. Discusión	96
CAPÍTULO V	98
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
5.1. Conclusiones	99
5.2. Recomendaciones	101
CAPÍTULO VI.....	102
6. REFERENCIAS	103
ANEXOS	110
7. Anexos	111

INDICE DE FÍGURAS

Figura N° 1: Distribución De Las Medidas De Mitigación De Acuerdo A Los Sectores De Emisiones De GEI.....	39
Figura N° 2: Reducción De Los Principales Contaminantes Según El Avance De La Norma EURO.	42
Figura N° 3: Tendencia De Los Contaminantes De Acuerdo A La Aplicación De La Norma EURO En El País.	43
Figura N° 4: Reducción De Emisiones Contaminantes Al Pasar De EURO III A EURO IV	44
Figura N° 5: Índice De Nocividad Del Tipo De Combustible Utilizados En El Perú.	45
Figura N° 6: Sistema De ACV, Con Sus Límites Del Sistema Mostrando Sus Entradas Y Salidas.	47
Figura N° 7: La Diferencia Entre Procesos Unitarios Y Proceso Del Sistema.	48
Figura N° 8: Información resumida del Software SimaPro.	49
Figura N° 9 : Limite del Ciclo De Carbono En El Entorno Construido- Sistema.....	50
Figura N° 10: Etapas Del Análisis De Ciclo De Vida.....	60
Figura N° 11: Fases Del Análisis Del Inventario Del Ciclo De Vida.	60
Figura N° 12: Bases De Datos Del Software Simapro V.9.5.....	63
Figura N° 13: Métodos De Evaluación De Impacto Que Posee El Software SimaPro.....	63
Figura N° 14: Creación De Un Nuevo Proceso en el Software SimaPro V.9.5.....	64
Figura N° 15: Base De Datos De Ecoinvent Para La Selección De Materiales.....	64
Figura N° 16: La Base De Datos De Ecoinvent En Relación A Transporte.	65
Figura N° 17: Base De Datos De Ecoinvent En Relación A Las Salidas Del Sistema.....	65
Figura N° 18: Calculo Del Inventario De Ciclo De Vida.	66
Figura N° 19: Vista Final Del Resultado Del Software SimaPro V.9.5.....	67
Figura N° 20: Grafica de resultados del Software SimaPro V.9.5.....	67
Figura N° 21: Límite Del Área De Intervención Del Distrito De Cayma- Arequipa.....	70
Figura N° 22: Sistema Completo Del Caso De Estudio De La Obra Municipal.	87
Figura N° 23: Porcentaje De Impacto Ambiental De Las Actividades Por Proceso Constructivo.	91
Figura N° 24: Grafica De Comparación De Los Procesos Constructivos Respecto A Sus Cargas Ambientales.....	92
Figura N° 25: Grafica de barras de la comparación de escenarios.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla De Implementación De La Norma Euro En El Perú.	43
Tabla 2. Escalas De Aplicación De Metodología De ACV En El Sector De Construcción.	49
Tabla 3. Localización Geográfica Del Distrito De Cayma	69
Tabla 4. Características Climáticas De Cayma.	70
Tabla 5. Datos Principales De La Obra Civil Municipal Y Sus Frentes Constructivos.....	72
Tabla 6: Información De Distancias Desde El Punto De Partida Hasta Los Puntos De Ubicación De Los Procesos Constructivos.....	73
Tabla 7. Listado De Maquinaria Utilizada En La Construcción De La Obra Municipal.....	74
Tabla 8. Cantidad Total De Ingreso De Materiales En Relación A Su Unidad Funcional.	75
Tabla 9: Data del proceso de construcción para la realización del ICV.....	76
Tabla 10: Data Del Proceso Constructivo para su cálculo en Toneladas kilómetro.	77
Tabla 11: Base De Datos De Las Entradas Y Salidas Del Producto Cemento con Puzolana al 40%	78
Tabla 12: Base De Datos De Entradas Y Salidas Del Producto Cemento Portland Comercial.	79
Tabla 13: Calculo Del Transporte Del Frente Constructivo Arriba Perú.....	81
Tabla 14 Calculo Del Transporte Del Frente Constructivo Che Guevara.....	82
Tabla 15: Calculo Del Transporte Del Frente Constructivo Lenin.	83
Tabla 16: Calculo Del Transporte Del Frente Constructivo Tupac Amaru.	84
Tabla 17: Ingreso De Materiales A La Obra Municipal De Acuerdo A La Información Generada Por El Área De Almacén.....	85
Tabla 18: Inventario De Ciclo De Vida Completo De La Obra Municipal.	88
Tabla 19: Tabla De Cargas Ambientales Respecto A Las Actividades realizadas.	90

Tabla 20: Comparación De Escenario Convencional Y Modificado Con Límites Del Sistema....93

Tabla 21: Cargas Ambientales De Los Procesos Constructivos Según La Norma EURO.95



ABREVIATURAS

ACV:	Análisis de Ciclo de Vida
LCA:	Life Cycle Assessment
ISO:	International Standards Organization
ICV:	Inventario de Ciclo de Vida
EICV:	Evaluación del Impacto ambiental del Ciclo de Vida
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
ISO:	Organización Internacional de Normalización
DIA:	Declaración de Impacto Ambiental
LMP:	Límite Máximo Permisible
m ² :	metro cuadrado
m ³ :	metro cúbico
TKM:	Toneladas por Kilometro
CO ₂ eq:	Dióxido de Carbono equivalente
PBI:	Producto Bruto Interno
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).
SNGA:	Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
PNUMA:	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
MINAM:	Ministerio de Ambiente
DIGESA:	Dirección General de Salud Ambiental
INGEI:	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
NDCs:	Nationally Determined Contributions
ODS:	Objetivos de Desarrollo Sostenible

INTRODUCCIÓN

Se prevé que el crecimiento urbano aumente en un 60% para el 2030, las ciudades y áreas metropolitanas son un motor tanto para el crecimiento económico como para el aporte del PBI mundial. Sin embargo, representa un 70 % de las emisiones de carbono a nivel mundial y el 60% del consumo de los recursos, para responder a estas cifras los países miembros se han comprometido en realizar planes urbanos nacionales para garantizar que se construya ciudades e infraestructuras más sostenibles. (Unidas, 2020) ; Es por eso que se debe tener mayor importancia en la extracción indiscriminada de los recursos naturales y el manejo inadecuado de estos, por otro aspecto el consumo energético que ocurre en todo el ciclo de vida de la construcción de infraestructuras, desde la extracción de materia prima, y transporte hacia las obras y en la fase final de las demoliciones, así mismo como los desechos generados. . Estamos convencidos en la relación e intervención del medio ambiente a través de la construcción y sus tecnologías para entender la problemática ambiental y que aún faltan mayores esfuerzos y buenas prácticas.

El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta de gestión ambiental que utilizan diversos sectores productivos tales como: agricultura, energía, residuos, procesos industriales, entre otros; debido a que su aplicabilidad amplia y ha beneficiado a la investigación por su capacidad de poder analizar procesos y actividades a detalle. En la Industria el Análisis de Ciclo de Vida se puede emplear para diferentes utilidades como: creación de Inventarios de ciclo de vida que son fuente de base de datos muy importantes para entender sus impactos ambientales potenciales para posteriormente identificar el origen y magnitud; además de localizar en qué áreas de los procesos u actividades se pueden reducir o mitigar los impactos ambientales negativos sobre el medio ambiente, la evaluación del ACV y la interpretación es para tomar varias decisiones importantes sobre el consumo de energía o sustitución de materiales y obtener una interpretación final concreta. para conocer el impacto ambiental de los distintos procesos u actividades productivas; para comparar tecnologías, tipos de materiales, productos, comprender el desempeño ambiental.

El ciclo de vida de una estructura, ya sea un complejo de apartamentos o un proyecto del estado, consta de cuatro etapas: durante la fase de producción que involucra energía y recursos utilizados desde que se extrae hasta que se transporta hasta el lugar final de fabricación; la etapa de construcción incluye no solo el consumo de energía, sino también la cantidad de maquinaria pesada que se moviliza para aumentar la producción de la construcción; la etapa de uso son los

impactos que se generan a través de esa construcción a lo largo de su tiempo de vida, por ejemplo la de una vivienda; El uso de agua, calefacción, electricidad, el mantenimiento; etapa final es donde se realizan actividades de demolición y eliminación de escombros así como el manejo de residuos; Los límites del sistema son efectos o impactos ambientales del proyecto como: reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales, energía y recursos naturales de cualquier caso de estudio que se manifiestan fuera del sistema a lo largo de las etapas de ciclo de vida y poder entender cómo influyen las emisiones y contaminantes producidos durante todo el ciclo de vida. (Simonen et al., 2018)



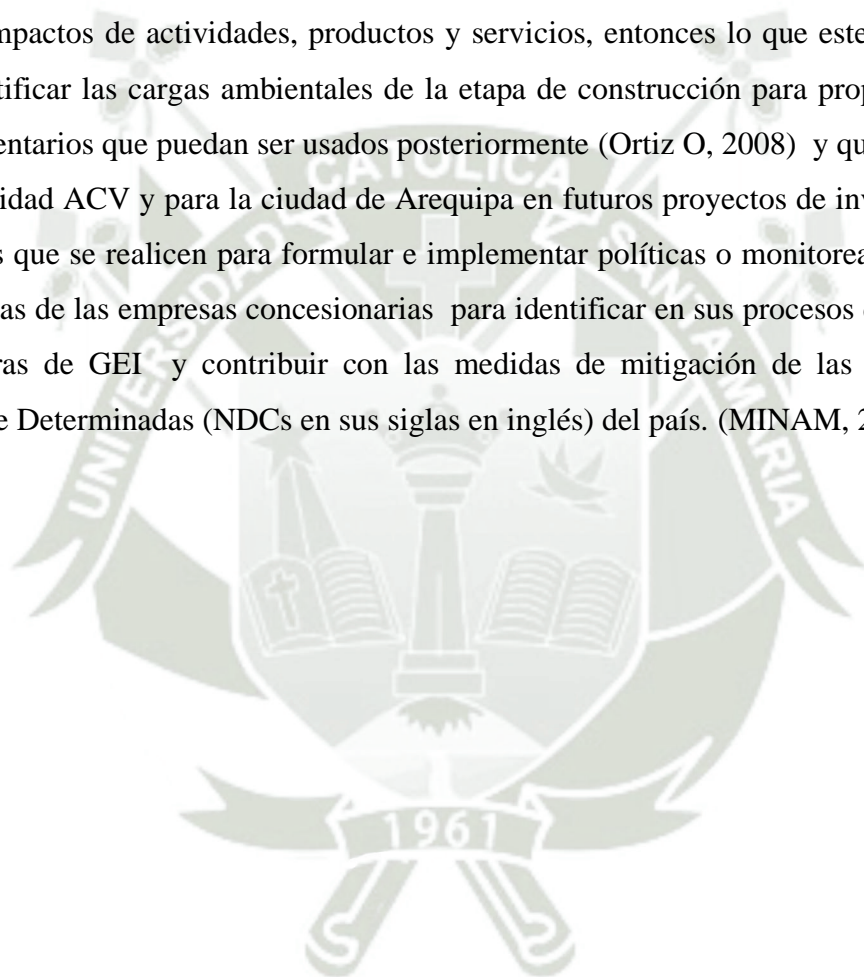


1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática De La Investigación

Durante los últimos 5 años la construcción viene siendo uno de los sectores que ha impactado negativamente al medio ambiente debido a la producción de materiales de construcción y a la misma actividad, ya que tiene un gran impacto frente a la generación de gases de efecto invernadero, El Perú, concretamente, la expansión vial sigue siendo una problemática debido a que muchas ciudades medianas y la mayoría de pueblos se conectan por vías sin asfaltar, en 2016 solo 87,7% de la red vial nacional (vías que se conectan con ciudades capitales) estaba pavimentada (MTC, 2017), por lo tanto es evidente que hay un déficit de redes de comunicación, lo que genera no solo contaminación del aire por parte de la congestión sino también por dichas construcciones, que llevando a una escala mundial, para el año 2050 en el mundo se construirían alrededor de 25 millones de kilómetros de carreteras y autopistas, y muchas de estas se concentrarán en áreas tropicales del mundo, el transporte y la infraestructura vial involucran un impacto ambiental muy significativo. (Alamgir et al., 2017) ; El sector construcción en el país se resalta que en el año 2019 tuvo un incremento del PBI de 1.18% esto debido también a que hubo un crecimiento interno de la producción del cemento de 6.14% (MVCS, 2019) y en cuanto al impacto ambiental por emisiones de gases de efecto invernadero se entiende que según el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014 (INGEI) ocupa el segundo lugar en la subcategoría de industrias manufactureras y construcción con el 9,039.2GgCO₂eq que representa el 27.4% de las emisiones totales del sector de energía, en cuanto a los procesos industriales y usos de productos, este representa el 4% de las emisiones nacionales y el que tiene mayor influencia es la producción de cemento debido al proceso de producción de Clinker que genera 4.59 GtCO₂eq. (MINAM, 2019) ,en comparación con el INGEI 2012 se ve una gran diferencia en las emisiones de GEI lo cual en la subcategoría ya mencionada se tiene un total de 1,612 GgCO₂eq de emisiones y en cuanto a los procesos industriales y uso de productos este representaba solo el 3.54% de las emisiones nacionales (MINAM, 2016). Arequipa es una de las regiones con potencial de la manufactura de cemento lo cual Yura aportó con el 4.42% siendo entre las principales empresas del mercado que contribuyó al crecimiento del promedio del sector de construcción del país. (INEI, 2017), se estima que este genera 24.0kg CO₂eq por una bolsa estándar el mayor porcentaje de este se debe al proceso de clinkerización. (Vázquez Rowe, y otros, 2018), este es uno de los pocos estudios que se realizaron en la región, lo cual aún se puede ver una falta de datos suficientes para identificar

el impacto real que tienen los procesos constructivos durante todo su ciclo de vida y trae consigo la falta de aplicación de los factores de caracterización de los gases de efecto invernadero (GEI) por las directrices del IPCC 2013 que contiene nuevos valores como una mayor gama de los gases de efecto invernadero (IPCC, 2013) y la falta del fortalecimiento de capacidades frente al Análisis de Ciclo de Vida de los mismos gobiernos locales como de las empresas concesionarias para fomentar la reducción de contaminantes en sus actividades, en este contexto el estudio de análisis de ciclo de vida se caracteriza por ser una metodología estándar ampliamente utilizada para evaluar los posibles impactos de actividades, productos y servicios, entonces lo que este estudio quiere lograr es identificar las cargas ambientales de la etapa de construcción para proporcionar datos reales con inventarios que puedan ser usados posteriormente (Ortiz O, 2008) y que sea de interés para la comunidad ACV y para la ciudad de Arequipa en futuros proyectos de investigación con los inventarios que se realicen para formular e implementar políticas o monitorear el progreso y buenas prácticas de las empresas concesionarias para identificar en sus procesos que actividades son generadoras de GEI y contribuir con las medidas de mitigación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDCs en sus siglas en inglés) del país. (MINAM, 2019)



1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1 Aspecto Ambiental

El Perú al comprometerse firmando el acuerdo de París en la que involucra todos los sectores económicos con la implementación de las contribuciones Nacionales determinadas (NDCs en sus siglas en inglés), lo cual dentro de las estrategias de medidas de mitigación se tiene como importancia fomentar la construcción sostenible que busca reducir los impactos negativos de la actividad constructiva de edificaciones públicas y privadas como meta a reducir hasta el 2030 el $0.009 \text{ MtCO}_2\text{eq}$ (MINAM, 2019), por lo tanto gracias Al ACV como herramienta de Gestión Ambiental se toma en cuenta todas las fases de la etapa de construcción involucrando una proximidad más completo de la generación de impactos ambientales y elaborar estrategias para obtener resultados provechosos para la investigación el cual se refiera un modelamiento más amigable con el medio ambiente como la sustitución de materiales, extender la vida útil de algunos materiales, entre otros con la finalidad de mitigar las emisiones de GEI.

1.2.2 Aspecto Social

Según a la ODS13 Acción por el clima con el estudio se podrá sensibilizar respecto a la mitigación del cambio climático y poder tener a la sociedad informada sobre los procesos que se realizan durante la construcción y de cómo estos están relacionados al medio ambiente mitigando los impactos ambientales de cada actividad detallada según la normativa peruana y reducir la generación de estas emisiones para el bienestar y salud de las personas que se encuentran en el área de influencia de la construcción lo cual están en constante presencia de estos contaminantes como es del transporte de materiales como la combustión misma de éste.

1.2.3 Aspecto Económica

El análisis de ciclo de vida es una herramienta de gestión ambiental lo cual funciona con una gran base de datos que permite obtener resultados de las entradas (flujo de materiales como de energía), procesos y salidas (impactos ambientales) del proyecto de construcción con la utilización de un software accesible llamado SimaPro incorporado a una base de datos Ecoinvent 3. Se obtendría un presupuesto mucho más detallado y más económico debido a que hay la posibilidad de que material o combustible es más accesible económicamente y tener un control de la maquinaria según las horas de operación dentro de la obra civil y cual tiene un impacto negativo menor hacia el medio ambiente según se esté haciendo el seguimiento adecuado.

1.2.4 Aspecto Tecnológica

PERÚLCA es un programa financiado por la Iniciativa Internacional del Clima gracias al Ministerio del Ambiente lo cual esta plataforma virtual está enfocada en publicaciones de estudios de Análisis de Ciclo de vida lo cual también se encuentran base de datos del Perú en sectores como: Agricultura, energía, procesos industriales, transporte, residuos, que aporta bastante en la recopilación de información más verídica en la realización de estudios de investigación, por otro lado gracias al software utilizado en este estudio SimaPro V 9.5 y la base de datos de Ecoinvent 3 se permitirá tener un diagnóstico de datos actualizados según la región para cuantificar las emisiones de $KgCO_2eq$ que tiene como beneficio contribuir en la generación en métricas para analizar y entender en qué actividades de la etapa de construcción se produce impactos ambientales más significativos y nos permita tener mayor importancia en la identificación de impactos, su evaluación e interpretación para un mejora en la toma de decisiones.

1.3 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1 Objetivo Principal

- Elaborar un estudio de análisis de ciclo de vida del proceso constructivo de una infraestructura vial y peatonal de origen municipal siguiendo la metodología de la ISO 14044.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Recolectar datos del caso de estudio de la construcción municipal
- Elaborar el Análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)
- Evaluar los impactos, utilizando el software SimaPro v 9.5
- Comparar los escenarios propuesto y modificado tomando en cuenta límites del sistema.



2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Antecedentes De La Investigación

2.2.1 Antecedentes a Nivel Internacional

Según estudios teniendo la problemática de la generación de gases de efecto invernadero en la Ciudad de México se estima que el sector transporte es el que más aporta a este problema por lo tanto como uso de herramienta de gestión ambiental para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero se usa el Software open LCA para el caso de estudio de 12 sistemas constructivos de los cuales 10 son muros, 1 de losa y el último de la ventana para el análisis en primer lugar se da la identificación del producto luego la realización del inventario que han sido la base del sistema después la generación de salidas del sistema, la evaluación del impacto potencial y por último la interpretación de resultados teniendo como unidad funcional m^2 muro, $1m^2$ de losa y $1m^2$ de ventana, los límites del sistema es desde la extracción de materias primas hasta el uso de esta al lugar de construcción teniendo en cuenta el consumo de combustible, electricidad, cabe recalcar que para la obtención de los resultados primero se llevó a una unidad equivalente que es Kg/m^2 debido que para poder calcular la huella de carbono de todos los sistemas en el programa Open LCA V 1.4.2 se tienen que ya ingresar los datos calculados y ajustados a la unidad funcional, los materiales de construcción como el uso de bloques de concreto macizo de 10cm para $1m^2$ de muro tienen un mayor impacto con 139.67 Kg de CO_2eq seguido delo bloque de concreto macizo de 15x15x30 cm en sí que tiene un impacto de 70.50 kg de CO_2eq ya que los ladrillos se hacen en la misma localidad y no requieren de combustibles, con respecto a los que emitieron menor impacto fue la realización de muro de bloque de cerámico con 29 kg de CO_2eq , muro de bloques de concreto celular con 51 kg de CO_2eq , en cuanto a las emisiones de transporte de materiales debido que el proveedor de este se encuentra en Nuevo León y se dirige a la Mérida (México) en el estudio se considera tener esta información en siguientes investigaciones debido a que el material con menos emisiones de kg de CO_2eq que se determinaron puedan tener un mayor impacto hacia el ambiente. (Güereca et al., 2016)

En el análisis de cambios de las redes eléctricas en el periodo de 1989-2013 de los dos siguientes países: Perú y España, lo cual la metodología usada fue el análisis de ciclo de vida para

determinar cómo fue su descarbonización en el periodo de ese rango de tiempo y cómo afecta al ambiente, para este trabajo se tomó en cuenta diversas etapas como: la entrega de electricidad de alto voltaje, la extracción de combustible y materias primas, procesamiento, transporte, operación de plantas eólica y solar, construcción y mantenimiento de centrales eléctricas, eliminación y residuos, la metodología consta para tres categorías de impacto que son: daños a la salud, ecosistema y recursos lo cual se utilizó la método de ReciPe y para determinar la huella de carbono se utilizó el método de IPCC 2013 horizonte a 100 años lo cual son modelados en el programa SimaPro con una base de datos llamada Ecoinvent. Los resultados finales fueron en primer lugar se tuvo en cuenta que los impactos ambientales de los dos países están vinculados a la producción de 1Kwh, España tuvo un buen ingreso económico debido que en los 80's entro a ser parte de la Unión Europea lo cual incrementa el uso de gas natural y su dependencia de energía externa en cambio, en el 2006 también hay una reducción de impacto debido a que el 20% total de energía fue de energía eólica y debido a la crisis financiera 2008-2014 hubo una disminución de la demanda energética y por lo tanto una reducción de impactos potenciales negativos, en cambio Perú debido en la década de los 90 presenta un bajo impacto ambiental debido a que el 85% total energía provenía de las centrales hidroeléctricas, debido al constante crecimiento de la población como de la economía se hizo un uso mayor en combustibles fósiles como el Gas Natural de lo que paso a ser de 1989 un 183 g CO_2eq a 2013 un 331 g CO_2eq y así la reducción del agotamiento del agua de 0.023 m^3 a 0.016 m^3 , entonces la políticas tomadas en cuenta para que las naciones puedan contribuir a la reducción de GEI fueron firmadas en la COP20 acción por el Clima en Lima y la COP 21 en Paris fueron llamadas las INDC (contribuciones determinadas a nivel nacional. (Vázquez-Rowe et al., 2015)

En el caso de estudio en Quebec (Canadá) tuvo el objetivo de evaluar en una perspectiva medioambiental dos escenarios el de concreto y asfalto dentro los procesos a analizar están producción del material, construcción, reparación, mantenimiento y la etapa de fin de vida, para la etapa de construcción se utilizó el consumo de energía de equipos y transporte de materiales procesados in-situ lo cual la una unidad funcional fue: proporcionar una ruta para el servicio de transporte incluyendo el 5% del camión, más 1 km de longitud de una carretera de dos carriles en un área urbana para 50 años de vida útil, para los resultados propuestos se usó el método de IMPACT 2002 y TRACI lo cual se usan 15 categorías de impacto para determinar los endpoints que son 4 Salud humana, calentamiento global, recursos y calidad del ecosistema, para validar los

datos de los midpoints como de los endpoints se hizo uso del análisis de Monte Carlo lo cual se hace una exhaustiva recopilación de fuentes externas como dentro de la base de datos de Ecoinvent que maneja una distribución logarítmica normal o también llamada uso de la matriz pedigrí, como resultados finales se menciona que para las estructuras de concreto se centran específicamente en la producción del cemento portland que contribuye con el 26.7% en calentamiento global y 21.0% para la acidificación acuática y también en la fase de construcción tanto de concreto como de asfalto lo que se manifiesta más es el transporte de maquinaria y material al sitio de construcción en la categoría de eco toxicidad terrestre por el uso de energías no renovables lo cual para la construcción con asfalto se tiene 47% y el concreto en un 49% de la categoría mencionada. En los análisis de incertidumbre y variabilidad se tiene que alterar el escenario preferido (pavimento) en 4 categorías principales lo cual se escogieron (acidificación acuática, eutrofización acuática, ecotoxicidad terrestre y acuática) para estas categorías se hace uso del petróleo crudo a excepción de la categoría de acidificación acuática y los demás categoría permanecen estables con una confianza mayor a 80% y en la variabilidad de los materiales de construcción del pavimento más que todo depende de la eficiencia de la maquinaria y equipos lo cual se considera que cualquier cambio de estos altera los resultados tanto para las categoría de cambio climático como de salud humana. (AzariJafari et al., 2018)

Según el estudio de análisis de ciclo de vida en construcciones hecho en la universidad de Lleida en España menciona como el uso del LCA para las escalas de aplicación de la construcción como el material o producto, sistemas constructivos y la construcción como viviendas multifamiliares, unifamiliar y proyectos civiles para obtener una mejor toma de decisiones en la construcción como para la selección de materiales adecuados que pueden servir tanto para una evaluación y optimización de procesos constructivos, el análisis en primer lugar es la evaluación de impactos que generan los materiales de los procesos constructivo en todas las etapas desde la extracción de materias primas hasta la reutilización- reciclaje y eliminación para 5 sistemas de construcción relacionado con el uso de materiales de cambio de fase para mejorar el rendimiento energético y el segundo se estudia la comparación de cubiertas verdes convencional y a la vez uno echo con caucho reciclado. La comparación de diferentes bases de datos para el sector de construcción también es un factor importante lo cual según la tabla N°1 que parece en el artículo sobre la comparación de bases de datos adecuadas para el sector de construcción que cumplen las características de alcance, transparencia, actualización y licencia son: Ecoinvent y GaBi como base

de datos más completas con licencia. en conclusiones la construcción de los 5 sistemas constructivos con diferentes materiales de aislamiento térmico como: parafina RT-27, módulos de almacenamiento compactos Aluminio , espuma de poliuretano en aerosol adherida, sal hidrato SP-25 fueron asignados un procedimiento de ponderación echo por Eco impacts 99 del software GaBi lo cual la construcción con ladrillo alveolar representa el 65% y en materiales de aislamiento la espuma de poliuretano y parafina representan el 15% y 12% respectivamente y sobre la eficiencia energética en verano se reduce el impacto operacional a un 15% para el ladrillo convencional y 17% para el alveolar lo cual es más efectivo para condiciones climáticas de verano y el impacto en la calidad de ecosistema también se tiene una variación considerable para la época de verano por las razones ya descritas. (Pérez & Cabeza, 2017a)

En este actual estudio de Análisis de ciclo de vida realizado por el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Sevilla se analiza de como en el sector de construcción se ha mantenido en estado de estancamiento tanto en la producción de materiales como en la actividad misma de la obra de prefabricación, entonces este estudio tiene el objetivo de cuantificar y determinar la relación de dos sistemas el construcción convencionales y prefabricada y el límite del sistema consta de 5 etapas(producto, construcción, etapa de uso, etapa de fin de vida y beneficios y cargas más allá del sistema como resultados según a cada sistema de acuerdo al tipo de material como de acero, hormigón y madera, entonces por más que estas estructuras utilicen menor recursos y transporte pero eso no significa que repercutan a un impacto ambiental entonces teniendo como comparación se obtuvo que la energía consumida por un estructura prefabricada de madera es de 8 a 20 MJ/m² y para una estructura de hormigón in-situ dieron de 20 y 120 MJ/m², otro punto importante que menciona está en la etapa de fin de vida lo cuál en la fase de desconstrucción el sistema no prefabricado generaba 4178 kg/m² de residuos en comparación a los prefabricados acero, madero hormigón de diferentes materiales con valores de: 1253 kg/m², 2229 kg/m² y 2490 kg/m² siendo la estructura prefabricada de madera con mayor porcentaje de reciclaje con 45% entonces como discusión al estudio los sistemas por componentes ligeros que son con uso de materiales de baja densidad como el acero generan mayores ventajas en ciclo de vida de la edificación ya que se tiene más acceso al transporte, eficiencia en los procesos de construcción como lo que posteriormente puede tener una recuperación, sustitución de productos y materiales, en cuanto la metodología de ACV en este caso de estudio sirvió como una herramienta de comparación de diferentes sistemas de referencia y una vía de identificación

de cómo se puede optimizar los recursos y la reducción de impactos ambientales. (Lizana Moral, F.J.; Serrano Jiménez, A.J.; Vilches Such, A.; Barrios Padura, A.; Molina Huelva, 2015)

Según el reporte del protocolo global de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a escala comunitario permite que se puedan implementar acciones frente al Cambio climático desde los gobiernos locales sean así los representantes de estos los protagonistas frente a que sus localidades sean monitoreadas para rastrear el desempeño de la ciudad y establecer las regulaciones que gobiernen a una eficiente construcción y transporte, se sigue las directrices del IPCC 2006 para el cálculo de las emisiones de GEI para diferentes sectores y subsectores pero antes se deben definir los límites de inventario en esta parte se identifica el área geográfica, lapso de tiempo, gases y fuentes de emisión y para el inventario mismo se utilizan datos sobre comportamiento tanto de Consumo (compra) y Análisis de entrada y salida de materiales que utilizan según los gobiernos locales para el caso específico para el cálculo de las emisiones de GEI de la industria manufacturera y construcción está en la categoría de Subsector de energía estacionaria, producción y uso es las fuentes de energía estacionario multiplicando el consumo de combustible por los factores de emisión correspondiente para cada tipo de combustible también en primer lugar definir el espacio construido como m^2 según las características de la construcción. (Wyman et al., 2018)

En el estudio de bases de datos de análisis de ciclo de vida para materiales de construcción realizado en Sevilla España tiene como fin poder ayudar a los investigadores en saber qué base de datos es mejor para realizar estudios de impacto ambiental causado por los materiales de construcción durante todo su proceso constructivo y que sea lo más transparente posible, también hace mención sobre de que los estudios enfocados a la construcción deberían hacerse según a sus materiales o por procesos de construcción más detallados ya que podría haber una duplicidad de datos y por ende unos resultados inexactos. Las bases de datos de ACV se compararon gracias a 6 características como: alcance (territorio, categorías), integridad (variedad), transparencia (trazabilidad), exhaustividad, actualizar y licencia. Para poder hacer la comparación se seleccionaron 10 bases de datos para ACV: 4 de Europa, 2 de Estados Unidos y 4 de España entonces como resultado Ecoinvent y Gabi se consideran mejores debido a que estas dos se interactúan y están en constante desarrollo muy aparte que cumplen con todas las características ya mencionadas, ELCD es una de las mejores también debido a la calidad de información de base de datos ya que estas provienen de la Asociación Europea de Aluminio y Acero, bueno se mostraron

algunos ejemplos de cuantificación de impactos en categoría de emisiones de GEI de lo cual se puede observar que por más completas que sean algunas base de datos todo depende al caso de estudio del territorio y de la información que nos proporcionan en el estudio las características de integridad y categoría son clave para una buena selección de base de datos de ACV. (Martínez-Rocamora et al., 2016a)

Las investigaciones de Yaning Qiao, Yaru Guo, Anne M, Joao Santos realizó una investigación denominada “Impacts of future climate change on flexible road pavement economics: A life cycle costs analysis of 24 case studies across the United States. Menciona que los pavimentos de las carreteras deben actualizarse teniendo en cuenta los impactos del cambio climático, que probablemente se agraven en los próximos años y con presupuestos limitados. Las metodologías y los marcos que ayudan a las agencias a incorporar los efectos a largo plazo del cambio climático en el desempeño del pavimento y tomar decisiones informadas sobre cómo gastar sus fondos limitados son, por lo tanto, de suma importancia. Este documento presenta un marco metodológico que combina proyecciones climáticas a escala reducida, predicciones del rendimiento del pavimento utilizando la herramienta AASHTOWare Pavement ME Design™, estrategias de mantenimiento y rehabilitación, y análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) en un sistema integral. El marco metodológico propuesto fue adoptado en el LCCA de 24 estudios de caso en los Estados Unidos contiguos bajo cuatro períodos alternativos correspondientes a proyecciones climáticas simuladas para cuatro períodos de 20 años (1981-2000, 2001-2020, 2041-2060 y 2081-2100) con una trayectoria de concentración representativa más alta (RCP8.5). Los resultados del estudio de caso muestran que el cambio climático por grado Celsius generará aproximadamente \$650-700 millones/año en costos adicionales de agencia en los EE. UU. Además, el cambio climático tendrá un mayor impacto en los costos incurridos durante las fases de mantenimiento y fin de vida útil.

Trunzo et al (2019) en este estudio presenta un ACV “de la cuna a la puerta con opciones” de una carretera provincial durante 60 años de vida útil. Los datos de entrada derivan del presupuesto del proyecto y sus impactos han sido evaluados según la norma europea EN 15804. El estudio considera los impactos de las etapas de construcción y mantenimiento, iluminación y uso de los vehículos en la vía construida. Los resultados obtenidos de un modelo SimaPro destacan que casi la mitad de los impactos se produjeron durante la etapa de construcción en lugar de la

etapa de uso. Por lo tanto, la adopción de procedimientos de planificación vial ambientalmente amigables, el uso de procedimientos de bajo impacto en la producción de materiales y el uso de materias primas secundarias podrían tener el mayor potencial para reducir los impactos ambientales. El LCIA se realizó de acuerdo con la norma EN 15804: para cada categoría de impacto, el estudio evaluó el impacto global de la construcción y/o uso de la carretera, y las contribuciones parciales de cuatro etapas diferentes: 1. Etapa A1: extracción y procesamiento de materias primas, reutilización de productos o materiales de un sistema de producción anterior, procesamiento de materiales secundarios utilizados como insumo y generación de electricidad, vapor y calor a partir de recursos energéticos primarios, incluida su extracción, refinación y transporte; 2. etapa A2: transporte de materiales y máquinas al sitio de producción y construcción; 3. etapa A3: obras in situ para la construcción de carreteras (p. ej., uso de volquetes, niveladoras, instalación de iluminación, procesamiento de residuos; operaciones en el sitio de la carretera, etc.); 4. etapa A4: uso de la vía (es decir, impactos ambientales debido al tráfico esperado, mantenimiento del pavimento e iluminación del túnel).

Mazri et al (2004). Exploran también el (ACV) a través de su investigación relacionada a la construcción, entiende que el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que considera en conjunto la extracción de recursos y la fabricación de materiales, los pasos de construcción, la explotación y el mantenimiento durante la vida útil de un producto fabricado. Aunque LCA se puede aplicar a la evaluación de materiales viales, la metodología debe adaptarse a la infraestructura completa debido a los diferentes ciclos de vida de servicio de las capas viales. Además, menciona que también la evaluación económica sigue siendo un medio valioso para elegir entre varias variantes de carretera. Los aspectos económicos junto con una evaluación ambiental del ACV pueden, por lo tanto, proporcionar un enfoque multicriterio relevante para el tomador de decisiones. Sin embargo, antes de la aplicación de dicha metodología, el uso y el lugar de LCA en un proceso de decisión deben definirse sin ambigüedad. LCA and Decision Aiding Process Usando LCA, la definición de los impactos y criterios genera modelos muy complejos e incomprensibles para los tomadores de decisiones. Esta exclusión de los actores distintos del analista puede crear una falta de adecuación entre la solicitud (expresada por el decisor) y la respuesta proporcionada por el analista. De hecho, la fase de estructuración del problema permite estar seguros de que estamos resolviendo el problema correcto. Además, es bastante raro que las preferencias de un tomador de decisiones se basen exclusivamente en consideraciones

ambientales; debe tenerse en cuenta la dimensión económica (lugar del producto en el mercado, costes, percepción del público...). Por lo tanto, es necesario que el analista que practica ACV comprenda la importancia de la dimensión ambiental en el sistema de preferencias del cliente. No sería necesario realizar un ACV complejo y costoso si los aspectos ambientales no se consideran importantes a la hora de tomar la decisión final. β La elección de LCA como enfoque de modelado debe surgir de un análisis preliminar relacionado con: El beneficio de elegir el enfoque LCA entre otros enfoques ambientales como SFA (Análisis de flujo de sustancias), Estudio de impacto o Evaluación de riesgos. Los factores de diferenciación entre estos enfoques están dados por O.JOLLIET y P.CRETTAZ. La elección de la Unidad Funcional (UF) fue adecuada para la evaluación ambiental pero inadecuada en el momento del costeo porque el aumento de los costos no fue proporcional al aumento de FU. Esta inadecuación las es causada por costos fijos que, para diferentes UF, dan diferentes órdenes de preferencia sobre las alternativas para el criterio de costo.

- La diferencia entre las tasas de reciclaje evaluadas debe ser, a la vista de los resultados, más significativa para enriquecer las conclusiones del estudio; porque permite identificar claramente los factores de diferenciación para una mejor comprensión de las ventajas y desventajas de cada tasa de reciclaje. Estos hechos prueban que debemos dedicar a la fase de elección de alternativas tantos esfuerzos como a las medidas de flujo y evaluación de impacto.

Yuliatti et al (2022) Trata sobre infraestructura verde y el nivel de reforestación en los esfuerzos de desarrollo de carreteras de peaje. Lineamientos para ranking de vía verde SE Ministra de la PUPR. Número:4/SE/M/2018 es uno de los esfuerzos para incentivar la implantación de la construcción sostenible en la implantación de infraestructuras, Además, estos puntos de vía verde pueden implantarse en las autopistas de peaje existentes y cumplir los criterios de sostenibilidad. Este estudio tuvo como objetivo la innovación de la implementación del modelo dinámico y el análisis de costos del ciclo de vida en obras de carreteras de peaje basadas en infraestructura verde, lo que dará como resultado la eficiencia de costos y agregará valor a las carreteras de peaje. Para el procesamiento de datos, utilizamos SPSS (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales), análisis estadístico obtenido a partir de un cuestionario cumplimentado por expertos. De este proceso, obtuvimos los 10 mejores factores que son: 1. Autoridad para administrar las vías de peaje; 2. Reducción de la contaminación del aire/polvo; 3. Ecologización; 4. Provisión de facilidades de acceso y transporte público; 5. Reciclar los desechos de la construcción; 6. Energías renovables y aplicación de la innovación; 7. Alumbrado público de energía renovable; 8. Modelado

de sistemas dinámicos; 9. Costos iniciales de reacondicionamiento; 10. Período de análisis. De los escenarios de implementación de rehabilitación verde, el escenario optimista muestra la puntuación de calificación más alta y el retorno de la inversión más rápido en 3,92 años, con la autopista de peaje

Monteiro et al (2022) Analizan el beneficio potencial del ciclo de vida de la incorporación de materiales reciclados, se comparó un producto de caso base A, producido con caucho sintético virgen convencional y polipropileno (PP), con dos alternativas equivalentes en estudio: B (que usa caucho reciclado al final de su vida útil). granulado (TRG) y PP), y C (utilizando TRG y polipropileno reciclado). Los resultados muestran que la incorporación de TRG reciclada tiene un efecto positivo en la energía primaria y las emisiones de carbono. El producto B presenta menos 38% de emisiones de CO₂ y 47% de energía primaria no renovable que el producto A. La combinación de TRG y polipropileno reciclado (C), presenta aún más beneficios: menos 69% de CO₂ y 86% de energía primaria no renovable que A. Los procesos de la cadena de suministro y la producción de materiales tienen un impacto mucho mayor que la fabricación del producto (por ejemplo, el moldeado del producto solo representa el 5 % de la energía primaria del producto A). Para concluir, se debe fomentar fuertemente la incorporación de materiales reciclados ya que tiene un gran potencial para reducir las emisiones de carbono actuales y la energía primaria de los productos. LCA es una metodología estandarizada y aceptada internacionalmente (ISO 14040/14044) para evaluar los impactos ambientales potenciales de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida, o parte de él. Con el objetivo de evaluar la energía del ciclo de vida potencial y las emisiones de CO₂ asociadas a un nuevo producto de barrera de seguridad vial, en una etapa preliminar de su desarrollo, se siguió un enfoque de LCA de la cuna a la puerta. Para evaluar la influencia de la incorporación de materiales reciclados se compararon tres alternativas de productos equivalentes, producidos con diferentes mezclas: (A) Un caso base convencional, utilizando una mezcla de materiales no reciclados: caucho sintético (SR) y PP; (B) Una mezcla con TRG reciclado y PP convencional; (C) Una mezcla que utiliza TRG y polipropileno reciclado (RPP). Para permitir la comparación entre alternativas, la unidad funcional considerada fue producir un producto de barrera de seguridad vial con un volumen de 0,0189 m³ y una altura de 0,395 m. Se optimizó la geometría alveolar y el diseño específico del producto para un proceso de extrusión asumiendo la mezcla B (con 55% de granulado de caucho de llanta reciclado y 45% de matriz termoplástica de polipropileno, en base masa). La geometría del producto no se divulga ya

que estará protegida por derechos de propiedad intelectual. No obstante, en la Fig. 1 se muestra un esquema aproximado del producto y se realizó una comparación de mezclas alternativas asumiendo densidades idénticas entre materiales convencionales y reciclados. Este estudio utilizó LCA para analizar la energía primaria del ciclo de vida y las emisiones de carbono asociadas con un nuevo producto de barrera de seguridad vial en una etapa preliminar de desarrollo del producto. El objetivo era informar la decisión sobre los beneficios ambientales de incorporar materiales reciclados como TRG y PP reciclado en comparación con una mezcla de materiales convencionales de caucho sintético y PP. El estudio mostró que desde el punto de vista de la energía primaria del ciclo de vida y de las emisiones de CO₂, el uso de TRG es preferible al uso de cauchos sintéticos, lo que permite reducir la energía primaria no renovable del producto en más del 46% y su emisión de carbono en un 46%. 38%. El uso combinado de dos materiales reciclados (TRG y RPP) consiguió una reducción sustancialmente mayor (-82% de energía primaria y -68% de emisiones de CO₂) que el producto con materiales vírgenes convencionales. Por lo tanto, se debe fomentar urgentemente el uso de materiales reciclados, por ejemplo, en productos moldeados como este, donde los requisitos estéticos no son tan rigurosos como en otros productos y con la optimización geométrica adecuada para lograr los requisitos funcionales. En este sentido, los proyectos de investigación e iniciativas que promuevan el ecodiseño y la incorporación de material secundario son de suma importancia para apoyar nuevos modelos de negocios circulares.

Abdelmelek & Ghandour (2022) logran respuestas de alrededor de 11 entrevistas en su trabajo de investigación con diferentes representantes de las partes interesadas clave, lo que brinda información de un número selecto de estudios de casos internacionales y nacionales y proyectos efectivos a través del análisis del mercado de la construcción y la construcción con sus leyes y productos finales. Como resultado, el documento crea un plan para lograr la construcción sostenible a través del marco integrado concluido de tres opciones de política. Las tres opciones de política presentadas son complementarias, ya que los elementos del sector de la construcción están interrelacionados y entrelazados de una manera que requiere un plan intrincado y un esquema de intervención para resolver el problema con la construcción sostenible. En consecuencia, el documento recomienda que los responsables de la toma de decisiones apliquen las tres opciones de política en línea entre sí, comenzando con la opción de política que tenga el mayor peso hasta llegar a aplicar la opción de política de menor peso. Por consiguiente, los encargados de adoptar decisiones deberían comenzar a aplicar la opción de política B, seguida de la opción C de política

y luego aplicar la opción de política A. A ese respecto, debe promoverse el concepto de construcción sostenible para informar y motivar a todas las partes interesadas sobre el camino a seguir para incorporar la construcción sostenible en Egipto. Además, las partes interesadas deben encontrar interés común y beneficios al lograr una construcción sostenible a través de marcos de cooperación e integración bajo los mecanismos actuales. Finalmente, uno de los pasos más importantes es formalizar todas las acciones bajo un marco determinado y aprobado para agregar credibilidad al proceso de lograr la construcción sostenible y en secuencia hacia el establecimiento de ciudades y comunidades sostenibles.

2.2.2 Antecedentes a Nivel Nacional

La investigación “Environmental impacts of a highly congested section of the Pan-American highway in Peru using life cycle assessment” realizada por la Universidad Pontificia Católica del Perú tuvo como objetivo principal evaluar los impactos ambientales de una vía de 22.429 km de la carretera Panamericana Sur los límites del sistema son: Construcción, mantenimiento y final de vida también incluye datos de tráfico lo cual toma como unidad funcional 1 km de carretera construida en 1 año utilizando el programa SimaPro para el modelamiento del ciclo de vida de carreteras, como resultados se analizaron los procesos en 5 categorías de impacto con el método de ReCipe y para cambio climático IPCC 2013, los impactos lo cual todas están referidas a la contaminación ambiental dentro de las cuales la que posee mayor impacto ambiental dentro del estudio es el tráfico debido que esta ruta es principal para el ingreso a Lima como salida de ella y cuenta con más del 98% en todas las categorías de impacto y las emisiones de CO_2 total del estudio es de 96.3% de CO_2eq es principalmente por combustión de los vehículos en cambio para el proceso constructivo se calculó un total de 36,79 t CO_2eq lo cual el 64.5% del impacto fue el transporte de materiales para construir el pavimento y teniendo mayor significancia en la categoría de Formación de material particulado que representa el 68.7% entonces como perspectivas futuras se estima que para el 2021 este tráfico aumentaría en un 8.8% lo cual trae consigo una serie de alternativas para reducir los impactos como invertir en vías alternas o brindar una mejora en la infraestructura del aeropuerto de Ica o un terminal para que los vehículos pesados se reduzcan y también proponer nuevas normas que estén dentro de las NDC del país como un mayor control en la flota de vehículos como en la edad de estos. (Verán-Leigh et al., 2019)

En lo que se refiere a la producción del cemento en el país se analizaron 3 plantas cementeras que en conjunto representan el 60% de la producción del Perú que son de: portland ordinario, puzolanas naturales y escoria de horno de lo cual se analizaran los impactos específicamente en la categoría de cambio climático con la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, en este estudio se presentan 3 sistemas con la unidad funcional de 1 bolsa estándar de 42.5 Kg de los cuales 2 se encuentran en la ciudad de Lima (CP1 y CP3) y otra en la Ciudad de Arequipa (CP2), el límite del sistema es desde la extracción de la materia prima hasta el producto final también se toma en cuenta el empaquetamiento de este como parte del proceso, en los resultados finales que se obtuvieron el proceso de clinkerización es el que más influye en las emisiones de GEI para los 3 sistemas de lo cual analizando de esa perspectiva el que más impacta el sistema CP1 y CP3 con 61% y 45% debido a que en CP1 que la materia prima se extraen de 3 canteras diferentes y el la calcinación con fuentes no renovables influye en los resultados y en CP3 el Clinker lo importan de Japón y Corea del Sur mediante embarcación y en total a las actividades operacionales por 1kg de Clinker en las plantas de cemento se evaluaron por gramos CP1 tiene 807 gCO₂eq CP2: 958: g CO₂eq eq y CP3:1080 g CO₂eq, luego se consideraron 5 escenarios de sustitución de Clinker con puzolanas 40% en un como sustitución de carbón con gas natural para el procesos de clinkerización y se reduciría en un 33% por unidad funcional (UF) las emisiones de GEI calculó y la sustitución del carbón por gas natural sería en un 8.8% y sobre la incertidumbre, en el caso CP3 se desconoce algunos procesos de producción de los cuales debido que algunos materiales son importados de Corea del Sur y Japón por lo tanto también se le atribuye las cargas ambientales generadas por el transporte de embarcación que representa el 12 % de las emisiones del impacto total de ese sistema, y para que haya una comparación con otras investigaciones al principio se realizó como una unidad funcional de 1Kg de cemento debido a que en otro países su peso estándar es diferente al de nuestro país, y como discusión las empresas cementeras tienen que ampliar la visión de solo tener una buena capacidad productiva y tomar acciones para la mitigación de GEI y puedan considerar reducir en su consumo de energía como también la inclusión de materiales reciclados. (Vázquez-Rowe, Ziegler-Rodriguez, et al., 2019)

El análisis sobre como el Perú está tomando decisiones sobre la acción climática y como el Análisis de ciclo de vida puede mejorar y apoyar en estas contribuciones a nivel Nacional (NDCs), como este artículo es del año 2018 actualmente ya se tienen definidos tanto las medidas de mitigación que son 62 para y medidas de adaptación que son 91 pero en este estudio se refieren

a 76 contribuciones independientes para 6 sectores que son: energía, transporte, procesos industriales, agricultura, residuos y silvicultura y en marco para el cálculo de emisiones se basan en el escenario de business as usual (BAU) que son combinados con dos variables importantes que es el PBI utilizando como promedio el 4.3% y el crecimiento poblacional 3.6% debido a estos valores no se están tomando en cuenta crisis financiera y fenómenos climáticos. El análisis de ciclo de vida en apoyo para políticas, debido que al aplicar esta metodología tiene que se pueden hacer en simultaneo la evaluación de varios impactos lo cual permite tener varias respuestas dependiendo del alcance y de las limitaciones del sistema para que sean muchos más reales a cada situación en la que se presenta, entonces se analizó las medidas de mitigación de cada sector tomando en cuenta el factor de tiempo y geografía para calcular los impactos de cambio climático y también que estos estén actualizados al IPCC 2013 debido a la variación que hay en los factores de caracterización de las GEI, para el sector de energía la combinación de la energía hidroeléctrica con otra energía renovable son consideradas como medidas de mitigación, en transporte el ACV permite que para la toma de decisiones se tenga una interpretación holística como Energía-transporte-calidad del aire en un contexto urbano y para procesos industriales se enfoca en la producción más eficiente del cemento y para la mitigación de esta industria se comprobó que con solo la sustitución del Clinker con 40% de puzolanas se reducen el 33% de emisiones de GEI y 9% con el uso de gas natural entonces con la utilización de ACV se pueden generar varios escenarios en comparación con el resultados sobrestimado de BAU considerando que el Perú es uno de los países más vulnerables por el cambio climático. En conclusión, el ACV sirve como una herramienta de monitoreo y para toma de decisiones más informadas en materia Ambiental. (Vázquez-Rowe, Kahhat, et al., 2019)

En el estudio se evaluó Análisis de Ciclo de Vida de la construcción de una carretera no pavimentada en la zona de amortiguamiento de la Parque Nacional del Manu los impactos de la propuesta de una carretera de 45 km ubicada en la zona de amortiguamiento de la Reserva Comunal Amarakaeri provincia de Manu en Madre de Dios lo cual las categorías de impacto que se evaluarán son: cambio climático, eutrofización, formación de material particulado, agotamiento de la capa de ozono, entre otros, con la unidad funcional de 1km de carretera en 1 año de uso, los límites del sistema son la etapa de construcción, uso y mantenimiento, los métodos que se utilizaron son IPCC 2013 con un horizonte de 100 años y ReCiPe 2008. en el software de SimaPro v 8.02. Los procedimientos constructivos se dividen en 2 tramos pero se tomara como referencia

3.24 km con un ancho de 20 metros aproximadamente del tramo 1, lo cual se removieron en la etapa de desbroce parte del bosque secundario (no mencionan la especie) como resultados de este estudio se menciona como prioridad tanto el Cambio climático por el cambio de uso de suelo de bosque a carretera y el material particulado como producto de las maquinarias pesadas entonces como conclusión la mayor parte de las emisiones de GEI están vinculadas a la maquinaria de construcción con un 96% y el 4% restante de los autos menores y todo el sistema en relación al cambio climático se tiene un gran impacto con 31898 Kg CO_2eq debido al cambio directo de uso de suelo por el desbroce vinculados con la emisiones de CO_2 y CH_4 de la descomposición de la biomasa superficial y subterránea y el material particulado tiene un valor el 96% son partículas emitidas tanto por la circulación de la maquinaria y por la combustión de estas, en el mantenimiento y uso se obtiene con una emisión neta por la UF de 2.33 toneladas de CO_2eq (127% más que la etapa de construcción) y con un aproximado de 0.8 ton de $PM_{10}eq$. Entonces debido a estos resultados se propusieron 17 escenarios mediante análisis de sensibilidad donde se pueda distinguir si en realidad el cambio de uso de suelo es el mayor contribuyente del cambio climático de lo cual esto se debe tanto al promedio de vehículos que transitaron por día. Entonces teniendo en cuenta el ACV en este estudio forma parte del proceso que involucra desafíos en términos de planeación y gestión sobre los proyectos de construcción en relación al medio ambiente. (Larrea-Gallegos et al., 2017)

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Cambio Climático

Es atribuido directa o indirectamente por actividades antrópicas que genera un cambio en la composición global atmosférica y que se suma a una variabilidad del estado natural del clima y es a la vez monitoreada en periodos de tiempo para su posible comparación. (Ley N° 30754. Ley Marco sobre Cambio Climático, 2018). Según la ley marco del cambio climático, hay dos factores importantes que es la intensidad del poder de radiación y el tiempo promedio en que la molécula del gas que permanece en la atmosfera la interacción de estos dos se define como “Potencial de Calentamiento Global” o GWP en sus siglas en inglés y es expresado en la unidad de Dióxido de Carbono equivalente CO_2eq . (Espíndola & Valderrama, 2012)

El cambio climático genera de a por sí una variación en el pensamiento del diseñador profesional actual, por ejemplo, para el diseño de edificios adaptados al clima, porque dichos edificios deben adaptarse a las condiciones climáticas para permitir su funcionamiento óptimo. Por lo tanto, la comprensión del cambio climático pasado, y aún más del estado proyectado del clima futuro, representa información vital en el proceso de diseño bioclimático analítico, la comunidad de diseño actúa principalmente como si nada estuviera sucediendo, utilizando datos climáticos pasados (es decir, medidos durante las décadas anteriores) La modernización de un edificio antes del final de su vida útil también aumentaría su impacto ambiental debido a la sustitución prematura de los componentes del edificio. (Košir, 2019)

2.2.2 Clasificación de Gases de efecto invernadero (GEI): Son gases que son de origen natural o antrópico (por actividades humanas) que al encontrarse en la atmosfera estos retienen la energía que el suelo emite y provoca el fenómeno llamado El efecto invernadero (Ministerio del Ambiente. (MINAM), 2018)

- Emisiones Directa de Gases de Efecto Invernadero: son aquellas emisiones que pertenecen a una actividad o proceso de la cual son controladas por una organización ejemplo: emisiones por combustión de vehículos, equipos o maquinarias que estén dentro de los procesos de la organización. (ISO14044, 2006)
- Emisiones Indirectas de Gases de Efecto Invernadero: Son aquellas emisiones como resultado de las actividades de la organización como, y de los cuales no se tiene ningún control son de dos tipos. (ISO14044, 2006)
 - Indirectas tipo II: proviene de la generación del calor, electricidad externa que son consumidos por la organización.
 - Indirectas tipo III: Son atribuidas a los servicios y productos de la organización, como el transporte de las materias primas/productos necesarios para el funcionamiento de la organización. (IHOBE, 2013)
- Otras Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Energía: Son emisiones de GEI por consecuencia de las actividades de la organización, pero estas son controladas por otras organizaciones. (ISO14044, 2006)

2.2.3 Principales Emisiones de Gases de Efecto invernadero de origen antropogénico.

- Emisiones de Dióxido de carbono: este gas particularmente se genera por la quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) para la obtención de energía. El sector de transporte se encuentra en segundo lugar después de industria a nivel mundial que representa el 23% con el mayor aporte es por el tráfico rodado con el 17%. Como mayores responsables del aumento de la concentración de dióxido de carbono.
- Emisiones de Metano y Óxido Nitroso: como mayor aportante del gas metano hacia la atmosfera el 29% es por combustibles fósiles, 27% por la ganadería, 23% por la descomposición de la basura. En cambio, para las emisiones de óxido Nitroso el mayor causante es en la agricultura por la utilización de abonos que contienen compuestos de nitrógeno que las bacterias necesitan para la descomposición, en cambio en la quema de combustibles por actividades humanas el óxido de nitrógeno representa el 10% a nivel mundial. (NELLES & SERRER, 2020)

2.2.4 Efecto Invernadero de origen antropogénico

Considerando que desde el año 1880 hasta el año 2000 la concentración de los gases de efecto emitidos a la atmosfera invernadero a causa de las actividades antropogénicas mencionados anteriormente se tiene como consecuencia una radiación directa térmica a la superficie terrestre lo cual ha generado un incremento en la temperatura de un aproximado de -0.7°C a 1°C y un incremento en la concentración de CO_2 de 310 ppm a 420 ppm directamente proporcional, en el rango de dicha fecha, por lo tanto ese incremento de temperatura se denomina Cambio Climático. (NELLES & SERRER, 2020), en la actualidad del 2020 se considera una lucha constante para mantener la temperatura por debajo de 1.5°C .

2.2.5 Factores de Caracterización o de emisión de Gases de Efecto Invernadero:

Cada uno de los gases de efecto invernadero son asignados a una unidad común del indicador de categoría como es la de cambio climático que es CO_2 Equivalente, lo cual está enfocada en una ecuación muy simple, que es: **datos de actividad x factor de Emisión.**

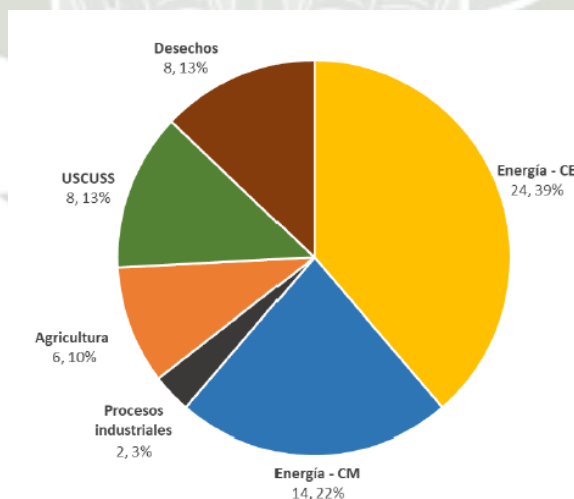
Los datos de actividad que genera los GEI durante un periodo de tiempo y este puede tener las siguientes unidades (kilómetros recorridos, toneladas generadas, Kwh de electricidad) y el factor de emisión ($KgCO_2$), los resultados dependerán del combustible utilizado, la maquinaria o equipos. (GHGP)

Se miden las emisiones por un periodo de residencia en la atmosfera de 100 años y los resultados se calculan en CO_2 equivalente. (Wyman et al., 2018) & (Fleming, 2020)

2.2.6 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2014

El Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2014 (INGEI 2014) es elaborado y publicado en el portal web del Ministerio de Ambiente en el marco de INFOCARBONO, como se muestra en la Figura N° 1 tiene como objetivo de recopilar información de 7 ministerios que son: Ministerio de Energía y minas, Ministerio de la Producción, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Ministerio de Agricultura y Riego, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, y el Ministerio del Ambiente, cada uno realiza un Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero. (RAGEI)

Figura N°1: Distribución De Las Medidas De Mitigación De Acuerdo A Los Sectores De Emisiones De GEI.



Nota: adaptado de acuerdo a (MINAM, 2019)

- Meta al año 2030: Debido al impacto generado por las actividades humanas se estima que ha causado un calentamiento global de $1^{\circ}C$ a nivel preindustrial y es probable que para el rango de 2030- 2052 llegue a $1.5^{\circ}C$ si se sigue con el ritmo actual (IPCC, 2019), lo cual

para limitar el calentamiento global a 1.5°C, el Perú se ha proyectado reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del 30% que se refiere de 298.3 MtCO₂eq a una reducción de 89.4 MtCO₂eq. (GTM-NDC, 2018)

- Medidas de Mitigación ante el Cambio Climático: Es una acción o conjunto de acciones que están adaptados por actores naturales o de una entidad estatal que tienen como finalidad reducir las emisiones de GEI cuya acumulación causa el cambio climático por sus diversos impactos, estas acciones contribuyen a la implementación de las Contribuciones Nacionales determinadas (NDC) para alcanzar las metas establecidas de bajo en carbono a corto y largo plazo. (MINAM, 2019)

2.2.7 Construcción Sostenible

Toda actividad humana como la construcción, contribuye tanto en el desarrollo social y económico, pero al mismo tiempo genera un impacto ambiental, entonces, para poder llegar a un desarrollo sostenible, es necesario nuevas formas de diseño, que en todo el ciclo de vida se reduzcan el consumo de recursos naturales y de energía.

Se define la infraestructura verde como “una serie de productos, tecnologías y prácticas que utilizan sistemas naturales –o sistemas de ingeniería que imitan los procesos naturales– para mejorar la calidad ambiental y brindar servicios públicos” La infraestructura verde también se conoce como desarrollo de bajo impacto, control de fuentes gestión de aguas pluviales, diseño ambiental del sitio. (Ramos, 2003)

Hoy en día, el diseño funciona en la encrucijada de satisfacer las demandas cada vez más insaciables del mercado para mejorar y más, al tiempo que equilibra efectivamente los intereses conflictivos de las partes interesadas ecológicas, económicas y socialmente equitativas. Trabajar de esta manera es imperativo para cualquier agenda de diseño verdaderamente sostenible. El desarrollo sostenible incluye todo lo nuevo, en todas las escalas, que traemos al mundo para satisfacer necesidades reales o percibidas. La definición generalmente acordada se articuló de manera concisa en el Informe Brundtland, Nuestro futuro común, de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo encargada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1987. Define el desarrollo sostenible como aquel que "satisface las necesidades del presente sin

comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades". (Cays, 2021)

2.2.8 Consumo y Producción responsable

Ejemplos:

- Uso eficiente de los recursos naturales
- Reducción de la generación de desechos
- Fortalecimiento de capacidades tecnológica y científica
- Fomentar la conservación del medio ambiente
- Reducción de emisiones de quema de combustibles con buenas prácticas o cambio de maquinaria.

2.2.9 Norma EURO

A través de la Unión Europea por la creciente contaminación ambiental generada por el parque automotor implemento la Norma EURO, el cual los vehículos livianos como de carga pesada nuevos o vendidos, que deben cumplir exigencias de acuerdo al tipo de combustible y según a su antigüedad.

2.2.10 Clasificación de la Normativa EURO

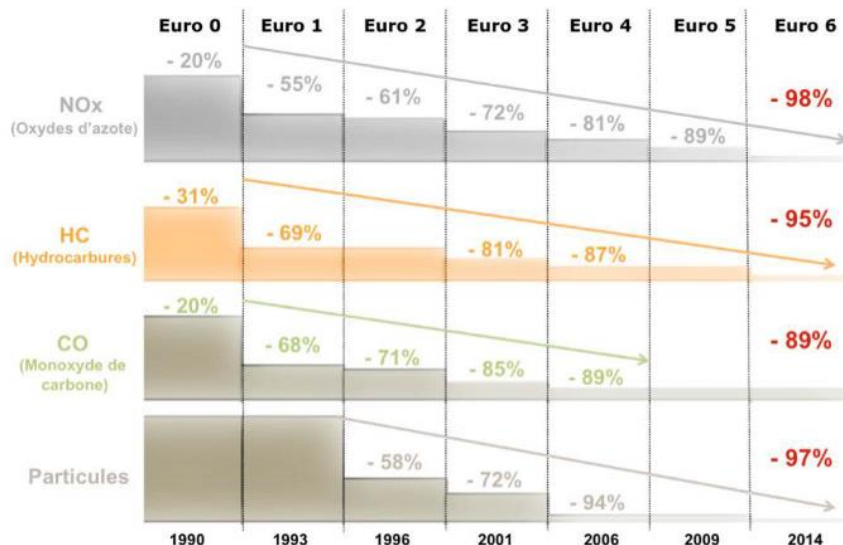
A medida que van pasando los años la Norma EURO va evolucionando y convirtiéndose así más rigurosa, para la reducción de gases nocivos que se generar por el parque automotor, está clasificada según:

Euro 0: establecida en el año 1988, son los vehículos que utilizan como combustible gasolina o diésel

Euro 1: establecida en 1992, que obliga a que se incorpore catalizadores para reducir y transformar los gases por la quema de combustible de los vehículos.

EURO 2, 3 y 4: establecidas desde 1992 a 2005, el cual se exige a reducir el volumen del motor para así generar menor consumo de combustible como se muestra en la Figura N°2.

Figura N° 2: Reducción De Los Principales Contaminantes Según El Avance De La Norma EURO.



Nota: (CESVIMAP, 2016)

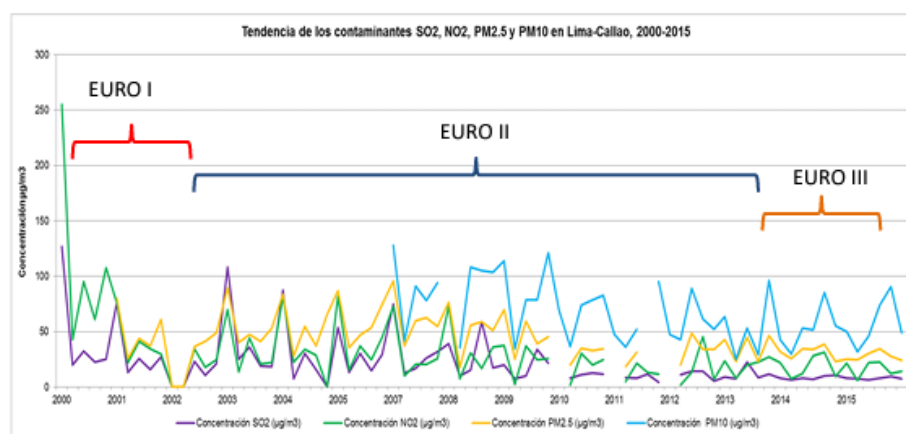
Por otro lado, se tienen la normativa EURO I, II, III, IV, V, y VI establecidas para vehículos de carga pesada o industriales.

2.2.11 La Evolución de la Norma Euro en el Perú

El Perú ha ido implementando normativas de forma gradual para la reducción de emisiones por combustión de diferentes tipos de combustible como diésel y gasolina (gases y partículas) del parque automotor, en primer momento la norma EURO I fue adoptada en el año 2001 a través del D.S. 047-2001-MTC LMPs para vehículos que circulan por la red vial, en el año 2003 se implementó la norma EURO II hasta el año 2007 que se debía implementar el EURO III, sin embargo en esa fecha debido a q no se cumplía con dicha norma solo se aplicó para vehículos gasolineras debido a que el diésel sobrepasaba los LMPS con un alto índice de azufre (5000 ppm), en el 2015 con la importación de combustibles con bajo contenido toxico se aplica la norma EURO III para vehículos diésel y así este recurso se comercializo a Lima, Cusco, Puno, Arequipa y Madre de Dios mediante el Decreto Supremo N° 061-2009-EM y se añadió a la lista tres departamentos: Junín, Moquegua y Tacna para la obtención de combustible limpio. (Urbiztondo & Mirada, 2016)

La aplicación de las normas de estándares trae como beneficio a la calidad ambiental, de acuerdo a los resultados realizados por la Dirección General de Salud Ambiental- DIGESA en el periodo de 2000 a 2015 como se muestra en la figura N°3 se puede evidenciar una disminución de la concentración de contaminantes en un 72.8 % de SO₂, 81.9% NO₂, 41.2% PM_{2.5} y 32.5% PM₁₀ en Lima y Callao

Figura N° 3: Tendencia De Los Contaminantes De Acuerdo A La Aplicación De La Norma EURO En El País.



Fuente: DIGESA, 2000-2015

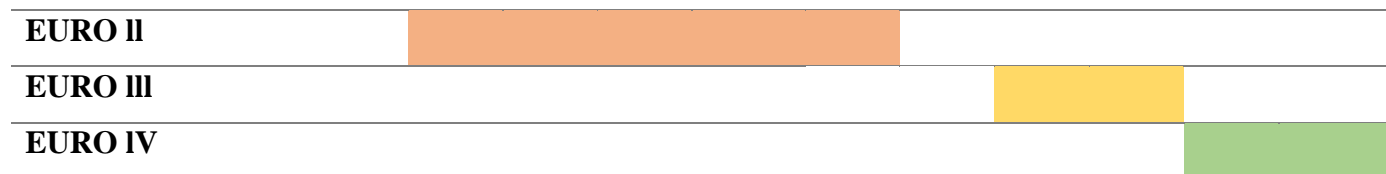
Nota: DIGESA, 2000-2015

2.2.12 Norma EURO IV

El Ministerio de Ambiente aprueba los LMPs que regula los nuevos vehículos livianos y de carga pesada según su año de importación, el 01 de abril del 2018, entra en vigencia la Norma EURO IV a través del D.S. 010-2017- MINAM, el cual tiene como objetivo en reducir las emisiones hasta en un 90% de los contaminantes como el Material Particulado 2.5 y Dioxido de Azufre (SO₂), como también la prohibición de comercialización y uso de diesel que contenga azufre mayor a 50 partes por millón (ppm), generando un avance positivo en la calidad ambiental. Su transición durante los últimos 18 años como se muestra en la tabla N°1.

Tabla 1. Tabla De Implementación De La Norma Euro En El Perú.

Norma	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2010	2015	2016	2017	2018
EURO I												



Nota: Adaptado DIGESA,2000-2015

La influencia de la aplicación de la Norma EURO III a EURO IV se muestra en la figura N°4.

Figura N° 4: Reducción De Emisiones Contaminantes Al Pasar De EURO III A EURO IV

Contaminantes de aire	Euro IV	Euro III	Reducción de emisiones
Monóxido de Carbono CO (gramos/Km)	0.50	0.64	22%
Óxidos de Nitrógeno NOx (gramos/Km)	0.25	0.50	50%
Hidrocarburos + NOx (gramos/Km)	0.30	0.56	46%
Material particulado PM (gramos/Km)	0.025	0.05	50%

Fuente: D.S. 009-2012-MINAM

Nota: adaptado del D.S.009-2012- MINAM

2.2.13 Índice de Nocividad de Combustible

El Índice de Nocividad de Combustible (INC) que fue aprobada mediante el D.S. N°007-2020, nos menciona 14 tipos de combustibles se utilizan en diferentes sectores como transporte, industrial, residencial y eléctrico tomando en cuenta los contaminantes emitidos por cada uno de ellos, son como se muestra en la Figura N° 5:

Figura N° 5: Índice De Nocividad Del Tipo De Combustible Utilizados En El Perú.

Tipo de Combustible	INC
Gas Natural	1,0
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	2,3
Carbón Antracítico	6,2
Carbón Bituminoso	9,5
Gasohol 95/97/98 Octanos	10,7
Gasohol 90 Octanos - S50	12,5
Gasohol 90 Octanos	13,1
Diesel B5 - S50	14,2
Diesel B5 - S5000	16,7
Turbo A1	17,5
Petróleo Industrial N° 6	26,5
Gasohol 84 Octanos - S50	28,9
Gasohol 84 Octanos	29,5
Petróleo Industrial N° 500	36,0

Nota: (MINAM, Índice de Nocividad de Combustible, 2019)

2.2.14 Gestión Ambiental

Se define Gestión ambiental al proceso que está inclinado a mitigar, resolver y prevenir los problemas en tema ambiental, con el fin de lograr un desarrollo sostenible a través de políticas y la implementación de estrategias, el cual conduzca a un crecimiento económico, mejora de la calidad ambiental y bienestar social; introduciendo así mismo buenas prácticas en todos los sectores productivos. (Sanes, 2012)

Un SGA se basa en la política ambiental de la organización, siendo el SGA la herramienta para darle vida a esto (Fet 2006; Fet y Knudson 2017; Johnstone 2020). Una política ambiental es una declaración escrita que define los objetivos y principios de la empresa sobre la gestión de los efectos ambientales y los aspectos relacionados de la empresa. La política debe cumplir con las regulaciones nacionales e internacionales y otras obligaciones firmadas por la empresa, así como cumplir con las ambiciones de la empresa. Una empresa debe decidir si solo quiere utilizar un SGA para asegurarse de que no rompa ninguna restricción legal, o si la ambición es demostrar su control del desempeño ambiental como una ventaja competitiva.

1.1.1. Análisis de ciclo de vida (ACV)

Para entender el análisis de ciclo de vida se requiere de estos 2 términos muy importantes: Impacto Ambiental y Aspecto Ambiental: Los impactos ambientales son aquellos cambios que

puedan alterar al medio ambiente producto de alguna actividad, servicio de una organización y los Aspectos Ambientales son aquellos elementos de actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el ambiente (ISO 14040, 2006), entonces.

El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta metodológica que se encarga tanto de recopilar información y evaluar aspectos e impactos ambientales de una actividad, servicio o producto en todas las etapas de ciclo de vida, desde la extracción de materias primas, producción, uso y disposición final, tiene como finalidad distintas aplicaciones como la mejora de toma de decisiones, monitoreo, esta herramienta consta de 4 importantes fases. (ISO 14040, 2006)

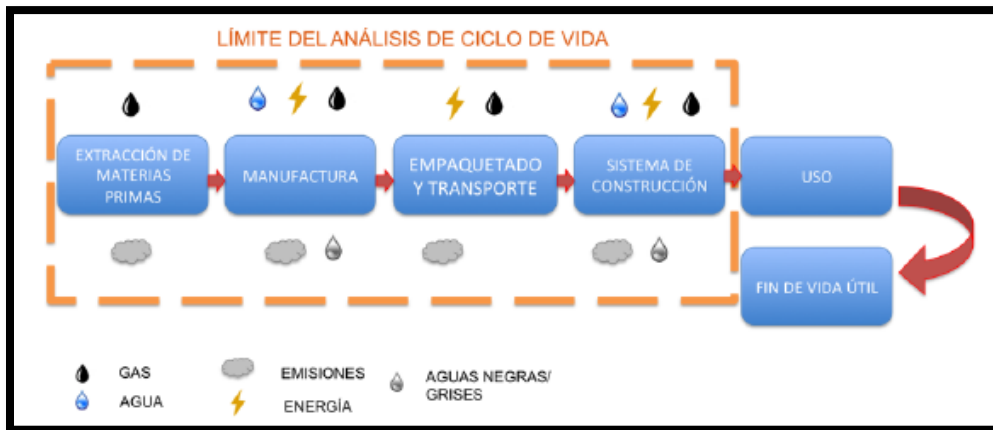
- Definición de Objetivos y Alcance: Fase del Análisis de ciclo de vida que define el objetivo y el uso previsto del estudio, el alcance de acuerdo a las limitaciones del sistema como la descripción de la función, unidad funcional y los flujos de referencia.
- Análisis del Inventario de Ciclo de Vida: fase que implica la recolección de datos correspondientes a las entradas y salidas del productos o actividad durante todo el ciclo de vida
- Evaluación del Impacto del ciclo de vida: fase del Análisis de ciclo de vida que se encarga de conocer y evaluar según la categoría de impacto específico a cada caso de estudio a lo largo de su ciclo de vida como, por ejemplo: eco-toxicidad del agua, cambio climático, Acidificación del agua, entre otros.
- Interpretación: fase del análisis de ciclo de vida en la que se evalúan las limitaciones asignadas para la recolección de datos del inventario y la evaluación de impactos en relación al objetivo y alcance para llegar a una conclusión y recomendaciones.

1.1.2. Composición del Análisis de Ciclo de Vida:

- Entradas y Salidas de un sistema: las entradas de un sistema son elementos tangibles o intangibles como materiales o flujos de energía que son dados por un proveedor para utilizarlo en un proceso unitario y los resultados o el producto final son las salidas.
- Límite del sistema: es un conjunto de criterios donde se limita las entradas y salidas, donde el investigador cree correcto para realizar el análisis de ciclo de vida este puede ser: “cuna a la puerta” este consta desde la extracción de materias primas hasta la finalización o salida

del producto o de la “puerta a la puerta” que solo consta de un proceso en específico, como se muestra tanto en la Figura N°6.

Figura N° 6: Sistema De ACV, Con Sus Límites Del Sistema Mostrando Sus Entradas Y Salidas.



Nota: (Pérez & Cabeza, 2017a)

1.1.3. Sistema Unitario.

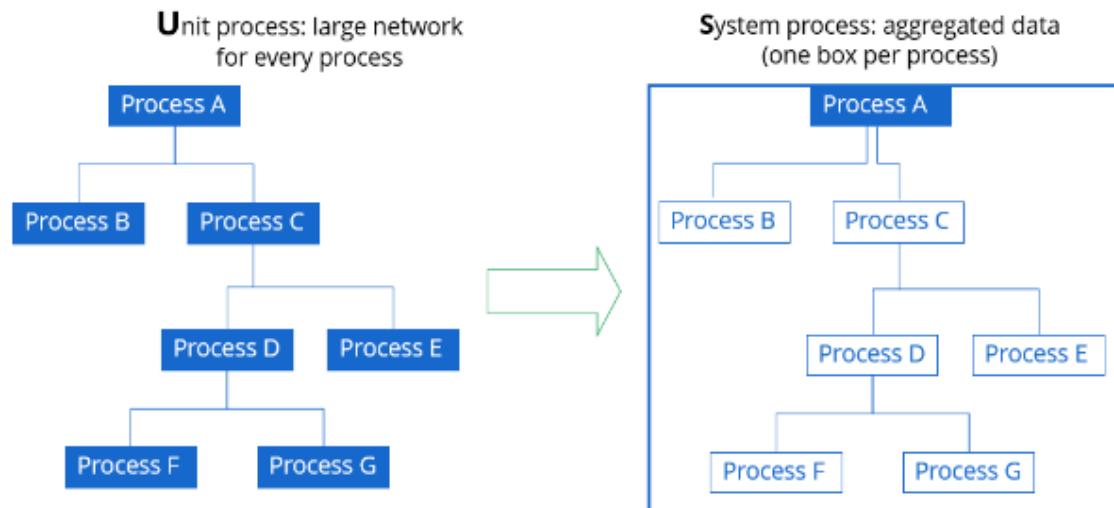
Es una parte pequeña que se encuentra en el análisis del inventario del ciclo de vida, describen un sector distinto del ciclo de vida, no el ciclo de vida completo, incluso si se agregan más elementos al proceso no siempre ofrece un valor significativo usando la base de datos de Ecoinvent 3. Cada uno de los procesos unitarios tienen que estar documentados para llegar a su alcance. (ISO 14040, 2006)

1.1.4. Procesos del Sistema

Es la recopilación de entradas y salidas de un producto y su cuantificación en todo su ciclo de vida (ISO 14040, 2006). Es una agregación única el cual consiste en definir los diferentes rangos del Ciclo de Vida usando los términos: Cuna, puerta y tumba. Se refiere a los procesos del Sistema al Inventario de Ciclo de Vida (LCI).

Figura N° 7: La Diferencia Entre Procesos Unitarios Y Proceso Del Sistema.

ecoinvent distinguishes unit and system processes



Nota: (SimaPro, 2016)

Como se puede observar en la figura 8. Un proceso del sistema se puede hallar a partir de procesos unitarios, contiene entradas y salidas por producto, en cambio un proceso unitario contiene solo datos de entradas y emisiones de recursos de una actividad del proceso.

1.1.5. Herramientas de Calculo

Se conocen varias herramientas o principales softwares de análisis de ACV disponibles en el mercado como: Gabi, OpenLCA y SimaPro, cada una poseen diferentes funciones para realizar diferentes estudios; Sin embargo, el que ha tenido más impacto fue el Software SimaPro por los siguientes motivos:

Software SimaPro: es de uso comercial y trabaja con diferentes bases de datos el cual el más referente es Ecoinvent, dicha herramienta posee todas las fases del ACV desde el ingreso de diferentes materiales, procesos, como su evaluación y cálculo de impactos ambientales, algunas de las funciones que tiene se puede observar en la siguiente imagen N°8.

Figura N° 8: Información resumida del Software SimaPro.

SimaPro		Desarrollador	PRÉ Consultants (Países Bajos)	Distribuidor	Lavola (España)
Coste	5.500 € – 14.300 €		Usuario	Experto	
Bases de datos	Ecoinvent / Agrifootprint / ELCD / USLCI / Input-Output				
Resultados	Cualquier categoría de impacto ambiental				
Aplicabilidad	Estudios de ciclo de vida	LCA	✓		
		LCC	✓		
		SLCA	✓		
		LCSA	✓		
	Huellas	Huella carbono	✓		
		Huella de agua	✓		
		Huella ecológica	✓		
		Huella ambiental	✓		
	Proyectos de mejora	Ecodiseño	✓		
		Economía circular	✓		
	Comunicación	EPD	✓		

Nota:(INHOBE, 2020)

Fases Del Ciclo De Vida Del Sector De Construcción:

- Manufactura: Es la fase que involucra la extracción de materiales, transporte
- Construcción: transporte de materiales y construcción e instalación.
- Uso o mantenimiento: Uso, mantenimiento, reparación, renovación y reemplazo
- Fin de vida: demolición, transporte, procesamiento de desechos, disposición final.
- Beneficios y cargas más allá del ciclo de vida de la construcción: reusar, recuperar, reciclar.

(Castellano et al., 2014); Se puede visualizar en la Figura N°7.

Las escalas de aplicación de acuerdo a un enfoque del sector de construcción se visualizan en la Tabla N°2:

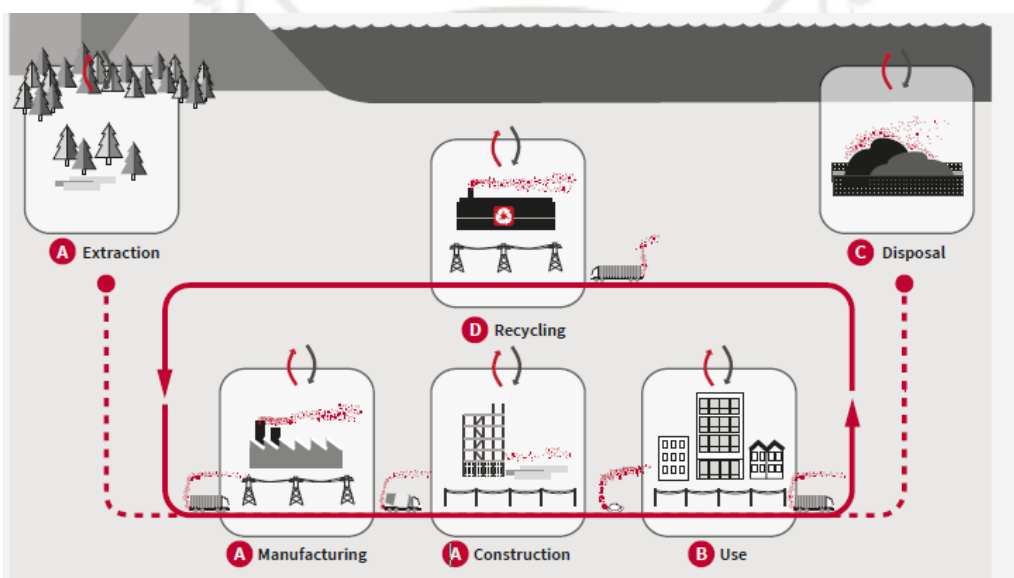
Tabla 2. Escalas De Aplicación De Metodología De ACV En El Sector De Construcción.

Escala de Aplicación	Tipología	Ejemplos
----------------------	-----------	----------

Material o producto	-	Yeso, ladrillos, etc.
Sistema constructivo	-	Techo, pared, etc.
Edificios	Residencial	Unifamiliar, multifamiliar, etc.
	no residencial	Hospital, oficinas, etc.
	Proyectos de ingeniería civil	Carreteras, puentes, muros de contención, etc.

Nota: (Castellano et al., 2014).

Figura N° 9 : Limite del Ciclo De Carbono En El Entorno Construido- Sistema.



Nota: (Simonen et al., 2018)

1.1.6. Tipos De Construcción

1.1.6.1. Residencial

Unifamiliar: Como su nombre indica, se trata de una propiedad donde solo vive una familia. En este sentido, hay que distinguirlo de los edificios de viviendas y complejos de viviendas concebidos como edificios de viviendas o terrenos de propiedad municipal.

Multifamiliar: Las viviendas multifamiliares son edificios residenciales en los que una estructura vertical u horizontal se divide en múltiples unidades unitarias que comparten un lote como propiedad común. Estas viviendas se construyen principalmente en complejos de

apartamentos si son edificios de poca altura, o en edificios de gran altura si forman parte de edificios de 10 o más pisos.

1.1.6.2. No Residencial

Oficinas: Un edificio comercial utilizado principalmente para fines administrativos. Las operaciones de los edificios de oficinas a menudo se ubican junto con otras funciones comerciales, como el almacenamiento, el comercio minorista, los centros de llamadas y de datos, y la fabricación.

1.1.6.3. Proyectos De Ingeniería Civil:

- Las obras de ingeniería civil implican la construcción de estructuras de esta escala. Al igual que los tipos arquitectónicos, se caracterizan por un alto grado de complejidad, que ya se manifiesta en su concepto.
- Infraestructura Vial: Una autopista es una vía por la que circulan coches y camiones, es rápida y sencilla. Es altamente seguro y tiene un gran volumen de distribución. cosas para hacer Dependiendo del tipo, los catálogos de este tipo deben cumplir varias características

1.1.7. Procesos Constructivos

En un conjunto de fases necesarias para ejecutar edificios o infraestructuras en un determinado rango de tiempo, es claro que cada obra civil tiene sus peculiaridades o características propias, se puede mencionar algunas fases de los procesos Constructivos como:

1.1.7.1. Transporte de los Materiales

Todos los materiales transportados a obra o generado durante el proceso constructivo tienen que ser manejados en tal forma que conserven sus cualidades y aptitudes para el trabajo. Los agregados tienen que ser transportados del lugar de almacenaje o de producción hasta la obra en vehículos cubiertos y asegurados a la carrocería, de tal modo que eviten la pérdida o segregación de los materiales después de haber sido medidos y cargados.

1.1.7.2. Trabajos Preliminares

Movilización De Herramientas Y Equipos: La movilización y desmovilización de equipos y herramientas, consiste en el traslado del equipo y herramientas que va a ser utilizada en la obra. El material será transportado en camiones, tráileres y camiones de plataforma

Movilización Y Desmovilización De Maquinaria: Esta partida se refiere al traslado de maquinaria pesada, como rodillos, motoniveladora y tractor, etc. el mismo que se realizará en camiones con plataforma, no se considera el traslado de maquinaria que lo hacen por sus propios medios

1.1.7.3. Eliminación De Material Excedente

Consiste en el carguío, transporte y eliminación de material excedente producto de las demoliciones, con cargador frontal y volquetes

1.1.7.4. Pavimentación

Conformación De Subrasante: Este trabajo consiste en la preparación de la subrasante según los niveles indicados en los planos, para la posterior colocación de la base del pavimento

Conformación De Base Granular: Este trabajo consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación de material de Base Granular con plancha compactadora, con un espesor de 0.0.20m

Transporte del concreto: El transporte entre la planta y la obra se efectuará de la manera más rápida posible, empleando el equipo de transporte descrito anteriormente. El concreto se podrá transportar a cualquier distancia, siempre y cuando no pierda sus características de trabajabilidad y se encuentre en estado plástico en el momento de la descarga.

Colocación de encofrados: Cuando la obra se ejecute entre encofrados fijos, éstos podrán constituir por sí mismos el camino de rodadura de las máquinas de construcción del pavimento o podrán tener un carril para atender esa función. En cualquier caso, deberá presentar las características de rigidez, altura y fijación.

Colocación del concreto: Cuando la puesta en obra se realice entre encofrados fijos, el concreto se distribuirá uniformemente y una vez extendido se compactará por vibración y enrasará con elementos adecuados, de modo de tener una superficie uniforme, lisa y libre de irregularidades, marcas y porosidades.

2.3 Marco Conceptual

Para entender el análisis de ciclo de vida se requiere de estos términos muy importantes que fueron obtenidos de la normativa: (ISO 14040, 2006).

2.3.1 Ciclo de Vida.

Es una herramienta metodológica que se encarga tanto de recopilar información y evaluar aspectos e impactos ambientales de una actividad, servicio o producto en todas las etapas de ciclo de vida, desde la extracción de materias primas, producción, uso y disposición final, tiene como finalidad distintas aplicaciones como la mejora de toma de decisiones, monitoreo entre otros.

2.3.2 Unidad funcional.

Rendimiento medible de un sistema de producto que es usado como unidad de referencia.

2.3.3 Flujo de referencia.

Los resultados de los procesos del sistema de un producto requeridos para cumplir la función que es expresada por la unidad funcional.

2.3.4 Definición de Objetivos y Alcance.

Fase del Análisis de ciclo de vida que define el objetivo y el uso previsto del estudio, el alcance de acuerdo a las limitaciones del sistema como la descripción de la función, unidad funcional y los flujos de referencia.

2.3.5 Análisis del Inventario de Ciclo de Vida.

fase que implica la recolección de datos correspondientes a las entradas y salidas del productos o actividad durante todo el ciclo de vida

2.3.6 Evaluación del Impacto del ciclo de vida.

fase del Análisis de ciclo de vida que se encarga de conocer y evaluar según la categoría de impacto específico a cada caso de estudio a lo largo de su ciclo de vida como, por ejemplo: ecotoxicidad del agua, cambio climático, Acidificación del agua, entre otros.

2.3.7 Interpretación del Ciclo de Vida.

fase del análisis de ciclo de vida en la que se evalúan las limitaciones asignadas para la recolección de datos del inventario y la evaluación de impactos en relación al objetivo y alcance para llegar a una conclusión y recomendaciones.

2.3.8 Entradas y Salidas de un sistema.

las entradas de un sistema son elementos tangibles o intangibles como materiales o flujos de energía que son dados por un proveedor para utilizarlo en un proceso unitario y los resultados o el producto final son las salidas.

2.3.9 Límite del sistema.

Es un conjunto de criterios donde se limita las entradas y salidas, donde el investigador cree correcto para realizar el análisis de ciclo de vida este puede ser: “cuna a la puerta” este consta desde la extracción de materias primas hasta la finalización o salida del producto o de la “puerta a la puerta” que solo consta de un proceso en específico.

2.3.10 Categoría de Impacto.

Problemas ambientales importantes que son asignados a los resultados del ACV. Se cuantifica mediante los indicadores de la categoría de impacto.

2.3.11 Impacto Ambiental.

Son aquellos cambios que puedan alterar al medio ambiente producto de alguna actividad, servicio de una organización.

2.3.12 Aspecto Ambiental.

Los impactos ambientales y los Aspectos Ambientales son aquellos elementos de actividades, productos o servicios de una organización que pueden interactuar con el ambiente

2.4 Marco Legal

- Ley N°28611 Ley General del Ambiente (2005): Capítulo 4 Empresa y Ambiente artículo 75° Del manejo integral y prevención en la fuente se refiere a que es exigible que los proyectos de inversión teniendo a cargo un titular de operación responsable de que pueda generar impactos al ambiente sea agua, suelo y aire tengan un manejo integral y prevención del riesgo y daño del medio ambiente de las etapas de operación bajo el concepto de ciclo de vida.
 - Artículo 76.- De los sistemas de gestión ambiental y mejora continua: El Estado promueve que los titulares de operaciones adopten sistemas de gestión ambiental acordes con la naturaleza y magnitud de sus operaciones, con la finalidad de impulsar la mejora continua de sus niveles de desempeño ambiental
 - 77.- De la promoción de la producción limpia. 77.2 Las medidas de producción limpia que puede adoptar el titular de operaciones incluyen, según sean aplicables, control de inventarios y del flujo de materias primas e insumos, así como la sustitución de éstos; la revisión, mantenimiento y sustitución de equipos y la tecnología aplicada; el control o sustitución de combustibles y otras fuentes energéticas; la reingeniería de procesos, métodos y prácticas de producción; y la reestructuración o rediseño de los bienes y servicios que brinda, entre otras.
- ISO 14044: British Standard: Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and framework: la organización Internacional de Normalización en sus siglas en inglés (ISO) 14044 de ACV es una herramienta de gestión ambiental. Esta metodología que está constituida por 4 fases que son: el objetivo y alcance, Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV), la evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida (EICV) tiene como principal objetivo de proporcionar información adicional para ayudar a interpretar los resultados del inventario de ciclo de vida de un sistema ya sea de una actividad o servicio a fin de comprender las cargas ambientales que generan. (ISO14044, 2006)
- D.L N°1078. Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (2017): El SEIA en el artículo 4° se refiere que los instrumentos de gestión ambiental son de carácter preventivo o anticipado como los de lo cual es obligatorio para el cumplimiento de los proyectos de inversión en el sector constructivo y de transporte lo cual las autoridades de los gobiernos nacionales, regionales y locales posteriormente puedan realizar funciones de

supervisión, fiscalización y supervisión y teniendo como también no se realizan capacitaciones para la instrucción de nuevos modelos de control emisiones de GEI.

- D.S. N° 057-2004-PCM. Aprueban disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INFOCARBONO)(2004):Este decreto se establecen las disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INFOCARBONO) que tiene como objetivo final establecer un conjunto de acciones enfocadas en la recopilación, evaluación y sistematización de información vinculada a los gases de efecto invernadero de los sectores económicos en conjunto con información de INEI, mediante a ese D.S. el MINAM ha elaborado El Reporte Anual de Gases de Efecto Invernadero- Sector de Energía. Categoría: Combustión móvil en conformidad con las directrices de IPCC 2006 lo cual también se encuentra metodología para el cálculo de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI).
- Ley N° 30754. Ley Marco sobre Cambio Climático (2018): Inciso 3 Instrumentos de gestión Integral para el cambio climático Artículo 20. Contribuciones determinadas a Nivel Nacional se comprenden las metas por el estado peruano para mitigar las emisiones nacionales de GEI y adaptarse al cambio climático como respuesta frente a este problema, 20.2 Estas contribuciones son incorporadas en la planificación estratégica institucional tanto de los sectores del estado, según corresponda sus funciones según al inciso 2 articulo 8. Funciones de las autoridades sectoriales que menciona que se deben generar progresivamente estudios integrados de impacto, vulnerabilidad, riesgo y adaptación frente al cambio climático. En conclusión, la Ley del Marco del Cambio Climático genera la obligación de que el gobierno nacional deba incorporar las medidas de mitigación y adaptación de la NDC en sus presupuestos y planes.



3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo Y Nivel De Investigación.

3.1.1 Nivel De Investigación:

Nivel Explicativo: Este estudio permite identificar y comprender la relación de las causas de los eventos físicos para explicar las consecuencias del proyecto vial y peatonal en contexto al cambio climático.

3.1.2 Tipo De Investigación:

Enfoque Cuantitativo, Este nivel de investigación se centra en la recopilación de datos y el análisis de datos numéricos para comprender los resultados del caso de estudio y su impacto al medio ambiente de este caso de estudio real en un determinado periodo de tiempo, el software utilizado trabaja con una estadística incorporada para el análisis de datos.

3.2 Desarrollo Metodológico

3.2.1 Técnicas De Recolección De Datos

- La elaboración del inventario de ciclo de vida
- Evaluación de impactos con el método de cambio climático IPCC 2013 de toda la obra de construcción de infraestructura vial y peatonal de origen municipal
- Comparación de 2 escenarios (ya realizado con uno modificado) como propuesta de medida de mitigación.

a) Clasificación De Recolección De Datos

- **Datos Cualitativos:**

Información de cómo y cuándo se recolecto la información, descripción de tecnologías del proceso, ubicación geográfica del proceso; se opta por clasificar dichos datos en los siguientes:

- **Datos primarios:** fue entregada por la empresa concesionaria durante la etapa de construcción como: metrados de planos, avances de obra, información de almacenamiento entradas de materiales, consumo de combustible de toda la maquinaria pesada (tiempo de actividad, carga y actividad), fotografías de la construcción y recibos de consumo eléctrico.
- **Datos Secundarios:** se utilizó inventarios del portal web de PERULCA, fichas técnicas de materiales y artículos científicos que estén relacionados a la construcción y que estén dentro de la región para evitar que el margen de error de los datos sea mayor y finalmente datos de la base de datos de Ecoinvent 3.

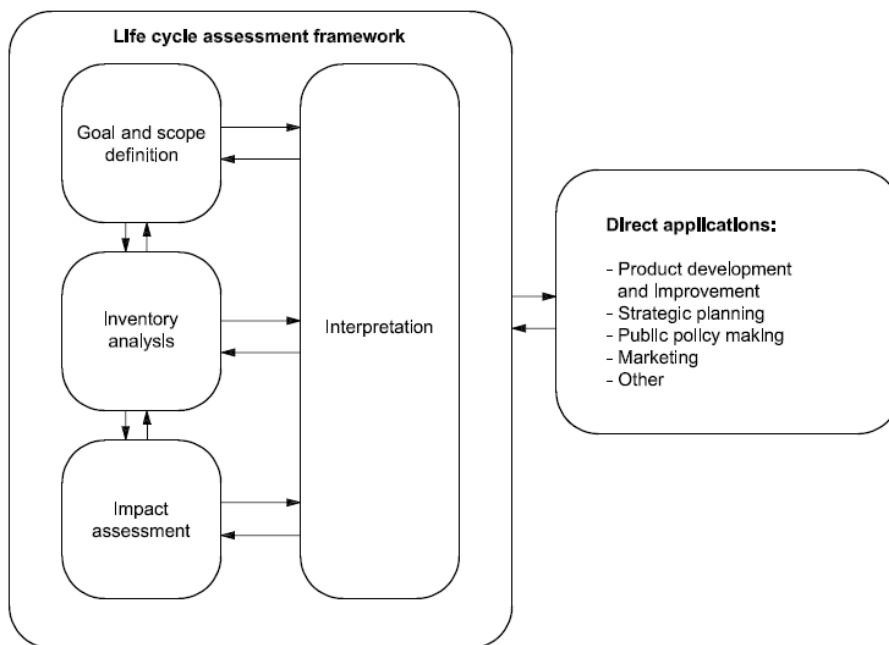
b) Instrumentos Utilizados:

- **Softwares:** Para el cálculo del análisis de ciclo de vida, en este estudio se realizó con los siguientes programas:
 - SimaPro Versión 9.5: Sirve para el cálculo del análisis de ciclo de vida y la utilización de la base de datos de Ecoinvent versión 3, también muestra un flujograma de todos los datos obtenidos del programa.
 - software Excel: elaboración del inventario del ciclo de vida.
 - Google Earth Pro.
 - <https://perulca.com/>, ECOEDITOR

3.2.2 Elaboración Del Análisis Del Inventario De Ciclo De Vida.

Siguiendo con la metodología que propone ISO 14044 Análisis de ciclo de vida, dicha metodología consta de las siguientes etapas como se muestra en la Figura N° 9 y el procedimiento del Inventario de Ciclo de Vida se muestra en la Figura N°10. Este se caracteriza primero en organizar toda la data obtenida que son las entradas al sistema como: materiales, transporte, combustible, entre otros de datos primarios y como datos secundarios se utilizó la base de datos de Ecoinvent y como salidas las emisiones de aire que se generaron a partir de alguna actividad, producto o servicio. Para cuantificar las emisiones producto de toda la información que se quiere calcular.

Figura N° 10: Etapas Del Análisis De Ciclo De Vida.



Nota: (ISO14044, 2006)

Figura N° 11: Fases Del Análisis Del Inventario Del Ciclo De Vida.



Nota: (Simonen et al., 2018)

a.- Definición del Objetivo y alcance

- Se define la Zona de Estudio, sus coordenadas geográficas o UTM, área, características importantes que aportarán en la definición de la Unidad Funcional del Análisis de Ciclo de Vida
- Se definirán los procesos, actividades y los límites del sistema que se realizan en el caso de estudio para poder concluir con el sistema final.

b.- Hoja de Recolección de Datos Resumido.

- Recopilación de datos de inventario del caso de estudio de la construcción
- Información de los materiales como maquinarias que ingresan y salen de la construcción o cambios de materiales, como del expediente técnico mismo.
- Recopilación de vistas fotográficas de todas las procesos y actividades.
- Se utilizaron las siguientes fórmulas para el cálculo de las hojas de datos resumidos:
 - Las fórmulas para hallar TKM unidad de medida para ingresar en el software SimaPro V9.5 del transporte, en este caso las maquinarias pesadas que se utilizó en este caso del transporte de concreto premezclado y de la maquinaria pesada
 - arrendada según cada proceso y actividad de los frentes constructivos son los siguientes:

Toneladas x Kilometro (TKM) concreto = ((peso bruto(ton) + (capacidad (cubos))*(peso/cubo))) *distancia (Km)*Número de viajes.

Relación Peso/cubo de concreto= 2.40

TKM maquinaria= (peso bruto (ton) * distancia (km) * Número de viajes

- De acuerdo a la base de datos recopilada en general (materiales), al resumen de datos, se le aplica la unidad funcional (m²)

Aplicando la Unidad Funcional a los resultados =(Resultado / periodo)/ m² por proceso constructivo= Kg CO₂ eq /m²

c.- Relacionar hoja de datos con la unidad funcional

- Relacionar los datos finales y resumidos en una hoja de datos el cual servirá para poder relacionarlo con la Unidad Funcional establecida y obtener los datos finales para la siguiente fase.

d.- Refinado del Límite del Sistema

- Se realizan estudios adicionales o descargas de base de datos externos el cual permite que el estudio sea más preciso en los valores ingresados al software y que se puedan observar diferencias en los escenarios propuestos.

e.-Inventario Completo

- El inventario completo consta de tener todo un sistema bien establecido con los procesos y actividades, ingresos de materiales, maquinaria, como salidas de emisiones de aire o cualquier contaminante que se esté generando de dicho sistema el cual también debe observarse en un gráfico final y una tabla de los datos resumidos con los límites del sistema incluidos.

3.2.3 Evaluación De Impactos Utilizando El Software Sima Pro V.9.5

la fase de Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida tiene como objetivo principal evaluar los impactos ambientales o cargas ambientales, en esta fase se emplean diferentes métodos y bases de datos como se muestra en la figura N°11 y N°12 respectivamente, el Software SimpaPro posee una opción de evaluación, en la que se hace el cálculo de los datos recopilados en el ICV. Para realizar Dicha evaluación de deben seguir algunos pasos dentro del Software SimpaPro que son los siguientes:

Paso 01: Identificar que estén activas las bases de datos de Ecoinvent en el software SimaPro como se observa en la Figura N°12.

Figura N° 12: Bases De Datos Del Software Simapro V.9.5.

Instructor	Selección	Nombre	Protección
Instructores	<input checked="" type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic - system	
Objetivo y alcance	<input checked="" type="checkbox"/>	Agri-footprint - economic - unit	
Descripción	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - system	
Bibliotecas	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation at point of substitution - unit	
Inventario	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - system	
Procesos	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - allocation, cut-off by classification - unit	
Etapas de producto	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - consequential - system	
Descripciones del sistema	<input checked="" type="checkbox"/>	Ecoinvent 3 - consequential - unit	
Tipos de residuo	<input checked="" type="checkbox"/>	EU & DK Input Output Database	
Parámetros	<input checked="" type="checkbox"/>	Industry data 2.0	
Evaluación de impacto	<input checked="" type="checkbox"/>	Methods	
Métodos	<input checked="" type="checkbox"/>	USLCI	
Configuraciones de cálculo			
Interpretación			
Interpretación			
Enlace a otro documento			

Nota: (SimaPro, 2016)

Paso 2: Revisar los métodos de Evaluación de Impacto y escoger el más adecuado según el caso de estudio, el software posee información importante de cada categoría de impacto como se muestra en la figura N° 13.

Figura N° 13: Métodos De Evaluación De Impacto Que Posee El Software SimaPro.

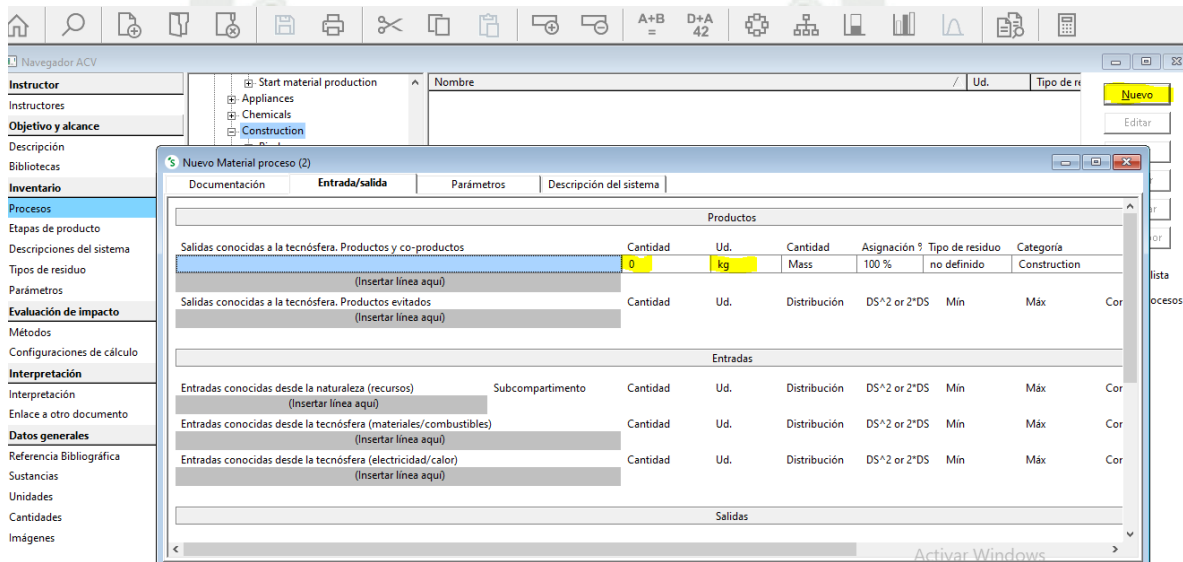
Métodos	Nombre	Versión	Proyecto
European	ILCD 2011 Midpoint	1.03	Methods
Global	ILCD 2011 Midpoint+	1.11	Methods
North American	IMPACT 2002+	2.15	Methods
Otros	IPCC 2001 GWP 100a	1.05	Methods
Single issue	IPCC 2001 GWP 20a	1.05	Methods
Superseded	IPCC 2001 GWP 500a	1.05	Methods
Water footprint	IPCC 2007 GWP 100a	1.02	Methods
	IPCC 2007 GWP 20a	1.02	Methods
	IPCC 2007 GWP 500a	1.03	Methods
	IPCC 2013 GWP 100a	1.03	Methods
	IPCC 2013 GWP 100a (incl. CO2 uptake)	1.01	Methods
	IPCC 2013 GWP 20a	1.03	Methods
	IPCC 2013 GWP 500a	1.01	Methods
	Motoshita et al 2010 (Human Health)	1.04	Methods
	Pfister et al 2009 (Eco-indicator 99)	1.02	Methods
	Pfister et al 2009 (Water Scarcity)	1.02	Methods
	Conjunto de normalización/ponder		

Nota: (SimaPro, 2016)

Paso 3: Se crean los procesos, ingresando en el botón Nuevo del software, el cual se abrirá una ventana como se observa en la figura N°13 que se usa para ingresar los datos ya modelados de acuerdo a la Unidad Funcional, en la parte superior del cuadro se coloca el proceso

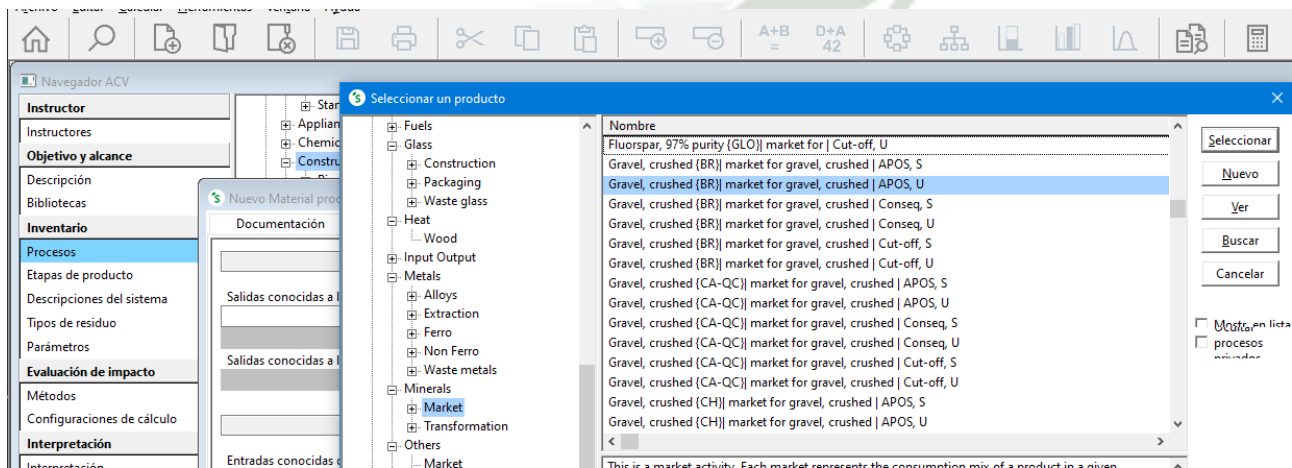
y la unidad funcional, entradas de la tecnosfera (componentes de la tierra que están formados por todos los productos hechos por el hombre, en este estudio las entradas son materiales, energía usados) y salidas (los productos mismos o bienes que consumen las entradas, como las emisiones al aire); en la figura N° 14 y Figura N° 15 se muestra el proceso del ingreso de materiales y su base de datos respectivamente que se realiza en el proceso de materiales que se clasifican en market y transformación, por regiones y de forma global a su fabricación

Figura N° 14: Creación De Un Nuevo Proceso en el Software SimaPro V.9.5



Nota: (SimaPro, 2016)

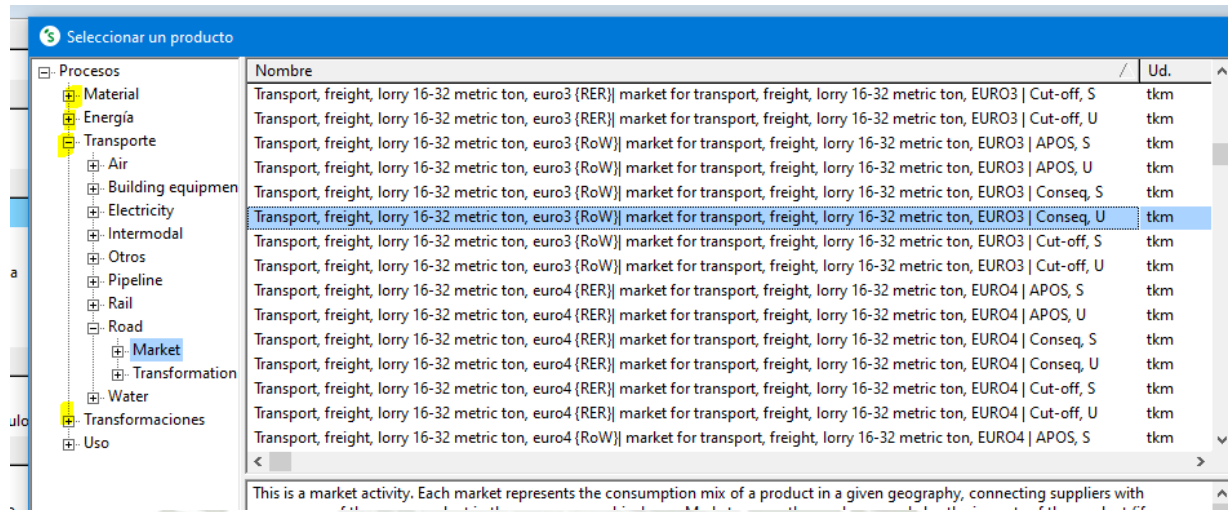
Figura N° 15: Base De Datos De Ecoinvent Para La Selección De Materiales.



Nota: (SimaPro, 2016)

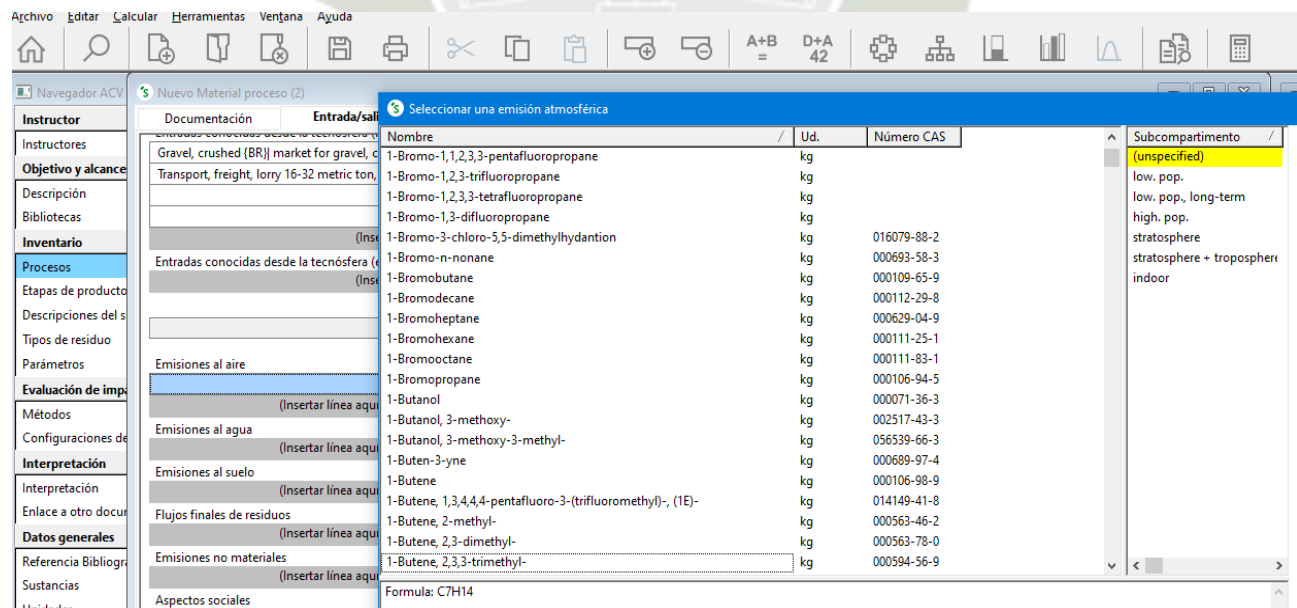
Paso 4: Para ingresar los datos de transporte en caso sean maquinarias usadas para actividades de construcción se escoge la opción Road, luego market y se escoge de acuerdo a las características principales como materiales, energía, transporte y transformaciones, como se muestra en la figura N° 16 y en la Figura N° 17 se muestra la lista de salidas como las emisiones de aire.

Figura N° 16: La Base De Datos De Ecoinvent En Relación A Transporte.



Nota: (SimaPro, 2016)

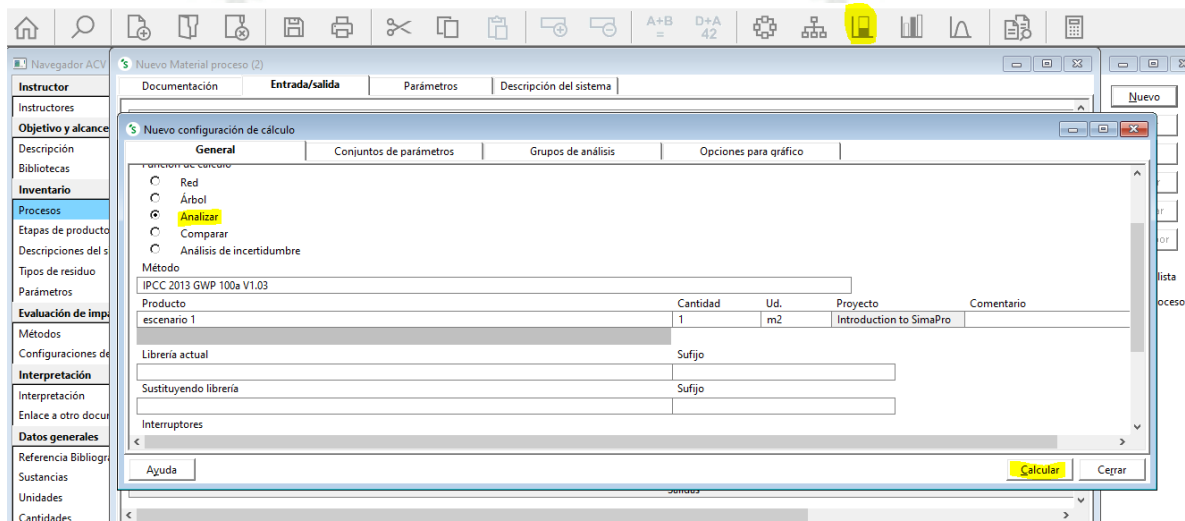
Figura N° 17: Base De Datos De Ecoinvent En Relación A Las Salidas Del Sistema



Nota: (SimaPro, 2016)

Paso 5: Como último paso, el más importante después de ingresar todos los datos importantes con sus unidades de acuerdo a la Unidad Funcional, se procede a calcular el cual como se muestra en la figura N° 18 se puede observar el procedimiento del cálculo con la categoría de impacto o método correspondiente. El cálculo presionando el botón sombreado en la parte superior de la imagen, se abrirá dicha ventana, se selecciona la opción analizar, el método o categoría de impacto a calcular y la unidad funcional.

Figura N° 18: Calculo Del Inventario De Ciclo De Vida.



Nota: (SimaPro, 2016)

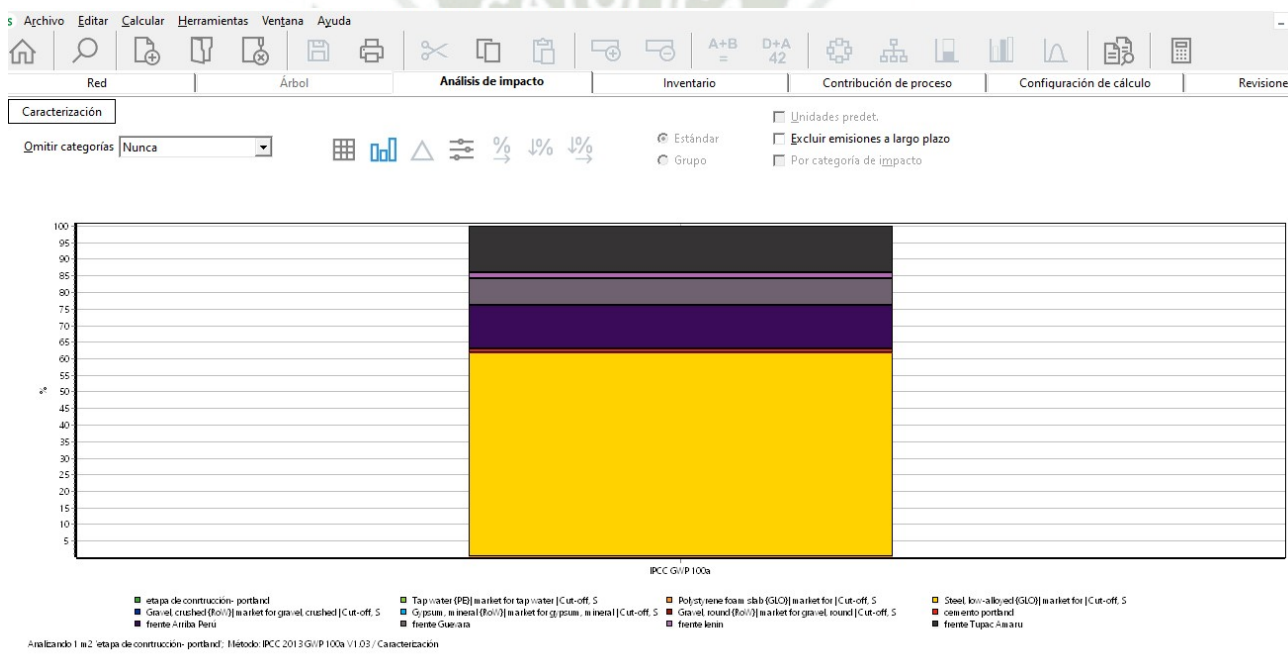
Paso 6: Como último paso, se muestra en la figura N°19 la vista final del resultado de acuerdo a los datos ingresados la cantidad de cargas ambientales generadas de acuerdo a la categoría de impacto que se estableció que es IPCC GPW 100 años que es el tiempo de vida que dura la construcción en la unidad de medida de KgCO₂eq. Y también el software SimaPro tiene la opción de generar gráficas en barras para poder realizar la interpretación correspondiente como se muestra en la figura N°20.

Figura N° 19: Vista Final Del Resultado Del Software SimaPro V.9.5

Se	Categoría de impacto	Unidad	Total	cemento portland	Limestone, crushed, for mill	Gypsum, mineral (RoW)	Kraft paper, unbleached	Hard coal (RoW) market	Diesel (RoW) market for	Electricity, high voltage (PE)	Cement factory (RoW)	Transport, freight, lorry
<input checked="" type="checkbox"/>	IPCC GWP 100a	kg CO2 eq	2.1	0.694	0.00404	0.000497	0.00232	0.0121	9.58E-5	0.0165	6.35E-5	1.37

Nota: (SimaPro, 2016)

Figura N° 20: Grafica de resultados del Software SimaPro V.9.5



Nota: (SimaPro, 2016)

3.2.4 Comparación de escenarios propuesto y uno modificado tomando en cuenta límites del sistema

Como parte de aplicaciones directas que se observa en las metodologías de Análisis de Ciclo de vida como medidas o propuestas de mejora, se realiza la comparación de dos escenarios el que se calcula durante todo el caso de estudio y el escenario con modificaciones el cual cuenta con un cambio de material principal y el tipo de maquinaria utilizada de acuerdo a la norma EURO.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados De La Recolección De Datos Del Caso De Estudio.

4.1.1. Clasificación De Recolección De Datos

Datos Cualitativos

Como primer paso de realizar todas las etapas de Análisis de Ciclo de Vida, se realizó la recopilación de información de acuerdo a la siguiente clasificación: Ubicación espacial del lugar de ejecución corresponde a la ciudad de Arequipa – Distrito de Cayma- Dean Valdivia como se muestra en la figura N°21 se muestran los detalles de dicha locación geográfica.

El Distrito de Cayma es una de los 21 distritos que conforma la ciudad de Arequipa en el sur del Perú. Los detalles geográficos como las características climáticas se observan en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3. Localización Geográfica Del Distrito De Cayma

ITEM	DESCRIPCIÓN
Coordenadas	16°20'50.10"S, 71°32'42.34"O
Zonas	Residencial, tradicional y alto Cayma
Superficie	246,31 km ²
Altitud media	2,403 m.s.n.m.

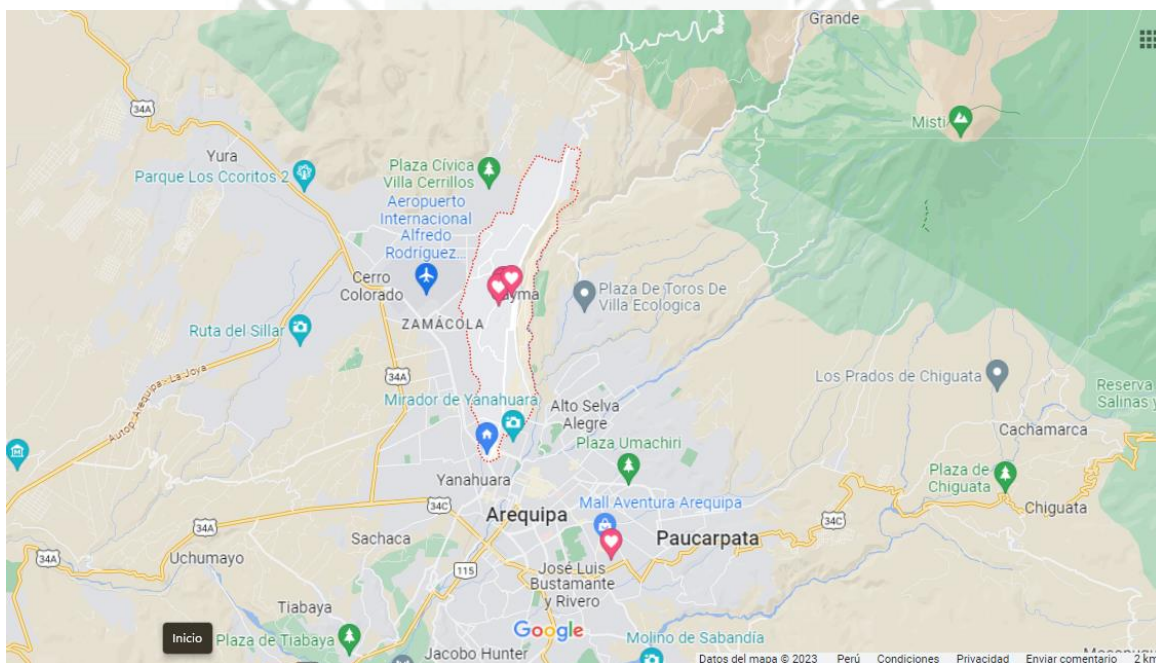
Nota: Adaptado de Google EarthPro

Tabla 4. Características Climáticas De Cayma.

ITEM	DESCRIPCIÓN
Asolamiento	80% de los días del año
Radiación Solar	Máximo índice de UVB: 16-17
Temperatura máxima	22.7 °C
Temperatura Mínima	8.4°C
Dirección de vientos	De SO a NO
Velocidad de vientos promedio	7 nudos
Humedad relativa máxima	93%
Humedad relativa mínima	23%
Precipitación máxima	97 mm
Precipitación mínima	0 mm

Nota: SENAMHI (2019)

Figura N° 21: Límite Del Área De Intervención Del Distrito De Cayma- Arequipa.



Nota: Google Maps (2023)

Datos Primarios

Descripción del Proyecto Vial y Peatonal

Obra de Mejoramiento de la transitabilidad peatonal y vial IV etapa en Upis Dean Valdivia. Esta información se recopila mediante el expediente técnico que solicite a los encargados de obra, se muestra en los párrafos siguientes la información recopilada. Este proyecto en su cuarta etapa comprende la intervención de 4 pasajes (Pje. Che Guevara lado izquierdo y derecho, Pje. Lenin, Pje. Arriba Perú) y el Jr. Tupac Amaru, que a continuación se describirá las actividades que se realizaran en dichas zonas como se muestra en la figura N°19 y las coordenadas de cada pasaje en la Tabla N° 5, la identificación del terreno se muestra en el Anexo N°1. Y los planos de cada frente constructivo se encuentra en el Anexo 8: Planos de la Obra.

- Pasaje Che Guevara lado izquierdo y derecho y Pasaje Lenin: se encontraban sin ninguna intervención en condiciones de trocha accidentada, terreno natural, lo cual por su pendiente del terreno es mayor al 12% (pendientes de 22° de promedio) contará con un pequeño acceso vehicular y para el acceso a las viviendas se realizó por medio de graderías que tendrán un ancho de 2.40m. y descansos de 1.20 a 1.50m, muros y jardineras.
- Pasaje Arriba Perú: Se encuentra en la cabecera y parte alta de UPIS Deán Valdivia colindante con el AAHH. Las Malvinas esta es una nueva vía que requiere movimiento de tierras, muros de contención entre 2.80 a 3.50m altura como promedio sobre todo los que colindan sobre a las viviendas, es un área sin intervención, se realizó sardineles, pavimento rígido, veredas, en todo el largo de la vía.
- Jr. Túpac Amaru: cuenta con acceso vehicular sin ninguna intervención, es una zona de tránsito pluvial, que ha ido erosionando la vía, se planteó una vía de pavimento rígido con una pendiente opuesta para el drenaje del agua hacia el canal existente de SEDAPAR. Lo cual este canal fue reforzado por muros de contención y rejillas para evitar el paso de residuos que puedan obstaculizar la circulación del agua, para el mejoramiento de esta vía se realizaron veredas, jardineras y descansos para la mejor transitabilidad peatonal.
- Dichos procesos constructivos se encuentran en los Anexos N°4: Pasajes Che Guevara lado derecho e izquierdo, Anexo N°5: Jr. Tupac Amaru, Anexo N°6: Pasaje Lenin y Anexo N°7: Pasaje Arriba Perú.

Tabla 5. Datos Principales De La Obra Civil Municipal Y Sus Frentes Constructivos.

ITEM	PUNTOS UBICACIÓN	DE DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE
Coordenadas	Pasajes Lenin	16°20'44.72"S,71°32'40.60"O	170.5 m2
Geográficas	pasajes Che Guevara lado izquierdo y derecho	16°20'45.91"S,71°32'41.34"O	247.50 m2
	Pasaje Túpac	16°20'46.32"S,71°32'40.39"O	264 m2
	pasaje Arriba Perú	16°20'59.67"S,71°32'41.60"O	1602 m2
		16°20'46.68"S,71°32'43.19"O	496 m2
Modalidad	-	Contrata	
Tiempo de ejecución	-	5 meses	
Superficie total		2780 m2	
Distritos Colindantes		Norte: Yanahuara (Cañaguas), Oeste: Cerro Colorado y Yura, Este: Yanahuara y Selva Alegre y al Sur: Yanahuara	

Nota: Elaboración Propia.

Accesibilidad: Se recolecto información de los partes diarios como se muestra en el de cada maquinaria Anexo N° 2 que se utilizó para cada proceso, el cual contenía: fecha, lugar de donde realizaban todos los recorridos hasta llegar a los puntos de ubicación de la obra como se muestra en la figura N°20, el número de viajes que realizaban por día, la capacidad de carga en caso de maquinarias como los de transporte de concreto pre mezclado, la resistencia del concreto, peso/cubo. En este caso de estudio no se está tomando en cuenta el tráfico desde el punto de inicio del transporte hasta el almacén central de la obra Municipal. Para obtener las distancias de cada maquinaria hasta los frentes constructivos se utilizó Google Maps para que sea mucho más preciso, también de la ubicación exacta de su punto de partida el cual es muy importante sabiendo que vías son mucho más accesibles hasta llegar al punto final. como se muestra en la Tabla N° 6:

Tabla 6: Información De Distancias Desde El Punto De Partida Hasta Los Puntos De Ubicación De Los Procesos Constructivos.

Concreteira	Código origen	Ubicación	CodOrigenDesti no	Distancia	Unidad
Almacén Central	AC	Lenin	ACLenin	0.6	Km
Almacén Central	AC	Guevara	ACGuevara	0.55	Km
Almacén Central	AC	ArribaPeru	ACArribaPeru	0.8	Km
Almacén Central	AC	TupacAmaru	ACTupacAmaru	0.35	Km
Almacén Central	AC	Cementerera Yura	ACCementerera Yura	23.5	Km
Calle 27 noviembre N° 11- PJ Alto de la Libertad- Cerro Colorado	CP	Lenin	CPLenin	8	Km
Calle 27 noviembre N° 11- PJ Alto de la Libertad- Cerro Colorado	CP	ArribaPeru	CPArribaPeru	7.6	Km
Calle 27 noviembre N° 11- PJ Alto de la Libertad- Cerro Colorado	CP	TupacAmaru	CPTupacAmaru	7.7	Km
Calle 27 noviembre N° 11- PJ Alto de la Libertad- Cerro Colorado	CP	Guevara	CPGuevara	8.1	Km
Planta Vía de Evitamiento KM 4.2- Cerro Colorado	PVE	Pasaje Lenin	PVEPasaje Lenin	8.6	Km

Planta Evitamiento KM 4.2- Cerro Colorado	Vía de PVE	ArribaPeru	PVEArribaPeru	7.8	Km
Planta Evitamiento KM 4.2- Cerro Colorado	Vía de PVE	TupacAmaru	PVETupacAmaru	7.8	Km
Planta Evitamiento KM 4.2- Cerro Colorado	Vía de PVE	Guevara	PVEGuevara	8	Km
volque granular de base BG		TupacAmaru	BGTupacAmaru	2	Km

Nota: Elaboración Propia.

Transporte utilizado: De los viajes se ha podido conocer que existe una variabilidad de los trayectos tomados para cada uno de los puestos de destino, así como los tipos de maquinaria, su modelo y la gama, lo cual es importante detallar ya que de acuerdo a ello se le asigno una carga ambiental distinta. Como se puede observar en la tabla N°7, se ha identificado al menos 10 tipos distintos de carga.

Tabla 7. Listado De Maquinaria Utilizada En La Construcción De La Obra Municipal.

MAQUINARIA		
NOMBRE	GAMA	MODELO
Volquete	VOLVO	F12 420
Retroexcavadora	CAT	420 E
Retroexcavadora	CAT	430 E
Volquete	VOLVONL	10 INTERCOOLER
Cisterna	VOLVO	F12
Volquete	SCANIA	P400
moto conformadora	CAT	120 H
Retroexcavadora	KOMATZU	WB40

Rodillo	CAT
Compactadora	
Carmix	DDIECI

Nota: Elaboración Propia.

Entradas: Otra información obtenida de las entradas en obra es la relación de materiales, como la muestra la Tabla N° 8. La cual alimenta la base de datos del inventario y permite homologar y comparar por unidad de medida las cantidades entre un sector y otro.

Tabla 8. Cantidad Total De Ingreso De Materiales En Relación A Su Unidad Funcional.

INGRESO DE MATERIALES		
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD
Cemento Portland	73514.99	kg
Acero	15282.6	Kg
Base granular	300	M3
Tecpor de 1"x1.20x2.4m	33	Und
Piedra chancada ¾"	865	M3
Arena	594.92	M3
Agua	95	M3

Nota: Elaboración Propia.

En comparación en el estudio de la construcción carretera de la panamericana de Verán-Leigh et al (2019) se realizaron entrevistas a los ingenieros de obra de acuerdo al procedimiento de construcción, como información de peajes, mantenimiento, eso de acuerdo al tipo de construcción y de su magnitud, de acuerdo a la Tabla N°9 se considerada en el estudio es la segmentación por partida del transporte de concreto pre mezclado en relación a: fechas, lugar, peso, actividad, tipo de material, numero de viajes distancias realizados por sector, también se entiende que los datos

homogéneos son especificaciones técnicas de concreto. Esto permitió conocer comparar las distintas partidas de construcción realizadas y el aporte de cada una de ellas.

Tabla 9: Data del proceso de construcción para la realización del ICV

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
CONCRETO PORTILLA										
fecha	Dest	Lugar	peso (t)	viajes	cubo	actividad	resistenci	eso / ct	eso concret	km
17/10/2019	CP	ArribaPeru	13.60	1.00	8.00	zapatas	210.00	2.40	19.20	7.60
31/10/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	10.00	solado	210.00	2.40	24.00	7.70
7/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	5.00	muro de contención	210.00	2.40	12.00	7.70
7/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	5.00	muro de contención	210.00	2.40	12.00	7.70
9/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	10.00	muro de contención	210.00	2.40	24.00	7.70
12/11/2019	CP	ArribaPeru	13.60	1.00	7.00	muro de contención	210.00	2.40	16.80	7.60
12/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	8.00	muro de contención	210.00	2.40	19.20	7.70
12/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	7.00	muro de contención	210.00	2.40	16.80	7.70
13/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	8.00	solado	210.00	2.40	19.20	7.70
13/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	8.00	solado	210.00	2.40	19.20	7.70
19/11/2019	CP	ArribaPeru	13.60	1.00	10.00	solado	210.00	2.40	24.00	7.60
19/11/2019	CP	ArribaPeru	13.60	1.00	6.00	solado	210.00	2.40	14.40	7.60
20/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	5.00	muro de contención	210.00	2.40	12.00	7.70
20/11/2019	CP	ArribaPeru	13.60	1.00	10.00	muro de contención	210.00	2.40	24.00	7.60
22/11/2019	CP	Guevara	13.60	1.00	6.00	muro de contención	210.00	2.40	14.40	8.10
22/11/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	8.00	muro de contención	210.00	2.40	19.20	7.70
11/12/2019	CP	Guevara	13.60	1.00	6.00	pavimento	210.00	2.40	14.40	8.10
11/12/2019	CP	Guevara	13.60	1.00	6.00	vereda	210.00	2.40	14.40	8.10
11/12/2019	CP	TupacAmaru	13.60	1.00	8.00	muro de contención	210.00	2.40	19.20	7.70
12/12/2019	CP	Guevara	13.60	1.00	6.00	vereda	210.00	2.40	14.40	8.10

Nota: Elaboración Propia.

Del mismo modo que para la maquinaria de transporte se realizó el conteo de viajes y horas de operación en cada uno de los frentes de trabajo para el cálculo correspondiente en toneladas x kilometros, tal como muestra la Tabla N°10

Tabla 10: Data Del Proceso Constructivo para su cálculo en Toneladas kilómetro.

RODILLO							
fecha	Destino	Lugar	HORAS	viajes	actividad	peso bruto	DISTANCIA
16/11/2019	AC	ArribaPeru	0.5	1	Apoyo con la Retroexcavadora	10.55	0.8
18/11/2019	AC	TupacAmaru	2.7	1	compactación de subrasante	10.55	0.35
19/11/2019	AC	ArribaPeru	6.6	1		10.55	0.8
20/11/2019	AC	TupacAmaru	1	1	compactación de subrasante, apoyo con la retroexcavadora	10.55	0.35
21/11/2019	AC	TupacAmaru	2	1	compactación de base, apoyo con la retroexcavadora	10.55	0.35
22/11/2019	AC	TupacAmaru	4.5	1	compactación de base	10.55	0.35
22/11/2019	AC	ArribaPeru	2	1	compactación de base	10.55	0.8
23/11/2019	AC	TupacAmaru	1.6	1	compactación de base	10.55	0.35
23/11/2019	AC	ArribaPeru	1	1	compactación de base	10.55	0.8
25/11/2019	AC	TupacAmaru	1.3	1	compactación de base	10.55	0.35
26/11/2019	AC	TupacAmaru	1	1	compactación de base	10.55	0.35

Nota: Elaboración Propia.

Datos Secundarios

Las fuentes secundarias se alimentaron de la plataforma PERULCA, el cual presenta información actualizada de los insumos utilizados en Perú. el cual se descargó la base de datos del cemento portland y cemento puzolánico a un 40% con una unidad funcional de 1 bolsa de 42.5 Kg la cual es la presentación estándar en el mercado peruano. En la tabla N°11 y N°12 se muestra los componentes implicados en una bolsa, de la cual se observa que, salvo la matriz de producción energética, los demás valores son un promedio, en el caso de la caliza, que es el componente predominante con alrededor el 80% de la masa contable, se utilizó datos promediados del resto del mundo, lo mismo para los combustibles fósiles. Asimismo, observamos que dentro de la producción se ha considerado un transporte realizado por un camión tipo EURO 3, el cual simula todos los recorridos realizados de los materiales hacia la planta. Otro detalle a considerar es que no se muestra importación vía marítima en el análisis, ello debido a que la mayoría de los insumos requeridos para la fabricación de la bolsa de cemento en el país se realiza vía terrestre.

Tabla 11: Base De Datos De Las Entradas Y Salidas Del Producto Cemento con Puzolana al 40%

SALIDA: CEMENT40% POZZOLAN PRODUCTION			
	42.5	KG	MASA
ENTRADAS	CANTIDAD	UND.	DISTRIBUCIÓN
Limestone, crushed, for mill {RoW} production APOS, U	33.68	Kg	Indefinido
Gypsum, mineral {GLO} market for APOS, U	1.28	Kg	Indefinido
Kraft paper, unbleached {RoW} production APOS, U	0.0893	Kg	Indefinido
Hard coal {RoW} market for APOS, U	3.34	Kg	Indefinido
Diesel {RoW} market for APOS, U	0.003344	Kg	Indefinido
Electricity, high voltage {PE} market for APOS, U	3.74	kWh	Indefinido
Cement factory {RoW} construction APOS, U	5.63 E-11	P	Indefinido
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 APOS, U	352.5	TKM	Indefinido
Emisiones al Aire	Cantidad	Ud.	Distribución
Carbon monoxide, fossil	0.043605	kg	Indefinido
Nitrogen oxides	0.0508725	kg	Indefinido
Dinitrogen monoxide	0.000269	kg	Indefinido
Carbon dioxide, fossil	21.62	kg	Indefinido
Particulates, < 2.5 um	0.0011623	Kg	Indefinido
Sulfur dioxide	0.0130815	Kg	Indefinido
Methane, fossil	0.0301	kg	Indefinido

Nota: (PELCAM, s.f.)

Tabla 12: Base De Datos De Entradas Y Salidas Del Producto Cemento Portland Comercial.

SALIDA: CEMENT PORTLAND PRODUCTION	42.5	KG	MASA
ENTRADAS	CANTIDAD	UND.	DISTRIBUCIÓN
Limestone, crushed, for mill {RoW} production APOS, U	63.33	Kg	Indefinido
Gypsum, mineral {GLO} market for APOS, U	2.13	Kg	Indefinido
Kraft paper, unbleached {RoW} production APOS, U	0.0893	Kg	Indefinido
Hard coal {RoW} market for APOS, U	1.25	Kg	Indefinido
Diesel {RoW} market for APOS, U	0.008359	Kg	Indefinido
Electricity, high voltage {PE} market for APOS, U	3.7	kWh	Indefinido
Cement factory {RoW} construction APOS, U	5.36E-11	P	Indefinido
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 {RER} transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 APOS, U	352.5	TKM	Indefinido
Emisiones al Aire	Cantidad	Ud.	Distribución
Carbon monoxide, fossil	0.06885	kg	Indefinido
Nitrogen oxides	0.080325	kg	Indefinido
Dinitrogen monoxide	0.000235	kg	Indefinido
Carbon dioxide, fossil	28.82	kg	Indefinido
Particulates, < 2.5 um	0.001836	Kg	Indefinido
Sulfur dioxide	0.020655	Kg	Indefinido
Methane, fossil	0.0228	kg	Indefinido

Nota: (PELCAM, s.f.)

Se ha realizado un énfasis en el cemento, ya que tal cual lo explica Huntzinger (2009), cerca del 5% de las emisiones globales de CO₂ provienen de su fabricación. Asimismo, debido a la limitante de data considerada en Latinoamérica, estas estimaciones podrían estar sobreestimadas. Sin embargo, cabe recalcar que en este estudio no se ha realizado un análisis de sensibilidad de la data, ya que no es el principal fin, aunque si cabe mencionar que el sesgo promedio según Vazques (2020), podría ser de alrededor un 40% de incertidumbre.

4.2. Resultados De La Elaboración Del Análisis Del Inventario De Ciclo De Vida

El Objetivo Principal: fue realizar un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para comprender el impacto ambiental de un proyecto de construcción específico en el distrito de Cayma, en la ciudad de Arequipa. El ACV es una herramienta utilizada para evaluar los aspectos ambientales y los impactos asociados con un producto, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de vida completo. En este caso, el estudio se centró en la obra municipal vial y peatonal en el distrito de Cayma. El objetivo fue determinar y medir las entradas energéticas y de materiales en todas las fases de construcción de la obra municipal. Al analizar las entradas y los impactos asociados, se pretendía determinar en qué actividad específica del sistema se generaba una mayor carga ambiental.

Herramienta de Cálculo de Impacto Ambiental: Para llevar a cabo el ACV, se utilizó el software SimaPro v.9 y la base de datos Ecoinvent. Estas herramientas son ampliamente utilizadas en estudios de ACV debido a su capacidad para reducir el tiempo de análisis, organizar los datos, realizar conversiones de unidades y generar gráficas que facilitan la comparación de los resultados. Uno de los aspectos que respalda la elección de SimaPro es su larga trayectoria y reconocimiento en la comunidad científica y empresarial. Durante décadas, SimaPro ha sido ampliamente utilizado y ha sido objeto de numerosos estudios y publicaciones revisadas como las Tesis de Larrea (2016) y Vazquez, et.al (2019), utilizan el software debido a la credibilidad de sus procesos mediante los estudios de investigación descritos. Se permitió una comparación efectiva entre diferentes sistemas y opciones. Esto es esencial para comprender y tomar decisiones informadas sobre las implicaciones ambientales de un proyecto de construcción y buscar formas de minimizar su impacto.

La Limitación Del Sistema: Como parte del estudio la delimitación es de puerta a la puerta, ya que considera solamente las etapas constructivas de casco(obras de concreto armado), lo cual dentro de esta se está considerando el transporte de los materiales desde su punto de venta hasta el almacén y el transporte de la maquinaria (mixers ,cargador frontal, compactadora, entre otros)hacia la obra, también se está considerando la producción del cemento y el transporte de este como producto en venta hacia la obra para tener datos más exactos, no se está considerando el mantenimiento de los equipos o maquinarias y residuos de procesos.

Cronología:

El tiempo de evaluación es de 5 meses el cual es el periodo en el cual se han desarrollado las distintas partidas consideradas en la construcción de las obras civiles municipales. El énfasis está centrado en los movimientos de tierra, muros de contención, obras de arte, pavimentos, señalización y seguridad vial.

a) **Hoja De Recolección De Datos Resumido**

En las siguientes tablas N°11, Tabla N° 13, Tabla N° 14, Tabla N° 15 se puede observar los cuadros resumen el cual consta de una exhaustiva recopilación de información organizada y realizada con los cálculos necesarios para hallar TKM de cada uno del transporte que realizo cada actividad de acuerdo a los procesos y el lugar de ubicación de los procesos constructivos que son 4: Pasaje Arriba Perú, Che Guevara, Pasaje Lenin y Jr. Tupac Amaru y el calculo de estos en TKM (toneladas x Km) en la tabla N° 16.

Tabla 13:Calculo Del Transporte Del Frente Constructivo Arriba Perú.

CONCRETO			
LUGAR	PROCESO	ELEMENTOS	TKM
ArribaPeru	muros de contención	zapatas	372.64
ArribaPeru	muros de contención	solado	555.84

ArribaPeru	muros de contención	muros de contención	574.08
ArribaPeru	obras de arte	vereda	714.72
ArribaPeru	pavimentación	pavimento	3659.84
ArribaPeru	graderías	gradas	45.76
MAQUINARIA			
LUGAR	MAQUINARIA	ACTIVIDAD	TKM
ArribaPeru	motonivelador	conformado base y batido	25.66
ArribaPeru	rodillo	compactación de subrasante	25.8475
ArribaPeru	cisterna	Transporte de Agua para riego de base	119.088
ArribaPeru	retroexcavadora	eliminación y excavación	54.32
ArribaPeru	retroexcavadora	apoyo en llevar materiales	32.592
Arriba Peru	volquete	Base Granular	295.2

Nota: Elaboración Propia

Tabla 14 Calculo Del Transporte Del Frente Constructivo Che Guevara.

CONCRETO			
LUGAR	PROCESOS	ELEMENTOS	TKM
guevara	Muros de contención	zapatas	21.6
guevara	muros de contención	solado	49.52
guevara	muros de contención	muros de contención	240.4
guevara	obras de arte	vereda	994.4
guevara	pavimentación	pavimento	569.52
guevara	graderías	gradas	161.56

guevara	jardineras	jardineras	18.96
MAQUINARIA			
LUGAR	MAQUINARIA	ELEMENTOS	TKM
guevara	retroexcavadora	eliminación y excavación	18.6725
guevara	volquete	eliminación de escombros	28.6

Nota: Elaboración Propia

Tabla 15: Calculo Del Transporte Del Frente Constructivo Lenin.

CONCRETO			
LUGAR	PROCESOS	ELEMENTOS	TKM
lenin	muros de contención	zapatas	121.52
lenin	muros de contención	solado	33.36
lenin	muros de contención	muros de contención	110.32
lenin	pavimentación	pavimento	84.32
lenin	graderías	gradas	86.08
MAQUINARIA			
LUGAR	MAQUINARIA	ACTIVIDAD	TKM
lenin	retroexcavadora	eliminación y excavación	4.074
lenin	retroexcavadora	apoyo en llevar materiales	12.222

Nota: Elaboración Propia

Tabla 16: Calculo Del Transporte Del Frente Constructivo Tupac Amaru.

CONCRETO			
LUGAR	PROCESOS	ELEMENTOS	TKM
Tupac Amaru	muros de contención	zapatatas	835.44
Tupac Amaru	muros de contención	solado	532.32
Tupac Amaru	muros de contención	muros de contención	1981.44
Tupac Amaru	obras de arte	vereda	2165.28
Tupac Amaru	pavimentación	pavimento	12363.84
Tupac Amaru	graderías	gradas	2283.84
Tupac Amaru	jardineras	jardineras	56.88
MAQUINARIA			
LUGAR	MAQUINARIA	ELEMENTOS	TKM
Tupac Amaru	motonivelador	conformado base y batido	53.133
Tupac Amaru	rodillo	compactación de subrasante	25.8475
Tupac Amaru	Cisterna	Transporte de Agua para riego de base	688.064
Tupac Amaru	retroexcavadora	eliminación y excavación	30.8945
Tupac Amaru	retroexcavadora	apoyo en llevar materiales	16.6355
Tupac Amaru	volquete	Base Granular	1640

Nota: Elaboración Propia

b) Datos relacionados con la Unidad Funcional

En la siguiente tabla N° 17 se muestra la clasificación de los materiales según la unidad funcional planteada. En el Anexo N°3 se puede observar de igual manera los materiales de construcción.

Aparte de los insumos tradicionales en el concreto armado, se está considerando el poliestireno utilizado en las juntas de dilatación presente, lo cual es importante en la sumatoria de las cargas ambientales presentes en el análisis. El comparativo resultante está percibido en el cambio del uso del cemento portland con el puzolánico, ya que en ambos el cambio en su proceso de producción radica en la clinkerización, el cual influye directamente en la emisión del kg de CO₂ equivalente con una UF de una bolsa de 42.5 kg de acuerdo al mercado.

Tabla 17: Ingreso De Materiales A La Obra Municipal De Acuerdo A La Información Generada Por El Área De Almacén.

INGRESO DE MATERIALES				
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD	UF	UNIDAD
Cemento Portland	73514.99	kg	26.444241	Kg/m ²
Acero	15282.6	Kg	0.7723	Kg/m ²
Base granular	300	M3	0.1262	M3/m ²
Tecnopor de 1"x1.20x2.4m	33	Und	0.20097842	
Piedra chancada ¾"	865	M3	0.0216	M3/m ²
Arena	594.92	M3	0.0622	M3/m ²
Agua	95	M3	0.0152	M3/m ²

Nota: Elaboración Propia

En la elaboración del inventario se van construyendo mediante subsistemas que se refieren a los procesos constructivos para formar un solo sistema conformado por procesos unitarios en el caso de estudio de la Panamericana como punto de comparación con este caso de estudio considera como parte de sus límites de sistema 3 etapas de ciclo de vida que son la construcción, mantenimiento y fin de vida en otro artículos mencionan desde la extracción de la materia prima, estos límites del sistema son considerados por cada autor de acuerdo a la cantidad de datos que poseen para poder tener un mejor análisis pero toma mucho más tiempo de conseguir y algunas concesionarias no otorgan toda la información solicitada.

c) Refinado del Límite del Sistema

En la Figura N°22 se observa la estructura del sistema planteada en el cual se muestra el especial énfasis en el cemento y en los procesos de transporte. Asimismo, se muestra los cuatro frentes de trabajo inmersos. Cabe resaltar que se usó las salidas presentadas en el IPCC, los cuales está estrechamente relacionado con las emisiones de CO2 equivalentes

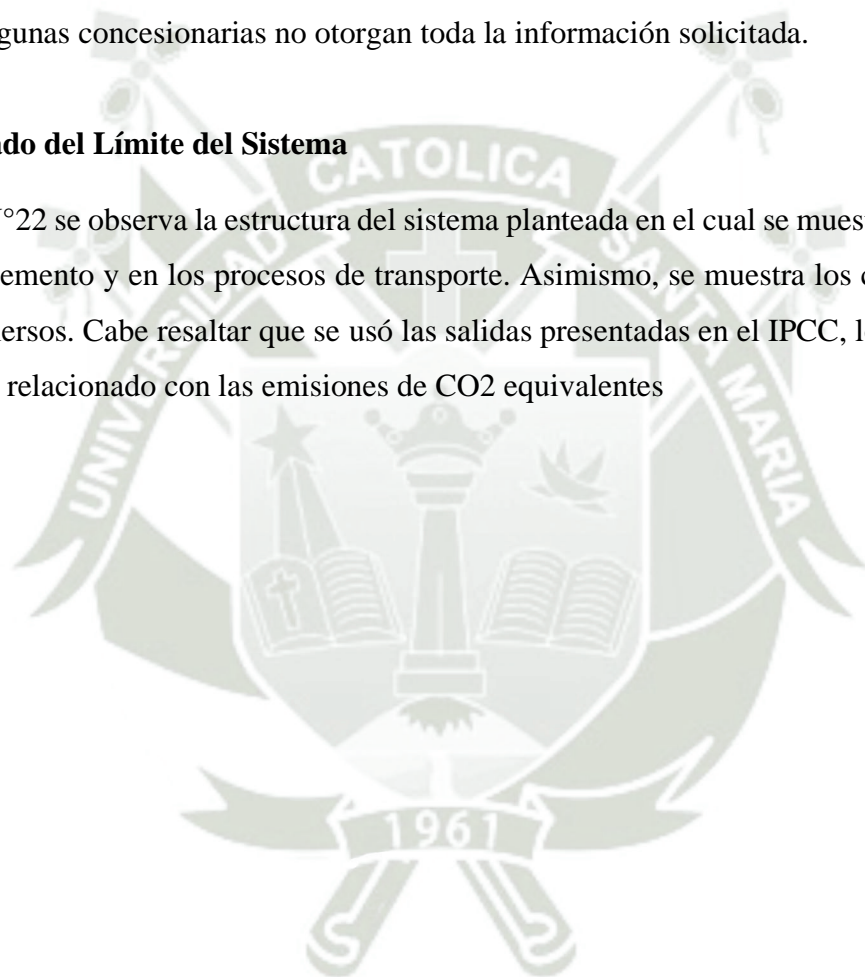
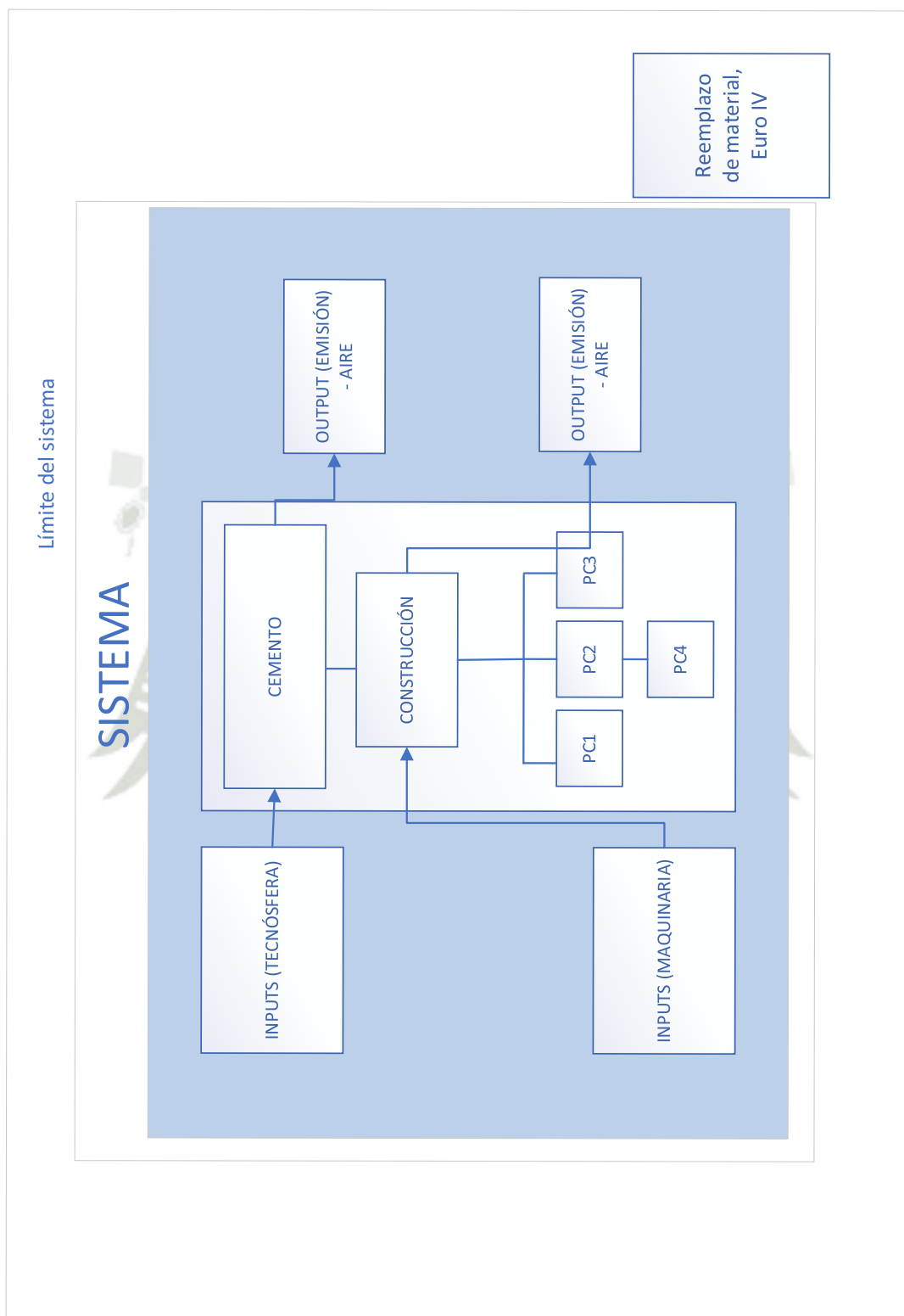


Figura N° 22: Sistema Completo Del Caso De Estudio De La Obra Municipal.



Nota: Elaboración Propia

d) Inventario Completo

Dentro del inventario completo colocado se observa las consideraciones explicadas con anterioridad en la comparación del cemento. Asimismo, se ha considerado los 4 frentes de trabajo estudiados. Se realizó un principal énfasis como se muestra en la tabla N°18. Se consideraron las cantidades homogéneas debido a que no se realizó ningún cambio ni sustitución de datos, los cambios se realizaron específicamente al material del cemento y los procesos constructivos.

Tabla 18: Inventario De Ciclo De Vida Completo De La Obra Municipal.

INVENTARIO FINAL					
Salida: Etapa de construcción	Cantidad	Unidad	Entradas	Cantidad	Unidad
1 M2			Etapa de construcción con límites del sistema.	1 M2	
Cement portland	26.4442	Kg	Cement 40% pozzolan	26.4442	Kg
Polystyrene foam slab {GLO} market for APOS, U	33	g	Polystyrene foam slab {GLO} market for APOS, U	33	g
Steel	0.7723	Kg	steel	0.7723	Kg
Base granular	0.1262	M3	Base granular	0.1262	M3
Sand {GLO} market for APOS, U	0.0622	M3	Sand {GLO} market for APOS, U	0.0622	M3

Tap water {RoW} market for APOS, U	0.0152	M3	Tap water {RoW} market for APOS, U	0.0152	M3
Gravel, crushed {RoW} production APOS, U	0.0215827	M3	Gravel, crushed {RoW} production APOS, U	0.0215827	M3
Arriba Peru	1	P	Arriba Peru	1	P
Guevara	1	P	Guevara	1	P
Lenin	1	P	Lenin	1	P
Tupac Amaru	1	P	Tupac Amaru	1	P

Nota: Elaboración Propia

Se recalca que en las fuentes de bases de datos, tienen un fundamento en base a sus impactos ambientales, tales como la selección de ambos tipos de cemento, el cual menciona la actividad con más impacto significativo que es la clinkerización, también como menciona Pérez & Cabeza (2017) que los esfuerzos de cada investigación se basan en primer lugar de acuerdo a una buena selección de materiales y productos desde el punto de vista medio ambiental, mediante la identificación de las fuentes de impacto ambiental más significativos de igual forma la identificación de los procesos de construcción, estos deben incluirse en el marco de la evaluación.

En base a los límites del sistema en este caso de estudio se usó el enfoque de la puerta a la puerta ya que solo se usó la fase de construcción y se modificaron 2 material que es el cemento y el tipo de NORMA EURO de III a IV como alternativa de reducción de carga ambiental, en comparación al estudio de Trunzo et al (2019) los autores modificaron el escenario convencional también y consideraron un aumento de volumen de tráfico en la carretera, el número de vehículos comerciales y pesados

, dicha modificación afecta a todas las fases examinadas hasta el fin de uso, este aumento de volumen del tráfico obligó a ajustar la composición del pavimento de la carretera, todos estos datos y reajustes de datos se realizan para obtener buenos resultados en la AICV. Cabe señalar que Harvey et al (2020) utiliza la fase de construcción como de mantenimiento, no recopiló información primaria, sino que recurrió a estudios previos, fuentes acreditadas, informes, normas, para incluir información desde la extracción de las materias primas y el transporte para llevar a cabo su inventario de ACV.

4.3. Resultados De La Evaluación De Impacto Ambiental

De los resultados obtenidos se obtuvo la siguiente Tabla N°19, el cual nos muestra un cuadro de doble entrada por actividades y por frente de trabajo. Es observa que la actividad con mayor incidencia calculada en el Software SimaPro con una unidad de medida de kgCO₂eq en relación al cambio climático como categoría de impacto IPCC 2013 GWP a 100^a, tiene como resultado que la actividad de pavimentación, el cual mantiene una relación con la principal actividad desarrollada en toda la obra municipal. Asimismo, tanto Arriba Perú (AP) como Tupac Amaru (TA) fueron los frentes de trabajos con mayores cargas ambientales como se muestra en la Figura N°23, la comparación de cargas ambientales con mayor incidencia en cada proceso constructivo, y se corrobora la información mencionada en la figura N°24.

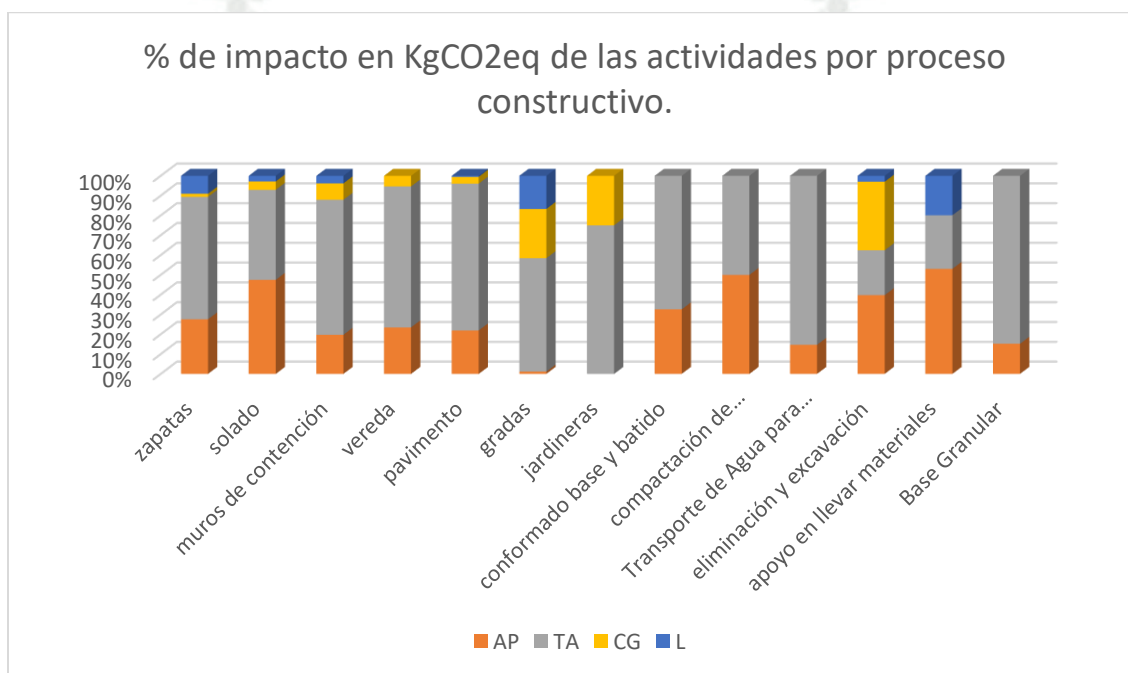
Tabla 19: Tabla De Cargas Ambientales Respecto A Las Actividades realizadas.

ACTIVIDADES	FRENTE CONSTRUCTIVOS				UNIDAD
	AP	TA	CG	L	
zapatas	64.3	144	3.73	21	KgCO ₂ eq
solado	95.9	91.8	8.54	5.75	KgCO ₂ eq
muros de contención	99	342	41.5	19	KgCO ₂ eq
vereda	123	373	27.9		KgCO ₂ eq
pavimento	631	2.13E+03	98.2	14.5	KgCO ₂ eq
gradas	7.98	394	171	115	KgCO ₂ eq
jardineras		9.81	3.27		KgCO ₂ eq
conformado base y batido	4.43	9.16			KgCO ₂ eq
compactación de subrasante	4.46	4.46			KgCO ₂ eq

Transporte de Agua para riego de base	20.5	119			KgCO2eq
eliminación y excavación	9.37	5.33	8.15	0.703	KgCO2eq
apoyo en llevar materiales	5.62	2.87		2.11	KgCO2eq
Base Granular	50.9	283			KgCO2eq

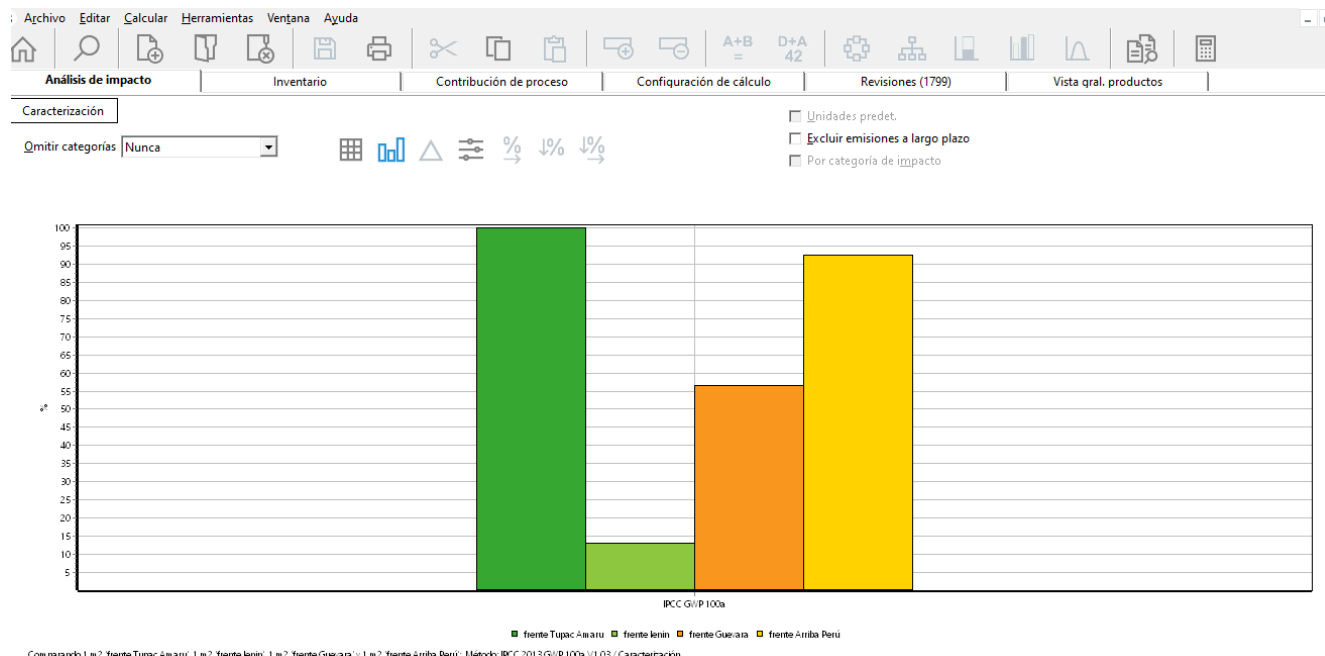
Nota: Elaboración Propia

Figura N° 23: Porcentaje De Impacto Ambiental De Las Actividades Por Proceso Constructivo.



Nota: Elaboración Propia

Figura N° 24: Grafica De Comparación De Los Procesos Constructivos Respecto A Sus Cargas Ambientales.



Nota:Elaboración Propia

En ACV para la evaluación de impactos ambientales se caracteriza de acuerdo a la herramienta utilizada como su data base, en este estudio se realizó netamente el uso del software SimpaPro y su base de datos Ecoinvent, como menciona Martínez-Rocamora et al (2016) que las bases de datos de Gabi y SimpaPro usan es Ecoinvent ya que se destacan por su integridad, facilidad de uso y sus recursos dedicados o confiables.

El método utilizado en dicho estudio fue de acuerdo a la categoría de impacto de cambio climático como única categoría de impacto para caracterizar el potencial de calentamiento global. (INHOBE, 2020) , y se calcula según IPCC 2013 a 100 años para construcción, en comparación de otros estudios como indica Harvey et al (2020) evaluó con el método de Recipe ya que posee una mayor cantidad de categorías de impacto clasificados en indicadores de medio punto y final, si se realizan ambos indicadores se obtiene un resultado más completo, pero este método se utiliza de acuerdo a diferentes estudios de investigación, con un mayor ingreso de información para que los resultados sean más certeros.

4.4. Resultados De La Comparación De Escenarios Propuesto Y Modificado Tomando En Cuenta Límites Del Sistema.

Se puede observar en la tabla N°18 la comparación de escenarios el cual se realizó una simulación de un nuevo escenario con límites del sistema lo que incluye el cambio de la norma Euro III a IV y el cambio de material de acuerdo a la Norma Euro III A IV Como Propuesta De Reducción De Emisiones De Gases De Efecto Invernadero. de cemento portland a 40% de puzolana, hay una disminución del 3% en las cargas ambientales en solo la etapa de construcción, si se contribuiría a un cambio de actividad o de proceso, se podría observar una mayor diferencia en estas cargas ambientales.

Tabla 20: Comparación De Escenario Convencional Y Modificado Con Límites Del Sistema.

	ESCENARIO CONVENCIONAL	ESCENARIO CON LÍMITE DE SISTEMA	UNIDAD
Cement	55.6	51.5	Kg CO2 eq
Polystyrene foam slab {GLO} market for APOS, U	0.133	0.133	Kg CO2 eq
Steel	1.55	1.55	Kg CO2 eq
Base granular	0.00577	1.58	Kg CO2 eq
Sand {GLO} market for APOS, U	0.00263	0.00263	Kg CO2 eq

Tap water {RoW} market for APOS, U	0.0000158	0.0000158	Kg CO2 eq
Gravel, crushed {RoW} production APOS, U	0.000176	0.000176	Kg CO2 eq
Arriba Peru	1120	1060	Kg CO2 eq
Guevara	363	345	Kg CO2 eq
Lenin	77.9	74.1	Kg CO2 eq
Tupac Amaru	3910	3720	Kg CO2 eq

Nota: Elaboración Propia

Como resultado final según la unidad funcional se muestra la tabla N° 21, en el cual se observa la diferencia entre utilizar vehículos con norma EURO III y EURO IV. La implementación de la norma EURO IV en el Perú se encuentra en vigencia desde 2018, A comparación de Chile, Argentina y Brasil, poseen la norma EURO V vigente, sin embargo, siendo la normativa más actualizada la EURO VI como menciona J.Miller;C.Braun (2020), la tecnología es más avanzada, debido a que la ingeniería mecánica se apega al lado ambiental, de mantenimiento y rendimiento, y que va de la mano con las leyes y principios ambientales internacionales.

Cabe resaltar que los valores encontrados en el proceso constructivo del pasaje Lenin son los más bajos respecto a los otros frentes ello debido a la menor cantidad de actividades realizadas respecto a los otros como se muestra en la Figura N°25 una comparación que actividad impacto más en diferente proceso constructivo. En adición a ello, y en comparación con los estudios parecidos sobre trabajos de pavimentos, la unidad funcional más utilizada son las millas (o kilómetros). Sin embargo, esta unidad esta más orientada al estudio del uso de la carretera como lo muestran los análisis explicados por Carlson, (2016)y es distinto a los frentes estudiados, en los

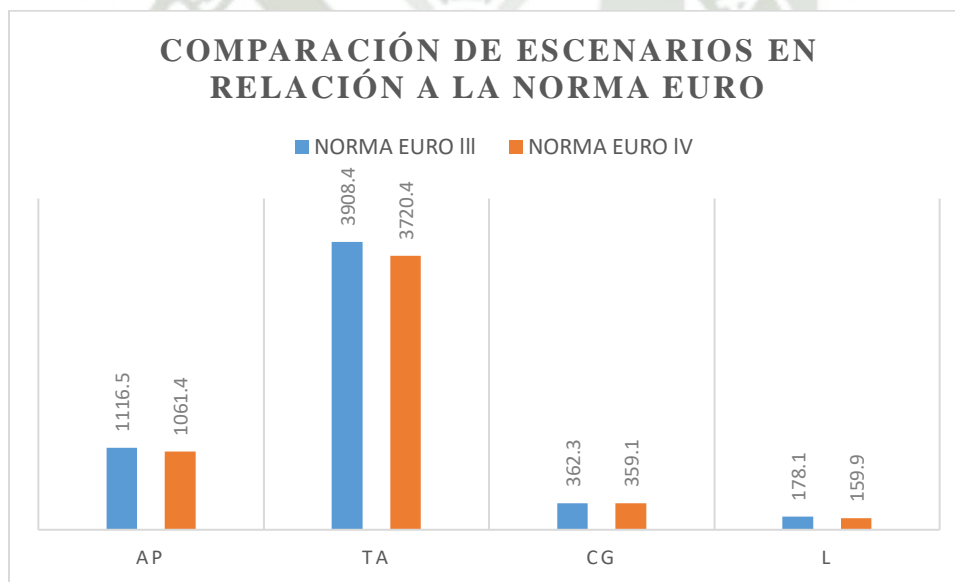
cuales lo más resaltante las actividades complementarias tales como escaleras, muros de contención.

Tabla 21: Cargas Ambientales De Los Procesos Constructivos Según La Norma EURO.

	EURO III	EURO IV	UNIDAD	Categoría de impacto
Arriba Peru	2.25	2.23	KGCO2EQ	IPCC 2013 GWP 100A
Guevara	1.37	1.36	KGCO2EQ	IPCC 2013 GWP 100A
Lenin	0.319	0.31	KGCO2EQ	IPCC 2013 GWP 100A
Tupac Amaru	2.44	2.39	KGCO2EQ	IPCC 2013 GWP 100A
total	6.379	6.29	KGCO2EQ	IPCC 2013 GWP 100A

Nota: elaboración propia

Figura N° 25: Grafica de barras de la comparación de escenarios.



Nota: Elaboración Propia

Se mostro que realizando la simulación con una norma de Euro IV se nota una ligera disminución en las cargas ambientales en todas las partidas analizadas y en los frentes. Ello era lo esperado, sin embargo, no se realizó una diferencia mayor al 5%.

Realizando una comparación entre las unidades funcionales atribuidas en otros estudios como el de Smith & Durham (2016) y Larrea-Gallegos et al (2017), el análisis de ciclo de vida (ACV) se revela como una herramienta fundamental para la evaluación de pavimentos flexibles y

rígidos desde una perspectiva ambiental. Al adoptar la unidad funcional de kilogramos de CO₂ equivalentes, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el IPCC GWP 2013, hemos podido cuantificar y comparar con mayor precisión las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con ambos tipos de pavimentos a lo largo de su ciclo de vida completo.

Nuestros resultados muestran claramente que los pavimentos flexibles presentan una menor huella de carbono en comparación con los pavimentos rígidos. Esta diferencia se debe, en gran medida, a las emisiones significativamente más altas asociadas con la producción y transporte del cemento utilizado en los pavimentos rígidos. Al considerar las etapas de construcción, mantenimiento y demolición, los pavimentos flexibles emergen como una opción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos realizados por investigadores líderes en el campo. Como en la investigación de Smith & Durham (2016) demostraron que los pavimentos flexibles presentan una reducción del 30% en las emisiones de CO₂ equivalentes en comparación con los pavimentos rígidos en una vida útil de 50 años. Además, los resultados corroboran esta afirmación al identificar que los pavimentos flexibles tienen una ventaja ambiental significativa en términos de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los pavimentos rígidos.

4.5. Discusión

Los resultados numéricos obtenidos, permitieron analizar y comprender los impactos ambientales de dos escenarios un propuesto y el otro modificado durante su tiempo de vida útil de 100 años el cual en otros estudios de carreteras su tiempo de vida útil varía entre 30 a 100 años como el estudio de Trunzo et al (2019) y Carlson (2011) usan un periodo de 60 años y 30 años correspondientemente. Esta metodología establecida nos permite analizar diferentes proyectos viales y facilitar afirmaciones comparativas basadas en el conocimiento, Es por eso que los resultados del ACV son cuantitativos, De acuerdo a la literatura obtenida, se observa más detenidamente las fases del sistema como: el mantenimiento, construcción y fin de uso, ya que de esta limitación depende el tipo de enfoque del estudio y puede limitarse desde la cuna a la puerta como Smith & Durham (2016) en su estudio de investigación.

Como resultado de los estudios preliminares, la alienación del proyecto vial y peatonal y el diseño se analiza cada actividad realizada con datos reales, tiene una asimilación a la problemática actual de acuerdo ya que el Distrito de Cayma cuenta con 3 zonas: Residencial, tradicional y Alto Cayma, se puede discutir que de acuerdo a la topografía de Alto Cayma que es una zona de pendiente se acerca mucho a la realidad de la ejecución de los proyectos viales y peatonales del país y que este influye a su vez el comportamiento de las maquinarias pesadas debido a que hacen un mayor esfuerzo en las actividades generando así mayor cargas ambientales por la combustión. De acuerdo a procesos constructivos (frentes) se realiza un análisis exhaustivo de cada uno de ellos para interpretar su impacto en el medio ambiente y en el marco de sostenibilidad, esta investigación confirmó la eficacia del reemplazo del cemento y de la mejora de la implementación de la norma EURO IV utilizando la herramienta de gestión ambiental ACV como medidas de reducción de emisiones de CO₂ en relación al cambio climático. Otros estudios como el de Monteiro et al (2022b) muestra una mejora en su sistema aplicando un enfoque de decisión multicriterio el cual, incorporando no solo el aspecto ambiental sino social y económico, también en dicho estudio incorpora materiales reciclados como medida de reducción de CO₂ de este en más de un 38%. Esta toma de decisiones son la etapa final de la metodología ISO 14044 se enfoca en la solución de diferentes problemáticas en relación al impacto del medio ambiente.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

PRIMERA. Se Recolecto la información preliminar o el diagnostico situacional de la Obra Municipal peatonal y vial IV etapa en Upis Dean Valdivia- Cayma- Arequipa, donde se concluye que los datos primarios y secundarios permite limitar el caso de estudio, los datos secundarios es una base de datos de la página web de PERULCA que son datos de la cementera de la región de Arequipa exclusivamente para fines de esta investigación.

SEGUNDA. Se concluye que los procesos constructivos el inventario de ciclo de vida en la etapa de construcción requiere colaboración entre diferentes partes involucradas en el proyecto y el acceso a datos precisos para determinar que los procesos constructivos de Tupac Amaru y Arriba Perú posee mayor ingreso de datos de transporte debido a que se realizaron en más área la actividad de pavimentación el cual se obtuvo un total de 12363.84 TKM y 3659.84 TKM respectivamente en comparación de los otros procesos constructivos, el cemento en el inventario final es un dato importante debido a que se obtuvo en toda la obra un total de 73514.99 kg siendo el material con más relevancia.

TERCERA. Se evaluó cada proceso según la metodología de la ISO 14044 (2006). El análisis de Ciclo de Vida del proceso de construcción de acuerdo a la unidad funcional de 1m², se realizaron los cálculos respectivos a las unidades que el programa SimaPro nos pide que es en TKM para todo el transporte, se concluye que los resultados de Tupac Amaru posee mayor carga ambiental debido a su área (m²) y mayor actividad de la maquinaria pesada representando un 70% de impacto en KgCO₂eq y el 20% el procesos constructivo de Arriba Perú en relación a los otros procesos, se puede concluir que la carga ambiental total de la obra municipal fue de 5565.2 KgCO₂eq.

CUARTA. Se afirma que la comparación de escenarios, en el cambio de material del cemento; El cemento Portland representa una carga ambiental mayor de acuerdo a la Norma Euro 3, aproximadamente al 4 KgCO₂eq mayor en impacto ambiental respecto al cemento puzolánico en un 40% de acuerdo a la Norma Euro IV según la categoría de impacto de cambio climático IPCC2013 GWP100A, los resultados de la maquinaria pesada respecto a los procesos constructivos respecto a la norma EURO III al EURO IV se observa un incremento del 3% del total teniendo con mayor aporte el proceso de Tupac Amaru con 3908.4 KgCO₂eq debido a que posee mayor actividad a comparación de los otros procesos, en la comparación de escenarios se

analiza en conjunto que el escenario con límites del sistema y el convencional posee una diferencia de carga ambiental en 274.33 KgCO₂, concluyendo así que si hay una reducción de impacto ambiental en relación al cambio climático en el caso de estudio mencionado.



5.2. Recomendaciones

- El software de SimaPro V 9 sea una alternativa adecuada para futuras investigaciones de ACV ya que posee una base de datos bastante extensa y diferentes categorías de impacto que podrían contribuir positivamente a largo plazo.
- Extender la base de datos del inventario de Ciclo de Vida, incluyendo más un enfoque de la cuna a la cuna o de la cuna a la puerta, que se enfoque desde la extracción de materiales hasta su fin de vida, para una mejor precisión de datos y resultados.
- contribuir a la disminución de GEI, utilizando como referencia la meta nacional frente a la Agenda 2030, que se encuentra en el catálogo de medidas de mitigación de Gases de Efecto Invernadero.
- Como estrategias de reducción de gases de efecto invernadero es recomendable utilizar esta metodología de análisis de ciclo de vida para una evaluación más completa del impacto ambiental de los demás gases emitidos por el sector transporte como Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono, Hidrocarburos, entre otros, y poder establecer medidas preventivas y correctivas: como mantenimiento adecuado y cambio de maquinarias antiguas a nuevas que pertenezcan a la norma Euro IV.
- Realizar la comparación de escenarios con nuevos materiales ya sean reciclados o reutilizables como una alternativa más respetuosa con el medio ambiente y que los encargados de la toma de decisiones en infraestructuras viales y profesionales del sector podrán utilizar estos resultados para fomentar prácticas más sostenibles y contribuir al desarrollo de un futuro más ecoeficiente en la industria de la construcción.



6. REFERENCIAS

Abdelmelek, M., & Ghandour, S. El. (2022). Mitigating the Impact of Climate Change on Egyptian Cities : Sustainable Building and Construction as a Strategy. *Papers, Posters, and Presentations. 106. AUC Knowledge Fountain, December.*

Alamgir, M., Campbell, M. J., Sloan, S., Goosem, M., Clements, G. R., Mahmoud, M. I., & Laurance, W. F. (2017). Economic, Socio-Political and Environmental Risks of Road Development in the Tropics. In *Current Biology* (Vol. 27, Issue 20, pp. R1130–R1140). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.08.067>

AzariJafari, H., Yahia, A., & Amor, B. (2018). Assessing the individual and combined effects of uncertainty and variability sources in comparative LCA of pavements. *International Journal of Life Cycle Assessment, 23*(9), 1888–1902. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1400-1>

Carlson, A. (2011). *Life cycle assessment of roads and pavements Studies made in Europe.* www.vti.se/publications

Carlson, A. (2016). *Life cycle assessment of roads and pavements Studies made in Europe.* www.vti.se/publications

Castellano, J., Castellano, D., Ribera, A., & Ciurana, J. (2014). Development of a scale of building construction systems according to CO2 emissions in the use stage of their life cycle. *Building and Environment, 82*, 618–627. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.016>

Cays, J. (2021). An Environmental Life Cycle Approach to Design. In *An Environmental Life Cycle Approach to Design.* <https://doi.org/10.1007/978-3-030-63802-3>

D.L N°1078. Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. (2017).

DLeg-1078.

D.S. N° 057-2004-PCM. Aprueban disposiciones para la elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INFOCARBONO). (2004). Decreto Supremo N° 057-2004-PCM. *El Peruano*, Ley N° 273, 55.

<http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>

Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Informacion Tecnologica*, 23(1), 163–176.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>

Fleming, R. J. (2020). The Rise and Fall of the Carbon Dioxide Theory of Climate Change.

In *The Rise and Fall of the Carbon Dioxide Theory of Climate Change*.

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-16880-3>

GTM-NDC. (2018). *Informe Final sobre la información técnica para la implementación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas*. 1–10.

Güereca, L. P., Carius, C., & Padilla, A. (2016). *Evaluación de la Huella de Carbono con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida para 12 Sistemas Constructivos. Reporte Final*. 111.

Harvey, J., Al-Qadi, I. L., Ozer, H., & Lca, G. F. (2020). *Pavement, Roadway, and Bridge Life Cycle Assessment 2020; First Edition*.

IHOBE, factor C. (2013). 7 Metodologías para el calculo de emisiones de gases de efecto invernadero. In *Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial Gobierno Vasco*.

INHOBE. (2020). *MÉTODOS DE HUELLA AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y SERVICIOS*. www.ihobe.eus

IPCC. (2019). Calentamiento Global de 1,5 °C. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

ISO 14040. (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework (c). *Environmental Management System Requirements*, 44(0).

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007>

J.Miller;C.Braun. (2020). *Las normas Euro VI sobre emisiones en vehículos pesados en Argentina*.

Košir, M. (2019). Climate Adaptability of Buildings: Bioclimatic Design in the Light of Climate Change. In *Climate Adaptability of Buildings: Bioclimatic Design in the Light of Climate Change*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18456-8>

Larrea-Gallegos, G., Vázquez-Rowe, I., & Gallice, G. (2017). Life cycle assessment of the construction of an unpaved road in an undisturbed tropical rainforest area in the vicinity of Manu National Park, Peru. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(7), 1109–1124. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1221-7>

Ley N°28611 Ley General del Ambiente. (2005). *Ley N°28611 Ley General del Ambiente*.

Lizana Moral, F.J.; Serrano Jiménez, A.J.; Vilches Such, A.; Barrios Padura, A.; Molina

Huelva, M. (2015). *Life-cycle assessment and prefabrication, valuation of the environmental performance un differemnt iindustrialized systems in the building sector*.

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J., & Marrero, M. (2016a). LCA databases focused on construction materials: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.243>

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J., & Marrero, M. (2016b). LCA databases focused on construction materials: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 58, pp. 565–573). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.243>

Mazri, C., Ventura, A., Jullien, A., & Bouyssou, D. (2004). *Life Cycle Analysis and Decision Aiding: An example for roads evaluation*. May 2014, 1–11.

MINAM. (2016). El Perú y el Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional del Perú. *Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático*, 662.

MINAM. (2019). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2014 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010 y 2012*. 317.

Ley N° 30754. Ley Marco sobre Cambio Climático. (2018). Ley N° 30754. Ley Marco sobre Cambio Climático. In *Diario Oficial "El Peruano"* (Issues 1638161–1, pp. 3–9).

Monteiro, H., Ribeiro, I., Gonçalves, M., Iten, M., & Caetano, N. S. (2022a). Life cycle energy and carbon analysis of a road-safety barrier produced using recycled tire rubber. *Energy Reports*, 8(February), 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.038>

Monteiro, H., Ribeiro, I., Gonçalves, M., Iten, M., & Caetano, N. S. (2022b). Life cycle energy and carbon analysis of a road-safety barrier produced using recycled tire rubber. *Energy Reports*, 8, 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.038>

Pérez, G., & Cabeza, L. F. (2017a). Buildings Life Cycle Assessment. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 2, 275–290. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10194-0>

Pérez, G., & Cabeza, L. F. (2017b). Buildings Life Cycle Assessment. In *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (pp. 275–290). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10194-0>

Ramos, G. C. (2003). *Climate change sensitive cities* (Issue 1).

Sanes, A. (2012). El Análisis De Ciclo De Vida (ACV) en el desarrollo sostenible: Propuesta Metodológica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos. *Universidad Nacional de Colombia [Tesis de Maestría]*, 106.

Simonen, K., Huang, M., Rodriguez, B. X., & Todaro, L. (2018). *Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide Project Team Kathrina Simonen Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide*. 33.

www.carbonleadershipforum.orghttp://hdl.handle.net/1773/41885

Smith, S. H., & Durham, S. A. (2016). A cradle to gate LCA framework for emissions and energy reduction in concrete pavement mixture design. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(1), 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.01.001>

Trunzo, G., Moretti, L., & D'Andrea, A. (2019a). Life cycle analysis of road construction and use. *Sustainability (Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/su11020377>

Trunzo, G., Moretti, L., & D'Andrea, A. (2019b). Life cycle analysis of road construction and use. *Sustainability (Switzerland)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/su11020377>

- Trunzo, G., Moretti, L., & D'Andrea, A. (2019c). Life cycle analysis of road construction and use. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(2). <https://doi.org/10.3390/su11020377>
- Unidas, N. (2020). Los objetivos de desarrollo sostenible. *Los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv14t4706>
- Urbiztondo, L., & Mirada, G. (2016). Preguntas y respuestas. *MINAM*, *17*(1), 27–29. <https://doi.org/10.1016/j.vacun.2016.03.004>
- Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Larrea-Gallegos, G., & Ziegler-Rodriguez, K. (2019). Peru's road to climate action: Are we on the right path? The role of life cycle methods to improve Peruvian national contributions. *Science of the Total Environment*, *659*, 249–266. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.322>
- Vázquez-Rowe, I., Reyna, J. L., García-Torres, S., & Kahhat, R. (2015). Is climate change-centrism an optimal policy making strategy to set national electricity mixes? *Applied Energy*, *159*, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.121>
- Vázquez-Rowe, I., Ziegler-Rodriguez, K., Laso, J., Quispe, I., Aldaco, R., & Kahhat, R. (2019). Production of cement in Peru: Understanding carbon-related environmental impacts and their policy implications. *Resources, Conservation and Recycling*, *142*(September 2018), 283–292. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.017>
- Verán-Leigh, D., Larrea-Gallegos, G., & Vázquez-Rowe, I. (2019). Environmental impacts of a highly congested section of the Pan-American highway in Peru using life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *24*(8), 1496–1514. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1574-1>

Wyman, O., Schultz, S., Hammer, S., Varbeva-daley, M., Corfee-morlot, J., Lynch, M., Borgström-hansson, C., Lockhart, I., & Rodrigues, S. (2018). *Global Protocol for Gas Emission Inventories*.

Yuliatti, M. M. E., Husin, A. E., & Sutikno. (2022). Improved Performance of Toll Road Projects Based on System Dynamics Integrated Life Cycle Cost Analysis Green Retrofitting. *Civil Engineering and Architecture*, 10(6), 2713–2730.

<https://doi.org/10.13189/cea.2022.100635>





7. Anexos

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS

ANEXO N°01: Identificación del terreno in-situ

Puntos De Ubicación De Los Frentes Constructivos A Estudiar.



Observación In Situ Del Proyecto Municipal Estudiado



Anexo N° 2: Partes diarios de la maquinaria pesada utilizada en la obra Municipal.

SOIL & GEOTECNIA INGENIEROS E.I.R.L.
 NE. UNION 2N. A. MZA. 13 LOTE 5-E. PACHACUTEC
 CERRO COLORADO - AREQUIPA - AREQUIPA RUC: 20001838463
 Cel: 98118762

PARTE DIARIO N° 001534

Máquina: Alimentador Modelo: AL-11-35 Placa: 141112
 Operador: José Luis Pizarro Quiroga
 Solicitante: _____
 Obra: Carretera Don Villalba Fecha: 15/10/19

HORA DE INGRESO	HORA DE SALIDA	HORA DE SALIDA
<u>7:00</u>	<u>16:30</u>	
<u>12:17</u>	<u>12:33</u>	<u>60</u>

CONSUMO	CANT.	OBSERVACIONES
Petróleo	✓	
Gasolina	-	
Otros	-	
Acete Motor	✓	
Acete Transmisión	✓	
Grasa	✓	
Otros	-	

Avance Diario (Imprescindible)

Presencia de un tractor en la zona de obra
Se realizó 2 viajes de 36 cubos para Arequipa
Se realizó 1 viaje de 20 cubos para Arequipa

OPERADOR: _____ ING. RESERVA: _____ CONTROLADOR: _____

D'MAREN
 TRANSPORTES Y CONSTRUCCIONES
 Magda Karina Sarvo Cabrera
 RUC: 1020608841

TRANSPORTE DE MATERIALES DE CONSTRUCCION
 ALQUILER DE MAQUINARIAS
 MOVIMIENTO DE TIERRAS
 URB. JUAN EL BUENO MZ. B. CT 1 - AREQUIPA
 942639062 RPM: 9947379382

VALE DE MATERIAL RECIBIDO N° 009709

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1	Arena Fina		
2	Arena gruesa		
3	Armado		
4	Cascoteo		
5	Piedra para Cementación		
6	Piedra Meñada		
7	Piedra para Piso		
8	Piedra Chancada 3/8"		
9	Piedra Chancada 1/2"		
10	Piedra Chancada 3/4"	<u>15</u>	<u>m³</u>
11	Piedra Chancada 1"		
12	Tierra de Chacra		
13	Material Base		
14	Hormigon		
15	Eliminación		
16			
17			

Vehículo Placa N° S3W 739 Obra: Don Villalba
 Nombre Operador: Don Villalba Dirección: Carretera
 Nombre del Responsable: Don Villalba

Fecha: 17/10/2019 Hora: 12:30 pm

Firma del Operador: _____ Firma del Responsable: _____

Anexo N° 3: Ingreso de Materiales al almacén.



Anexo N° 4 Frentes Constructivos Che guegavara lado derecho e izquierdo



Anexo N° 5: Frente Constructivo Jiron Tupac Amaru



Anexo N° 6: Frente Constructivo Pasaje Lenin

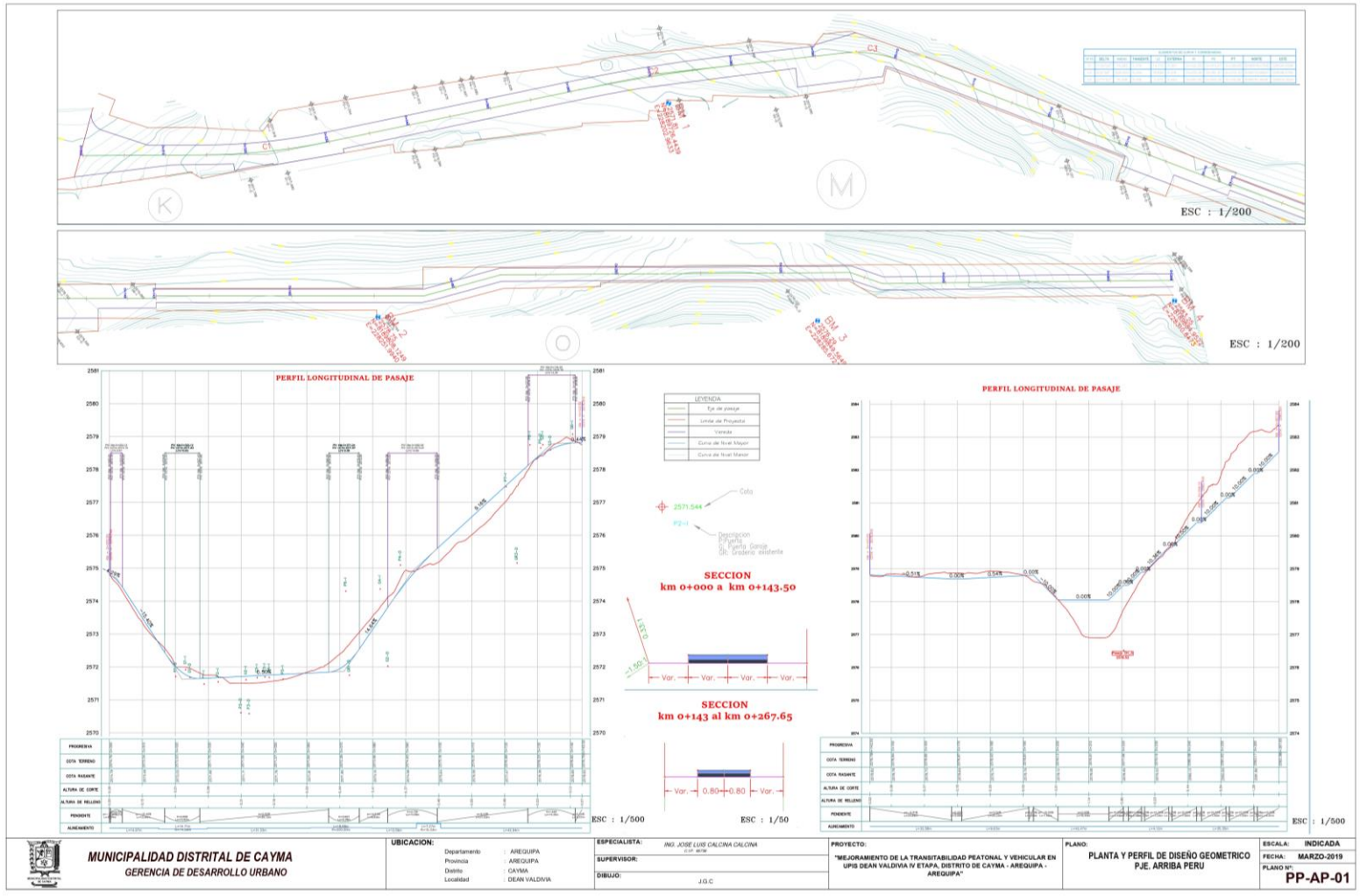


Anexo N° 7: Frente Constructivo Pasaje Arriba Perú.

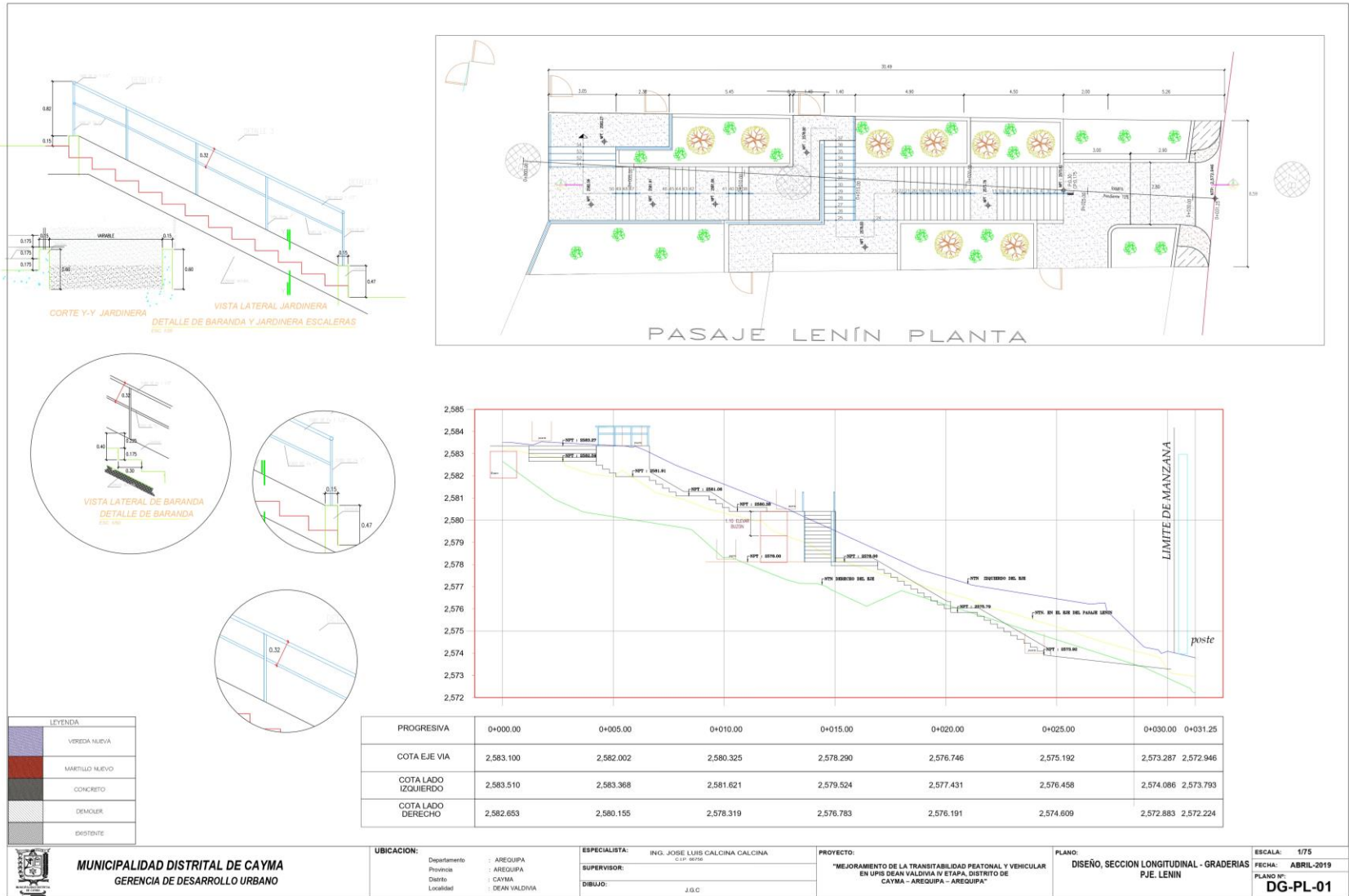


Anexo N° 8: Planos de la Obra

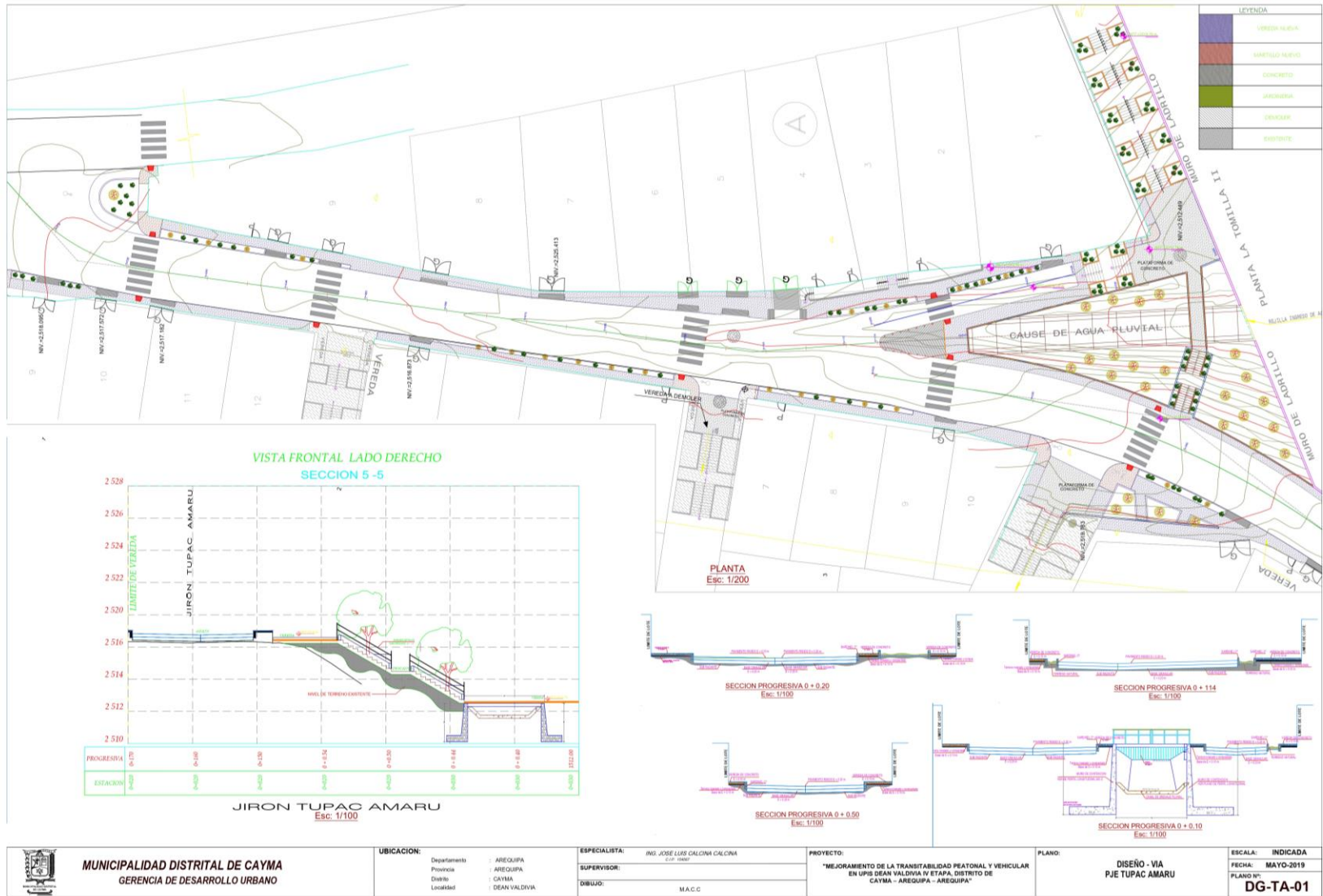
Plano Del Frente Constructivo De Arriba Perú



Plano del Frontes Constructivos de los Pasajes Lenin y Che Guevara



Plano del Frente Constructivo Jiron Tupac Amaru



 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CAYMA GERENCIA DE DESARROLLO URBANO	UBICACION: Departamento : AREQUIPA Provincia : AREQUIPA Distrito : CAYMA Localidad : DEAN VALDIVIA	ESPECIALISTA: ING. JOSE LUIS CALCINA CALCINA C.I.P. 19887	PROYECTO: "MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD PEATONAL Y VEHICULAR EN URB DEAN VALDIVIA Y ETAPA DISTRITO DE CAYMA - AREQUIPA - AREQUIPA"	PLANO: DISEÑO - VIA PJE TUPAC AMARU	ESCALA: INDICADA FECHA: MAYO-2019 PLANO Nº: DG-TA-01
		SUPERVISOR:			