

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL PROYECTO DE
CONSTRUCCIÓN DE UN TALLER DE CAMIONES EN UNA
UNIDAD MINERA DEL DEPARTAMENTO DE ICA**

Tesis para obtener el título profesional de **Ingeniero Civil**

AUTOR:

Omar Fernando Chávez Parra

ASESOR:

Ian Vázquez Rowe, PhD

Lima, noviembre de 2021

Resumen

La minería es la segunda actividad económica en Perú, ocupando el segundo lugar en producción de cobre, plata y zinc a nivel mundial, lo que refleja un inmenso potencial geológico, con unidades mineras de importante impacto mundial. La región de Ica es una de las regiones que tiene mayor inversión minera, generando grandes beneficios económicos y sociales, por lo que requiere una infraestructura acorde a dicho fin. Sin embargo, esta actividad genera un gran impacto ambiental dentro de la zona de ejecución durante todo su ciclo de vida, debido a varios factores como el uso de una gran cantidad de recursos naturales y energéticos, movimiento de tierras, destrucción de hábitats naturales, afectación de la calidad de vida de las comunidades cercanas, que debe de ser analizado, con una visión más amplia y profunda que la exigida por la normativa peruana. Por lo tanto, para el presente estudio se busca aplicar la herramienta de gestión ambiental conocida como Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que permite cuantificar los impactos ambientales de nuestro caso de estudio, que es la construcción de un taller de camiones, también conocido como *Truckshop*, dentro de una unidad minera en la región de Ica. La unidad funcional utilizada para este caso de estudio es 1 metro cuadrado (1 m^2) de construcción. Para el inventario de ciclo de vida se reunió información de manera directa por parte de la empresa contratista, y se utilizó la metodología de cálculo ReCiPe 2016 para las categorías de impacto, como calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, radiación ionizante, formación de partículas finas, formación de ozono, acidificación terrestres, eutrofización, ecotoxicidad terrestres y marina, toxicidad cancerígena y no cancerígena, escases de recursos minerales, escasez de recursos fósiles y consumo de agua.

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es la herramienta que la normativa peruana exige para todos los proyectos de inversión que pueden generar impactos negativos de carácter significativo, con el fin de analizar, medir y prevenir los efectos de su realización, indicando las medidas de prevención de la contaminación, usando diversas metodologías. Sin embargo, se encontró tres diferencias obtenidas con respecto al resultado obtenido en un ACV: los resultados se expresan de forma cualitativa, basándose principalmente en opiniones de expertos; solo analiza los impactos producidos exclusivamente por las actividades del proyecto de construcción; se

expresan para todo el proyecto y no para una Unidad Funcional, y por último es que los términos de referencia dependen del criterio de evaluación de las autoridades pertinentes.

Los resultados obtenidos reflejan un gran costo ambiental durante todo el ciclo de vida del proyecto para la zona donde se ejecutó, y tienen coherencia con la magnitud del mismo. En lo que se refiere a cambio climático se liberaron 8.13 ton de CO₂ equivalente por m² de construcción, producto de los efectos diversos del ciclo de vida del *Truckshop*. Cerca del 89% se encuentra en la etapa de uso, por los materiales y la energía eléctrica necesarios para su uso y mantenimiento; un 10.2% en la etapa de construcción y la diferencia en la etapa de fin de vida. Para las otras categorías de impacto se observa una predominancia en la etapa de uso, debido a todo el tiempo de vida útil que tiene la edificación de acuerdo al diseño especificado.

Los resultados obtenidos deben de servir como una herramienta de optimización de procesos constructivos con el objetivo de reducir los niveles de impacto ambiental, mejorando técnicas y con un proceso de mejora continua. El tema ambiental es muchas veces mermado por los intereses económicos, por lo que se sugiere que exista un proceso de concientización sobre las consecuencias generadas al medio ambiente.

Abstract

Mining is the second largest economic activity in Peru, ranking second in copper, silver and zinc production worldwide, which reflects an immense geological potential, with mining units of significant global impact. The region of Ica is one of the regions with the greatest mining investment, generating great economic and social benefits, and therefore requires an infrastructure in line with this purpose. However, this activity generates a great environmental impact within the area of execution, because it uses a large amount of natural and energy resources throughout its life cycle, which must be analyzed with a broader and deeper vision than that required by Peruvian regulations. Therefore, for the present study we seek to apply the environmental management tool known as Life Cycle Analysis (LCA), which allows us to quantify the environmental impacts of our case study, which is the construction of a truck workshop within a mining unit in the region of Ica. The functional unit used for this case study is 1 square meter (1 m^2) of construction. For the life cycle inventory, information was collected directly from the contractor company, and the ReCiPe 2016 calculation methodology was used for the impact categories, such as global warming, stratospheric ozone depletion, ionizing radiation, fine particulate matter formation, ozone formation, terrestrial acidification, eutrophication, terrestrial and marine ecotoxicity, human carcinogenic and non- carcinogenic toxicity, land use, mineral resource scarcity, fossil resource scarcity and water consumption

The results obtained reflect a large environmental cost for the area where it was executed, and are consistent with the magnitude of the construction project on which it was based. In terms of climate change, 10.47 tons of CO₂ equivalent per m² of construction were released as a result of the various life-cycle effects of the truck shop. Nearly 89% is found in the use stage, due to the materials and electrical energy required for its use and maintenance; 10.2% in the construction stage and the difference in the end-of-life stage. For the other impact categories, a predominance is observed in the use stage, due to the useful life of the building according to the specified design.

The Environmental Impact Assessment (EIA) is the tool required by Peruvian regulations for all investment projects that may generate significant negative impacts, in order to analyze, measure and prevent the effects of their implementation, indicating pollution prevention measures, using various methodologies. However, three differences were found with respect to the results

obtained from an LCA: the results are expressed qualitatively, based mainly on expert opinions; it only analyzes the impacts produced exclusively by the activities of the construction project; and lastly, the terms of reference depend on the evaluation criteria of the relevant authorities.

The results obtained should serve as a tool for the optimization of construction processes with the objective of reducing the levels of environmental impact, improving techniques and with a process of continuous improvement. The environmental issue is often diminished by economic interests, so it is suggested that there is a process of awareness of the consequences generated to the environment.



Agradecimientos

Primeramente, agradezco a mi familia, especialmente a mi madre, por ser ese soporte y ese impulso que necesite para mejorar cada día y aspirar a la excelencia. Todo lo bueno que puedan encontrar en mi persona se lo debo a ella, tiene mi eterno amor y gratitud.

A mi tío, el Ing. Aristóteles Parra, por haberme brindado la oportunidad de ser parte del proyecto de construcción en el cual está basado esta tesis.

A Jeff, por ser esa presión, soporte y motivación que necesite para terminar esta tesis.

A mi asesor Ian Vázquez, quien gracias a su paciencia, conocimientos y gran experiencia pude elevar esta tesis al más alto nivel.

A mi tía Elena, quien me brindo un hogar y un lugar dentro de su familia en mis primeros años de universidad. Su soporte y cariño fueron fundamentales para continuar mi aprendizaje, por lo que estaré siempre agradecido.

A mis mejores amigos Cielo, Jimmy y Vyera, a mi grupo de Paredoncito y los amigos que conservo desde el colegio, por hacer de mi etapa universitaria una de las mejores de mi vida.

Y finalmente, a todas las personas que de manera indirecta colaboraron para que todo esto sea posible. A todos ustedes, gracias.

Índice

Resumen.....	ii
Abstract.....	iv
Agradecimientos.....	vi
Índice de Tablas	ix
Índice de Figuras.....	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos e hipótesis	3
1.4 Esquema.....	3
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1 Análisis de ciclo de vida como técnica de evaluación ambiental	5
2.2 El análisis de ciclo de vida en Perú.....	7
2.3 El análisis de ciclo de vida en proyectos de construcción	9
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	15
3.1 Etapas del Ciclo de Vida.....	15
3.2 Análisis de Ciclo de Vida	16
3.2.1 Definición de objetivos y alcance	17
3.2.2 Inventario de Ciclo de Vida	18
3.2.3 Análisis del Impacto de Ciclo de Vida	18
3.2.4 Interpretación del Análisis del Ciclo de Vida	19
3.3 Metodología ReCiPe 2016.....	20
CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO	32
4.1 Definición del sistema.....	32

4.2	Alcance y límites del sistema.....	44
4.3	Producción y consumo de combustible.....	53
4.4	Limitaciones del modelado del proyecto	55
CAPÍTULO 5. RESULTADOS		57
5.1	Evaluación del impacto ambiental	57
5.2	Análisis de impacto de ciclo de vida: Pre-uso	58
5.3	Análisis de impacto de ciclo de vida: Uso	60
5.4	Análisis de impacto de ciclo de vida: Fin de vida	63
5.5	Análisis en comparación con Estudio de Impacto Ambiental	63
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....		67
REFERENCIAS.....		69
ANEXOS.....		75
Tabla A1. Equivalencia de materiales de la manufactura de la etapa del pre-uso del proyecto con la base de datos de Ecoinvent		75
Tabla A2. Inventario de ciclo de vida de los materiales de la manufactura de la etapa de pre-uso del proyecto acorde a la base de datos de Ecoinvent.....		76
Tabla A3. Impactos ambientales por categoría de impacto de la manufactura de la etapa de pre-uso del proyecto, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m ²) de construcción, de acuerdo a la base de datos de Ecoinvent		81
Tabla A4. Impactos ambientales por categoría de impacto divididos por áreas para la etapa de pre-uso, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m ²) de construcción.....		83
Tabla A5. Impactos ambientales por categoría de impacto para la etapa de uso, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m ²) de construcción.....		84

Índice de Tablas

Tabla 1 Descripción de las seis alternativas analizadas (Aljundi et al., 2019).	11
Tabla 2 Indicador de calidad de aire para ozono troposférico y problemas para la salud. Adaptado de EPA, 2021	25
Tabla 3 Máxima extracción de los diferentes recursos (Salaet & Roca, 2010).	29
Tabla 4 Listado de áreas dentro del Truckshop.	33
Tabla 5 Consumo total de combustible de los equipos electromecánicos para toda la etapa de construcción y transporte.	47
Tabla 6 Potencia total en kW de la sala eléctrica.....	48
Tabla 7 Flujo de diseño para el agua desalinizada y agua potable.	49
Tabla 8 Capacidad neta de los tanques de aceite lubricante y refrigerante.....	49
Tabla 9 Tasas medias de generación de Residuos de Construcción y Demolición en masa (kg/m ²). Adaptado de Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste (Pacheco-Torgal et al., 2013).	50
Tabla 10 Tasas medias de generación de Residuos de Construcción y Demolición en volumen (m ³ /m ²). Adaptado de Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste (Pacheco-Torgal et al., 2013).	50
Tabla 11 Área de ambientes del Truckshop.....	51
Tabla 12 Resumen de galones utilizados por tipo de vehículo de acuerdo a las categorías de la guía EMEP/EEA.	53
Tabla 13 Emisiones correspondientes a 1 kg de combustible para cada tipo de vehículo según la guía EMEP/EAA.....	53
Tabla 14 Impactos ambientales por categoría de impacto, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m ²) de construcción.....	58

Índice de Figuras

Figura 1 Distribución del PBI por sectores económicos en el año 2019. Adaptación propia (BCRP, 2020)	1
Figura 2 Análisis de sensibilidad de los diferentes escenarios considerando solo los impactos de calentamiento global. (Aljundi et al., 2019).	12
Figura 3 Etapas del ACV. Elaboración propia, adaptado del ISO 14040 (ISO, 2006a).....	16
Figura 4 Elementos para el AICV (Cáceres, 2016)	19
Figura 5 ICV Indicadores de punto medio, patrones de daño e indicadores de punto final (Huijbregts et al., 2016)	20
Figura 6 Temperatura global desde 1880 hasta 2020 (NASA/GISS, 2021).....	21
Figura 7 Consecuencias de los daños causados al ADN (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020).	23
Figura 8 Órganos afectados en función del tamaño particulado (Betetta, 2021).....	24
Figura 9 Emisiones de CO2 derivadas del uso de combustibles fósiles en los diferentes escenarios (Salaet & Roca, 2010).	30
Figura 10 Plano de planta del Truckshop.	33
Figura 11 Modelo 3D Área de Administración.	35
Figura 12 Modelo 3D Taller principal	35
Figura 13 Modelo 3D Ubicación del puente grúa.....	36
Figura 14 Modelo 3D Almacén de taller.	37
Figura 15 Modelo 3D Área de ensamble de neumáticos.	38
Figura 16 Modelo 3D Almacenamiento de lubricantes.	39
Figura 17 Modelo 3D Taller de soldadura.	40
Figura 18 Modelo 3D Lavadero de camiones.....	41
Figura 19 Modelo 3D Sala de compresores.....	42

Figura 20 Modelo 3D Sala de compresores.....	42
Figura 21 Modelo 3D Gabinete contra incendios.....	43
Figura 22 Modelo 3D Sala eléctrica y subestación.....	44
Figura 23 Etapas del Ciclo de vida. Adaptación propia (García, 2014).	45
Figura 24 Límites del sistema del caso de estudio.....	52
Figura 25 Áreas con mayor impacto ambiental para cada categoría de impacto en la etapa de pre- uso, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m ²) de construcción.	59
Figura 26 Porcentaje del impacto ambiental por áreas de construcción de la categoría de calentamiento global (kg CO ₂ eq) en la etapa de pre-uso.	60
Figura 27 Porcentaje del impacto ambiental para cada elemento para cada categoría de impacto en la etapa de uso	61
Figura 28 Variación del impacto ambiental del calentamiento global para diferentes escenarios de consumo de energía eléctrica en la etapa de uso, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m ²) de construcción.	62

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

En la actualidad, la minería es la segunda fuente más importante de divisas en Perú. Esta actividad económica representó alrededor del 13% del PBI el año 2019 (BCRP, 2020). De acuerdo al Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Perú es un país predominantemente minero, ocupando el segundo lugar en producción de cobre, plata y zinc a nivel mundial, y primer lugar en producción de oro, plomo y zinc en Latinoamérica, lo que refleja un inmenso potencial geológico, con unidades mineras de importante impacto mundial (MINEM, 2020).

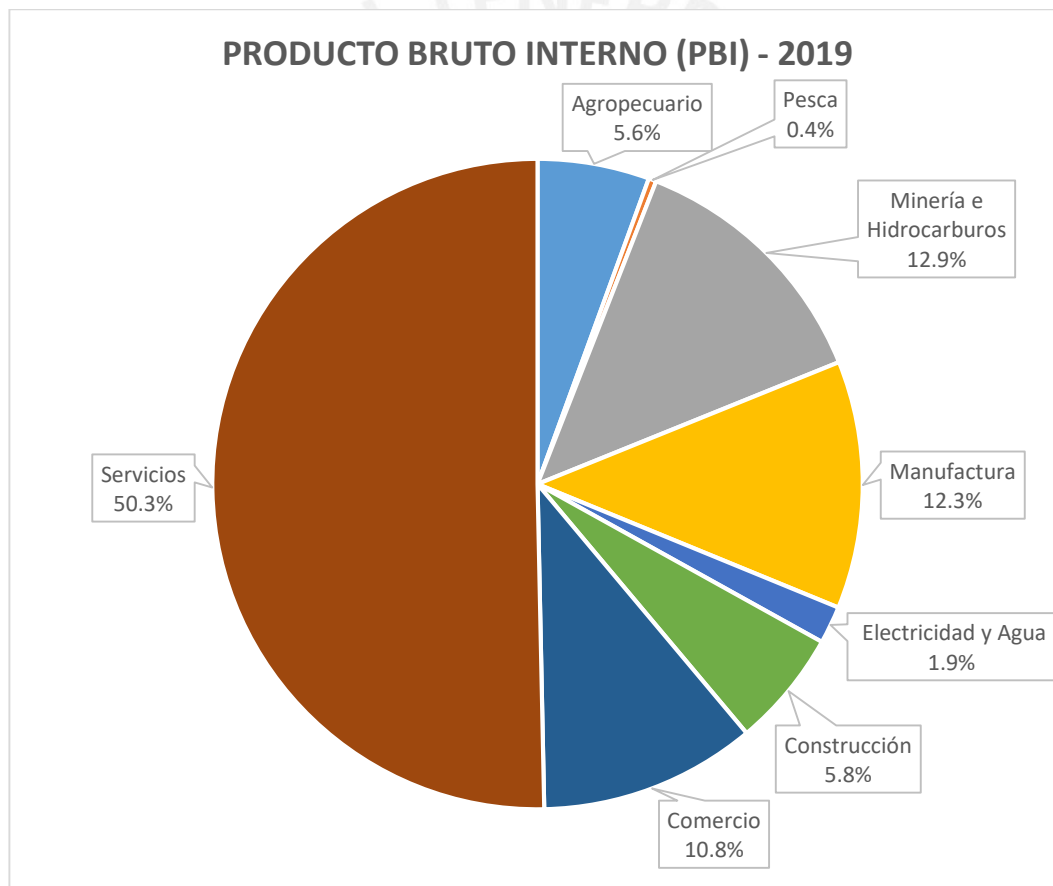


Figura 1 Distribución del PBI por sectores económicos en el año 2019. *Adaptación propia (BCRP, 2020)*

La región de Ica es la que captó mayor inversión minera durante el 2018, que corresponde a unos US\$694.6 millones, debido al inicio de la construcción de Mina Justa y a la culminación de las obras de ampliación de Marcona, y fue la que captó mayor inversión minera durante el primer bimestre del 2019, al registrar US\$143.5 millones (Andina, 2019). Además, junto con Moquegua, Tacna y Arequipa concentraron el 49% de la inversión minera en el país, de acuerdo a la Sociedad de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE).

Existen grandes beneficios económicos y sociales relacionados con la actividad minera para la región, debido a los grandes márgenes de utilidad que esta actividad económica produce. Sin embargo, dicha actividad también genera grandes impactos ambientales que deben de ser analizados a nivel holístico. Esta actividad económica utiliza muchos recursos naturales y energéticos, los cuales están relacionados con impactos ambientales de gran magnitud durante su ciclo de vida, y no son regulados de manera correcta dentro de la normativa legal para un uso sustentable de los recursos ambientales. Una parte notable de dichos impactos representa el ciclo de vida de la infraestructura necesaria para el funcionamiento de las actividades de las unidades mineras. Por lo tanto, el presente estudio busca aplicar la herramienta de gestión ambiental conocida como Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para cuantificar los impactos ambientales de un proyecto de construcción dentro de una unidad minera en la región de Ica. Esta metodología implica un análisis de la cuna a la tumba, es decir, que analiza todos los procesos involucrados desde la obtención de las materias primas en su etapa de pre-uso, hasta la disposición final en su fin de vida, y estas son todas las etapas que analizaremos en esta investigación.

1.2 Justificación

En la actualidad, muchas compañías mineras vienen realizando actividades de extracción de minerales en muchas zonas del territorio peruano. Dichas actividades generan un impacto ambiental de gran magnitud dentro del área en las que se desarrollan. El impacto de toda la infraestructura que se requiere para que estas unidades mineras puedan funcionar es un tema que no ha sido investigado en el Perú.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una técnica que permite evaluar el impacto ambiental de cualquier tipo de bien o servicio, incluyendo infraestructuras, a través de un análisis holístico

de su ciclo vida; es decir, desde la obtención de materias primas, a través de la energía y la producción de materiales, hasta el final de su etapa de funcionamiento y disposición. Este procedimiento permite obtener resultados que son comparables a través de una unidad funcional, y permite evaluar dichos resultados en categorías de impacto ambiental (ISO 14040, 2006). Se analizará el proyecto de ampliación de una unidad minera que se encuentra en Ica, que engloba todo un conjunto de estructuras, debido al alto potencial de impacto que el ciclo de vida de estas estructuras posee, al difícil acceso de la zona en las que se ubican, el contacto directo con todo el ecosistema de la región y el alto uso de recursos medioambientales que necesita para su construcción y funcionamiento.

1.3 Objetivos e hipótesis

El objetivo general del presente trabajo de investigación es cuantificar y evaluar los impactos ambientales generados durante el ciclo de vida de las estructuras pertenecientes al proyecto de construcción de un taller de camiones, también conocido como *Truckshop*, en una unidad minera ubicada en el departamento de Ica, mediante el uso de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Hipótesis: Los valores cuantitativos para las categorías de impacto ambiental obtenidos como resultado del ACV realizado a la infraestructura requerida son mayores durante la etapa de pre-uso que durante la etapa de uso y fin de vida.

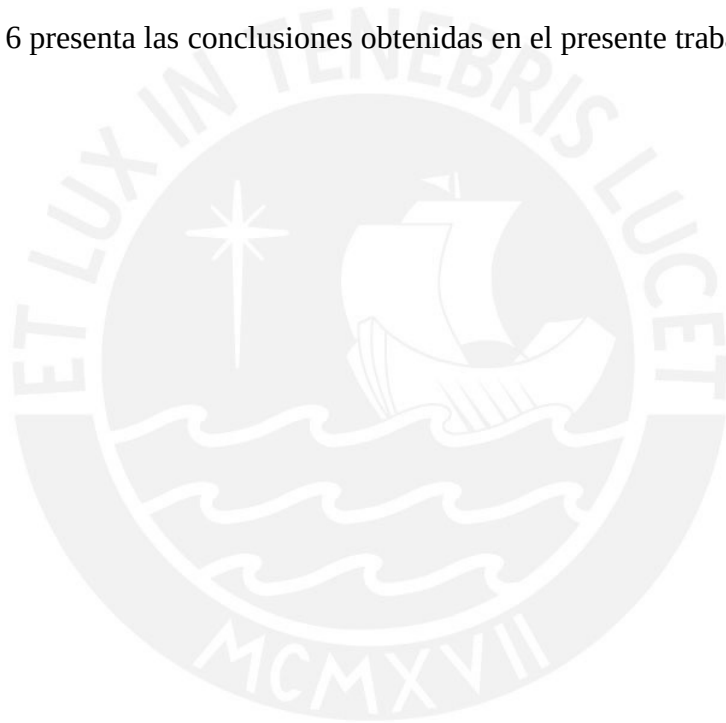
1.4 Esquema

La presente tesis comprende seis capítulos, resumiendo el contenido de cada capítulo a continuación:

- El capítulo 1 es la introducción, en donde se incluye la motivación, el objetivo general y los objetivos específicos de la presente investigación. Además, se presenta el contenido de la tesis a través de un resumen de todos sus capítulos.
- El capítulo 2 es el marco teórico, donde se definen el Análisis de Ciclo de Vida como herramienta de evaluación ambiental, el ACV en el Perú y los estudios de ACV presentes en el sector minero.
- El capítulo 3 es la metodología de investigación que se aplicará en la presente tesis, donde se define los objetivos y el enfoque del estudio, el Inventario de Ciclo de Vida, el Análisis

del Impacto del Ciclo de Vida y la interpretación de resultados. Además, se definirá el método de impacto ambiental a utilizar (ReCiPe 2016).

- El capítulo 4 es el caso de estudio, donde se realizará una descripción del mismo, se definirán las etapas del Ciclo de Vida, se definirá el sistema y las limitaciones del modelado.
- El capítulo 5 es la presentación de resultados, donde se presentará de manera cuantitativa todos los resultados obtenidos del Análisis de Ciclo de Vida, en todas las categorías de impacto. Adicionalmente, se presenta una comparación de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida con la de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- El capítulo 6 presenta las conclusiones obtenidas en el presente trabajo de investigación.



CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, una serie de investigaciones relacionados con el impacto ambiental han sido realizadas a través de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El desarrollo y la aplicación de esta metodología se difunde con el paso del tiempo en muchos países de Latinoamérica y del mundo, donde se aplica para calcular desde la carga ambiental de un producto en específico hasta el uso de softwares especializados para casos de estudios mucho más complejos, donde la información de entrada se adapta de acuerdo a la legislatura ambiental de cada país.

En la actualidad, la metodología se encuentra estandarizada por la Organización Internacional de Normalización (ISO). La norma ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 definen la metodología y plantean los lineamientos básicos que se deben de seguir para poder aplicarla.

A continuación, se presentará cuáles fueron los inicios de esta metodología, su aplicación en el territorio nacional y cuál ha sido su aplicación dentro del sector de la construcción.

2.1 Análisis de ciclo de vida como técnica de evaluación ambiental

El análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una técnica de evaluación ambiental difundida desde la década de 1990. Sus inicios se ubican entre en el año 1960 y 1970, cuando el Departamento de Energía de los Estados Unidos realizó una investigación acerca de los requerimientos de energía de los procesos y sistemas involucrados para el análisis de los efectos ambientales (Bishop, 2000). Por otro lado, en el año 1963 el profesor Harold Smith realizó un estudio acerca de las cantidades de energía que se requerían para la fabricación de productos químicos, el cual fue presentado en la conferencia Mundial de Energía de ese mismo año, siendo un estudio pionero sobre los impactos ambientales (Bishop, 2000).

En el año 1969 el Midwest Research Institute (MRI) elaboró, por encargo de la compañía Coca-Cola, realizó un estudio acerca de los recursos, combustibles fósiles y la energía que se utilizaba para la fabricación de envases de bebidas gaseosas de diferentes tipos (Curran, 2012).

Posteriormente, en el año 1973, gracias a los avances tecnológicos se desarrolló el primer software orientado a realizar análisis de ciclo de vida; sin embargo, presentaba muchas limitaciones con respecto a la exactitud de sus resultados y lectura de datos (Reed, 2012) En el año 1976, luego de diversos trabajos de investigación realizados, el MRI establece una metodología de investigación denominada Resource and Enviromental Profile Analysis (REPA), que consistía en la cuantificación de los recursos y las descargas ambientales desde la cuna hasta la tumba (Curran, 2012).

Durante la década de los 80, posterior a la crisis del petróleo y a todos los REPA desarrollados se sustituyó el tema principal de eficiencia energética por el del manejo de residuos sólidos. Este cambio se dio ya que no se contaba con un destino final para las grandes cantidades de desechos, por lo que el MRI, en trabajo conjunto con el Consejo Presidencial de Calidad Ambiental, comenzó a desarrollar REPA. En el año 1988, los residuos sólidos fueron un tema de preocupación a nivel mundial, lo que motivo a un mejoramiento de las metodologías para el ACV (EPA, 2006).

A finales del siglo XX se realizó un proyecto para desarrollar el diseño de un tablero de instrumento de un automóvil que genere un menor impacto ambiental. Este proyecto se dio debido al gran impacto ambiental que generaba la industria automovilística en la fabricación de motores, parachoques, pinturas. Se realizó un ACV básico de varios componentes del tablero para poder realizar un análisis del producto. Se logró una reducción en el uso de materiales, mejora en la gestión de reciclaje de los mismos, y una mejora en el sistema de ventilación, lo que conllevó a una reducción de consumo de combustible de unos 50 litros durante la vida útil del producto (UNEP, 1996).

El término de Análisis de Ciclo de Vida (ACV o LCA por sus siglas en inglés) fue utilizado por primera vez en el taller de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC) en el año 1990 (Curran, 2012). Debido a la rápida difusión de la metodología fue necesaria una estandarización, por lo que entre el año 1997 y 2002 se desarrollaron los fundamentos de la ISO 14000.

En el año 2001 se creó el Centro Americano para la Evaluación de Ciclo de Vida, debido a la creciente necesidad de realizar estudios sobre fuentes de energía renovables, logrando una mayor difusión de la metodología del ACV. En el 2002, se comenzó la “Iniciativa Global de Ciclo de Vida”, en la que trabajaron juntos el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y la SETAC (Curran, 2012). Esta iniciativa busca promover la metodología del ACV y una práctica eficiente, y se encuentra en concordancia con los decretos del “World Summit on Sustainable Development” (WSSD) y al plan de Johannesburgo del 2002. (Curran, 2012).

Actualmente el ACV aún se encuentra en una etapa de definición de información, pero dentro del mundo de la Ingeniería su presencia cada vez es más relevante (Cáceres, 2016). Los resultados que se obtienen sirven como una base para definir políticas públicas y proporcionan información muy útil para definir los procesos más críticos en el ciclo de vida de un sistema, ayudando a mejorar la eficiencia ambiental (Cáceres, 2016).

2.2 El análisis de ciclo de vida en Perú

En el año 2008 se emitió la Ley N° 28611, llamada la Ley General del Ambiente. En los artículos 73 y 74, se define a los responsables de los proyectos como “Titulares de Operación”, teniendo toda la responsabilidad sobre emisiones, efluentes, descargar, etc., que se puedan generar sobre el medio ambiente. En el artículo 75 se menciona que es necesario tomar medidas de riesgo y protección ambiental para todas las etapas en la elaboración de un producto, es decir, su ciclo de vida. (Ley General del Ambiente, 2005).

En el Perú contamos con la Red Peruana de Ciclo de Vida y Ecología Industrial (PELCAN), que fue fundada en el año 2005 por la Pontificia Universidad Católica del Perú con el objetivo de contribuir al desarrollo e implementación del ACV en el Perú. Su inicio se dio como respuesta a la iniciativa establecida por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el SETAC. Esta se especializa en temas vinculados al desarrollo sostenible. De acuerdo a su objetivo, esta red elabora oportunidades de mejora para reducir el impacto ambiental a través de la metodología del análisis de ciclo de vida, huella hídrica y huella de carbono (PELCAN, 2020).

Entre las investigaciones más resaltantes de este grupo de investigación se tiene la del Análisis de Ciclo de Vida comparativo de la carretera Tingo-Kuélap y el sistema de telecabinas

hacia la zona arqueológica monumental Kuélap (Biberos, 2018). En esta investigación se analizó las etapas de construcción, operación y mantenimiento de dos alternativas de infraestructuras de transporte que permiten llegar al complejo de Kuélap: una carretera de afirmado de 33 km y el sistema de Telecabinas Kuélap de 4 km, a través de la metodología del ACV, usando el método ReCiPe 2016 e IPCC 2013. De acuerdo a los resultados obtenidos, se obtuvo que el sistema de telecabinas es la opción más adecuada para reducir los impactos ambientales, debido al uso de energía eléctrica y a una matriz eléctrica baja en carbono (Biberos, 2018).

Otra investigación relevante es la del proyecto IKI PNUMA Parte II, cuyo objetivo es desarrollar inventarios de ciclo de vida a través de la perspectiva de proceso unitario, basándose en tres sectores productivos: centrales hidroeléctricas (Verán & Vázquez, 2019), refinerías (Rodriguez *et al.*, 2018) y rellenos sanitarios (Ziegler *et al.*, 2019), para su inclusión en una base de datos a nivel nacional y poder calcular las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la metodología del ACV (PELCAN, 2020).

La generación de inventarios para centrales hidroeléctricas se basó en la metodología del ACV basado en las ISO 14040 Y 14044 (ISO, 2006). Se estudió las centrales hidroeléctricas de Cheves, El Platanal y Maraón, tomando en cuenta las etapas de construcción, mantenimiento y operación de cada una. Además, se realizó una evaluación ambiental basándose en los resultados generados, para determinar el impacto ambiental por kWh para cada caso de estudio. Los resultados obtenidos permitieron generar inventarios de ciclo de vida en el formato ecoSpold, que serán de guía para obtener una base de datos nacional de todas las etapas de ciclo de vida para una Central Hidroeléctrica (Verán & Vázquez, 2019).

Las refinerías también fueron un sector productivo para este proyecto. Utilizando la metodología del ACV, y recolectando información a través de cuestionarios y fuentes de información pública, se realizó una evaluación ambiental para determinar los impactos ambientales para la producción de 1 kg de diésel B5 en cada una de las 3 refinerías seleccionadas: La Pampilla, Talara y Conchán. Los inventarios obtenidos fueron adaptados al formato ecoSpold, con información específica para los procesos de refinación de petróleo en Perú. Además, se espera que toda esta información sirva como referencia para toma de decisiones más sostenibles a nivel nacional (Berlán *et al.*, 2018).

Los rellenos sanitarios son otro sector productivo analizado. Su objetivo fue la elaboración y validación de inventarios de ciclo de vida para los procesos unitarios de los rellenos sanitarios en Perú, en todas sus etapas: extracción de materias primas, construcción, operación, mantenimiento y fin de vida. Los casos analizados fueron el relleno sanitario Portillo Grande, Jaquira y Nauta. Se espera que esta base de datos contribuya al momento de tomar decisiones para futuras concesiones a nivel nacional, y lograr reducir el impacto ambiental en este tipo de proyectos. (Ziegler-Rodriguez et al., 2019)

Por otro lado, se cuenta con el estudio del análisis de ciclo de vida de las publicaciones sobre la producción de quinua, a través de curvas en S, que sirven para mostrar de manera gráfica un determinado factor de un producto a través del tiempo, realizado en la Universidad Nacional Pedro Luis Gallo. Los resultados de dicho estudio mostraron las principales relaciones de investigación para estudios de ACV relacionados con la quinua, y mostró que los principales países exportadores de quinua (Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia) presentan muy bajo interés científico en esta área (Parra & Leguizamon, 2019).

2.3 El análisis de ciclo de vida en proyectos de construcción

En la actualidad, el ACV aplicado en el mundo de la construcción es una herramienta utilizada para medir las cargas ambientales dentro del sistema. Se identifican tres fases en el ciclo de vida de una construcción: pre-uso, uso y fin de vida (Fava, 2004). Estas fases serán definidas con mayor profundidad en los siguientes capítulos. La energía incorporada dentro de la construcción de un proyecto es del 15 – 20% de todo el consumo de energía del ciclo de vida de la edificación. El sector construcción contribuye con el 38% del smog de verano y 20% de las emisiones de los metales pesados al medioambiente (Huang et al., 2015).

Los ACV registrados sobre proyectos de construcción fueron realizados inicialmente fuera de Perú, pero en los últimos años esta metodología se ha ido adaptando a proyectos nacionales (Keolian et al., 2001). Uno de los primeros estudios que se realizó en el ámbito de proyectos de construcción, contemplando la filosofía de ciclo de vida, fue el del consumo energético, costos y posibles estrategias de mejoras para viviendas en los Estados Unidos (Keolian et al., 2001). Este estudio contempló las etapas de producción de materiales, construcción, operación y mantenimiento, y demolición de una vivienda estándar. Además, se logró definir los parámetros

para una Vivienda Estándar (VE) y una Vivienda Energéticamente Eficiente (VEE), entre las que se encuentran aislamiento de paredes y techos, reducción de infiltraciones de aire, electrodomésticos más eficientes, uso de luces fluorescentes, etc. Para la etapa de operación y mantenimiento se incluyó el uso de gas natural, uso de electricidad para el aire acondicionado. Finalmente, para la etapa de demolición se analizó la energía real del proceso de demolición, así como el transporte de los escombros a rellenos sanitarios o lugares de reciclaje (Keolian et al., 2001). Los resultados de este estudio nos muestran que es posible reducir drásticamente el consumo energético en las viviendas. La VEE logró una reducción del 60% de la energía del ciclo de vida, en comparación con una VE. Además, la fase de uso de una VEE representó en 74% de la VE, considerando que esta fase representa en 91% de toda la energía consumida durante el ciclo de vida. Por otro lado, el potencial de calentamiento global se redujo un 63%, siendo el concreto, la madera, la grava y el acero los materiales que más contribuyen (Keolian et al., 2001).

En el año 2005, se presenta un estudio donde se analiza la evaluación del inventario de un pavimento continuo de hormigón armado y de un pavimento asfáltico, teniendo como principal objetivo la cuantificación de la energía que se consume en cada uno de estos sistemas (Zapata, 2005). De acuerdo a los resultados obtenidos, se verifica que en el caso del hormigón armado un 94% de la energía total consumida corresponde a la manufactura del cemento y acero reforzado, considerando desde la extracción de la materia prima hasta la puesta en el pavimento. Por otro lado, para el caso de cemento asfáltico, el mayor consumo se da en el mezclado de asfalto en la fase de mezclado de asfalto e hidratación de agregados, lo que representa un 48% del total. Estos resultados demuestran que es en la etapa de pre-uso donde se tiene que realizar los principales cambios para disminuir los niveles de consumo de energía (Zapata, 2005).

Uno de los estudios pioneros sobre análisis de ciclo de vida en proyectos de construcción en el Perú fue el del análisis de una vivienda unifamiliar en la ciudad de Lima (García, 2014). Se estimaron los impactos ambientales de este tipo de vivienda durante todas las etapas del ciclo de vida, lo que incluye extracción de materias primas, construcción y fin de uso. Los indicadores que se utilizaron para medir el impacto ambiental fueron: consumo de energía primaria, emisiones al suelo, uso de recursos, consumo de combustibles fósiles, potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, criterios de salud humana, potencial de eutrofización y potencial de formación de smog. Los resultados de este estudio reflejan la importancia de la etapa de uso y pre-

uso (principalmente la manufactura de los materiales) de acuerdo a los indicadores de impacto ambiental (especialmente el consumo de energía primaria, consumo de combustibles fósiles y potencial de calentamiento global), relegando en cantidad, pero no en importancia, los valores obtenidos en la etapa de fin de vida (García, 2014).

Otro caso representativo de este tipo de comparaciones es el de un Análisis de Ciclo de Vida de la construcción de una edificación, tomando como caso de estudio el edificio sostenible del Departamento de Arte y Comunicación de la Universidad de Aveiro, en Portugal (Aljundi et al., 2019). El objetivo fue comparar los impactos de tres tipos de estructuras (estructura mixta, solo estructura de acero y solo concreto armado), los cuales fueron pre-diseñados usando el Euro código y estudiados de acuerdo a dos tiempos de vida útil (50 y 100 años), como se muestra en la siguiente tabla (Aljundi et al., 2019).

Tabla 1 Descripción de las seis alternativas analizadas (Aljundi et al., 2019).

Alternativa	Description	Tiempo de vida útil	Alternativa
1	Caso de estudio real (estructura mixta)	50 años	Mixed.50
		100 años	Mixed.100
2	Solo estructura de acero	50 años	Steel.50
		100 años	Steel.100
3	Solo concreto armado	50 años	Concrete.50
		100 años	Concrete.100

La comparación de las seis alternativas, usando el software SimaPro, la base de datos de Ecoinvent, y la metodología TRACI para realizar la evaluación de impacto de ciclo de vida, muestran que el concreto armado es ecológicamente más sostenible que el sistema mixto y el sistema de solo estructura de acero, para todos los casos de las categorías de impacto, y que los edificios con un tiempo de vida útil de 100 años tienen menor impacto ambiental (Aljundi et al., 2019).

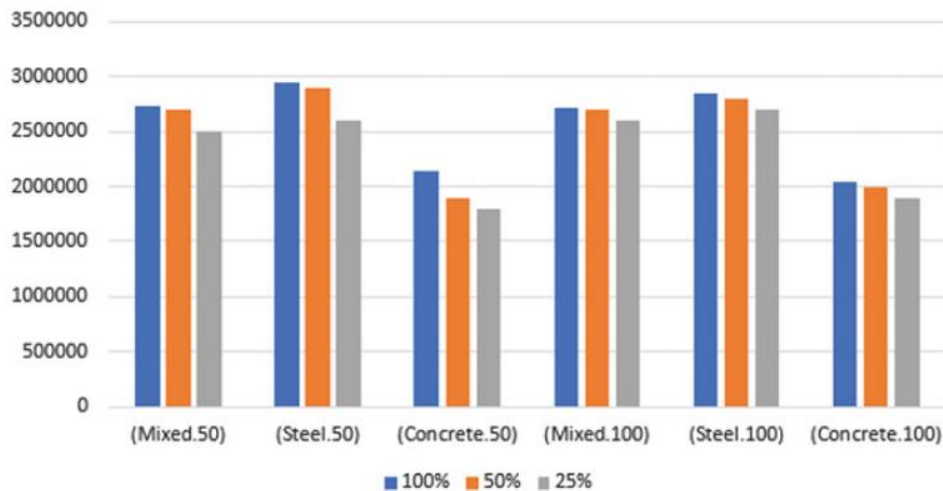


Figura 2 Análisis de sensibilidad de los diferentes escenarios considerando solo los impactos de calentamiento global. (Aljundi et al., 2019).

Adicionalmente, se cuenta con el estudio del análisis cuantitativo de los impactos ambientales de edificios multifamiliares con dos sistemas estructurales diferentes, en la ciudad de Chiclayo entre el 2012 y el 2016 (Rodríguez, 2019). Dicho estudio permitió identificar y cuantificar los principales materiales utilizados en edificios multifamiliares construidos entre el 2012 y 2016 bajo los sistemas estructurales de pórticos y sistema dual, y calcular las emisiones de CO₂ y costo energético de los materiales por m² y por tipo de estructuración, a través de la metodología del ACV. Los resultados muestran que el sistema estructural dual tiene una predominancia en cuanto a los impactos ambientales por m² (Rodríguez, 2019).

Dentro del área de las estructuras metálicas, uno de los primeros estudios fue el del Análisis de Ciclo de Vida del concreto y los marcos de estructuras de acero (Jonsson et al., 1998). Este estudio fue realizado en Suecia, donde se incluyeron marcos de construcción y todos los materiales suplementarios. La información para elaborar el inventario fue elaborada de la producción de concreto y acero, el lugar de la construcción, tiempo de vida, demolición y disposición final. Los parámetros que se utilizaron fueron el uso de materias primas, el uso de energías, emisiones de aire, emisiones de agua y generación de residuos. Se utilizaron tres métodos de impacto ambiental, y de acuerdo a los resultados obtenidos la etapa de construcción representó aproximadamente la misma contribución a las categorías de impacto que el mantenimiento y el reemplazo de las pérdidas de calor a través de las paredes durante su vida útil. Mientras tanto, la demolición y la disposición final representaron una contribución notablemente menor (Jonsson et al., 1998).

Otro estudio importante sobre edificios hechos con estructuras metálicas fue el de Aplicación del Análisis de Ciclo de Vida en el óptimo diseño de edificios de gran altura de estructuras de acero (Cho et al., 2012). El objetivo de este estudio fue analizar los sistemas estructurales resistentes a la carga lateral en un edificio de acero de gran altura para seleccionar el sistema estructural óptimo bajo la deriva lateral permisible equivalente. El impacto ambiental se evaluó mediante la herramienta del ACV (Cho et al., 2012). De acuerdo a las conclusiones del estudio, se demostró que la adición de los parámetros del sistema estructural óptimo daría como resultado el uso de la cantidad mínima de material en la fase de pre-uso; y que los estudios futuros deben de tener en cuenta la tasa de reducción según la escala de la estructura, la forma de la estructura, y los efectos de calentamiento y enfriamiento (Cho et al., 2012).

Uno de los estudios realizados sobre estructuras metálicas es el de Análisis de Ciclo de Vida de las estructuras de control de torrentes en Austria (Paratscha et al., 2019). El objetivo de la investigación fue encontrar un método adecuado de ACV para cuantificar las cargas ambientales <más importantes causadas por los procesos de construcción de estructuras de control de torrentes. Para ello, se analizaron 17 proyectos de construcción del “Servicio Austriaco para el control de torrentes y avalanchas” (WLV, por sus siglas en inglés). Se utilizó el enfoque iterativo para registrar todos los procesos importantes del sistema y para complementar la información faltante. Se tuvo que adaptar algunos datos de producción de materiales de construcción para el ámbito local (Paratscha et al., 2019). Como conclusión del estudio se demuestra que los puntos críticos de las diferentes etapas están relacionados con los materiales de construcción utilizados. Las emisiones y los insumos de energía primaria en la etapa del producto están claramente dominados por el hormigón y el acero. Si estos dos materiales se usan con moderación, la atención se centra en la aplicación y el transporte de la máquina. Dependiendo de los escenarios seleccionados, la proporción más pequeña de emisiones, en relación con el resultado total del producto y la etapa de construcción emitida por el transporte, es del 3% y la proporción máxima es del 69%. Los mayores impactos ambientales en la etapa de construcción son causados por el trabajo de excavación y el transporte en el sitio. Como conclusión final se obtuvo que los modelos de ACV existentes pueden adaptarse a este tipo de estructuras, y que a diferencia de los edificios convencionales el proceso de construcción y el transporte son mucho más importantes y se deben de tomar en cuenta (Paratscha et al., 2019).

Para finalizar, estudios realizados han confirmado que los impactos ambientales generados en la fase de uso son significativos, específicamente los impactos relacionados a la producción y el uso de energía. Es por esta razón que optaron por establecer parámetros de comparación entre los distintos métodos de construcción, para poder ser aplicados con el objetivo de disminuir impactos (Bartl, 2014). De acuerdo a los estudios revisados se puede concluir que la unidad funcional que mejor se adapta es el m², y se tendría que analizar tanto las etapas de pre-uso, uso y fin de vida puesto que los diversos estudios demuestran que todas las etapas son significativas, dependiendo del proyecto que se analice.



CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

El presente trabajo de tesis surge del interés de generar información de los índices de impacto ambiental de diferentes proyectos de construcción en el territorio nacional a través de la metodología del ACV, con un enfoque específico hacia el sector minero. Esto con el fin de obtener propuestas de mejora para disminuir el impacto ambiental generado en dicho sector.

El ACV es una herramienta que se utiliza para evaluar los aspectos ambientales y energéticos de un producto o servicio en general. Obtiene como resultado la cuantificación y caracterización de los impactos ambientales de todo el ciclo de vida, en este caso específico de un proyecto de construcción. En el presente capítulo se explica las etapas del ciclo de vida, la metodología a detalle, y los pasos a seguir para poder desarrollarla.

3.1 Etapas del Ciclo de Vida

Las etapas del ACV para las edificaciones se dividen de la siguiente manera:

- I. Pre-uso: Esta etapa considera las etapas de manufactura y construcción. La manufactura consiste principalmente en la extracción de recursos, materiales, productos utilizados dentro de la construcción. Asimismo, en la etapa de construcción se consideran todos los materiales utilizados para su ejecución, así como su transporte hacia la zona del proyecto.
- II. Uso: Esta etapa incluye las etapas de mantenimiento y energía operativa de la edificación. La etapa de mantenimiento comprende al cuidado del sistema estructural y de los acabados de la edificación. La etapa de energía operativa considera la energía que se necesita para el funcionamiento de la vivienda durante su tiempo de vida, tanto el consumo de agua como el de electricidad.
- III. Fin de Vida: Se analiza el impacto ambiental que se tendría al momento de demoler la edificación, la disposición final de todos los desechos que se generen y los materiales que se reutilizaran, lo que incluye el transporte de los mismos a lugares autorizados.

3.2 Análisis de Ciclo de Vida

Actualmente, los ACV se encuentran estandarizados por las normativas ISO 14040 y 14044 (ISO 2006a, 2006b). LA ISO 14040 define el marco teórico y la normativa de orientación del ACV, mientras que la ISO 14044 contiene todos los requisitos técnicos y las directrices para aplicar la metodología (Finkbeiner et al., 2006).

De acuerdo al ISO 14040, la etapa de vida de un producto consta de una serie de etapas consecutivas que se encuentran conectadas dentro de un sistema, durante todo el ciclo de vida. Esta metodología es iterativa y se retroalimenta de acuerdo a las interpretaciones de los resultados iniciales que se obtienen, con la finalidad de obtener un resultado final más dogmático (ISO, 2006a).

Como se observa en la Figura 3, las etapas que se conforman el ACV son: objetivos y alcance de estudio, análisis del inventario, análisis de los impactos e interpretación de resultados, y se puede ver que existe una interrelación entre ellas, y todas con la interpretación, en ambos sentidos, lo que genera un flujo de retroalimentación de la información obtenida.

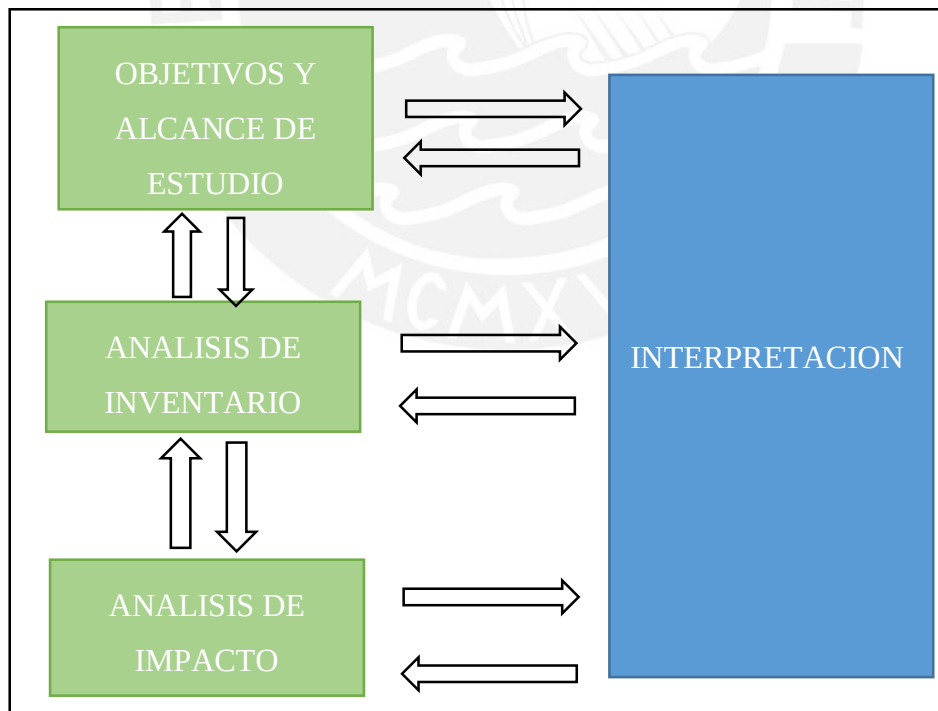


Figura 3 Etapas del ACV. Elaboración propia, adaptado del ISO 14040 (ISO, 2006a)

3.2.1 Definición de objetivos y alcance

En esta primera etapa, se debe de definir la intención inicial por la cual se quiere realizar el estudio del ACV, es decir, sustentar los motivos que se lleva a elaborarlo. Asimismo, se debe de establecer las intenciones y el uso que se pretende dar al estudio (ISO, 2006b).

El enfoque se debe de definir tomando en cuenta aspectos temporales, geográficos, tecnología existente, y el nivel de detalle que se quiere lograr en base a las metas propuestas (Guinée, 2002). Existen dos tipos de enfoques fundamentales dentro de un estudio de ACV: el enfoque atribucional, que consiste en evaluar los impactos de la unidad funcional en un sistema delimitado en un tiempo definido; y el enfoque consecuencial, que consiste en el modelamiento de los efectos producidos en los sistemas que tienen alguna relación con los cambios realizados en nuestro sistema (Tillman et al., 1994). El enfoque consecuencial se utiliza principalmente cuando se quieren investigar las consecuencias del cambio de un producto o servicio con respecto a una situación base inicial, y el análisis de las consecuencias ambientales de este tipo de cambios suele ser un proceso muy complejo, requerir muchos tipos de herramientas y ser bastante sensible a las hipótesis consideradas. Para la presente investigación, el objetivo es realizar una evaluación ambiental de todo el ciclo de la vida de un *Truckshop*, sin llevar a cabo ninguna comparación con otra estructura similar, por lo que el enfoque que más se adapta a la presente investigación es el enfoque atribucional.

La unidad funcional es una medida que permite comparar los recursos que se necesitan para ejecutar una misma tarea, lo que permite una estandarización entre las entradas y las salidas del sistema (García, 2015). El presente proyecto comprende diferentes áreas, cada una con una función específica diferente que se complementan entre sí para lograr el objetivo principal que es el de brindar servicio de mantenimiento y cambio de piezas a los camiones que se encuentran operando dentro de la unidad minera; asimismo el proyecto está diseñado para un tiempo de vida útil de 20 años, por lo que la unidad funcional es el metro cuadrado ($1m^2$) de construcción del proyecto, para poder estandarizarlo como un global.

Por último, el alcance del ACV debe de estar claramente definido, ya que determina los procesos que se evaluarán dentro del análisis. Sin embargo, analizar cada elemento en toda esta

etapa es muy complejo, por lo que es necesario reducir los límites del sistema a evaluar. Esta etapa se desarrolla posteriormente, después de presentar de manera específica el caso de estudio a evaluar.

3.2.2 Inventario de Ciclo de Vida

La etapa de Inventario de Ciclo de Vida (ICV) comprende la obtención de toda la información técnica y cuantitativa relacionada a las entradas y salidas del sistema a evaluar en el ACV. Esto involucra tanto los componentes de la biosfera (materias primas) como los de la tecnosfera (productos industriales, combustibles, maquinarias) que contribuyen al sistema.

Los datos primarios se obtuvieron por registros de campo, información técnica del proyecto, información brindada por la supervisión del mismo. Como una fuente secundaria se utilizó la base datos de ECOINVENT v3.4, que cuenta con más de 20 años de experiencia desarrollando inventarios de ciclo de vida y contiene información sobre diversas industrias en el mundo (Pre Consultants, 2016a).

3.2.3 Análisis del Impacto de Ciclo de Vida

El Análisis de Impacto de Ciclo de Vida tiene como objetivo la obtención de información adicional necesaria del ICV obtenido previamente para lograr una correcta interpretación de los resultados del ACV (ISO, 2006b).

Para esta etapa se utilizó el software es el SimaPro 9.0.0.49. Este software creado en el año 1990 y fue desarrollado por la compañía holandesa de consultoría Pré Consultants, encontrándose presente en más de 80 países alrededor del mundo. Este software permite modelar los procesos del sistema de estudio, así como los escenarios de disposición de residuos. Por otro lado, permite trabajar con diversas metodologías de impacto.

Una metodología de impacto tiene como objetivo transformar la lista de datos que se obtienen en un ICV en indicadores numéricos que se denominan categorías de impacto (Huigbregts et al., 2016). El impacto ambiental de cada categoría se calcula mediante factores de

caracterización, lo que es un elemento básico para un ICV de acuerdo al ISO 14040. Se explica de manera gráfica en la Figura 4.

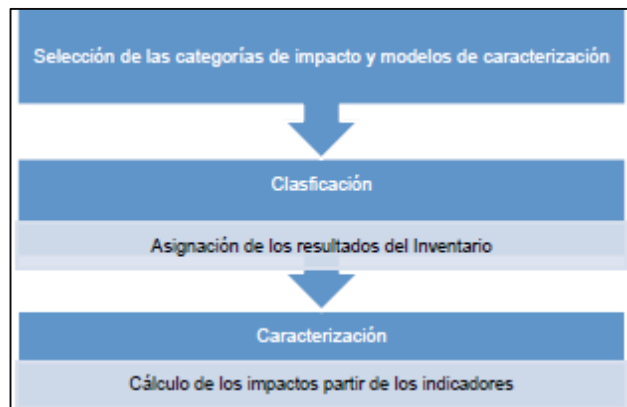


Figura 4 Elementos para el AICV (Cáceres, 2016)

La metodología a utilizar en la presente tesis será ReCiPe 2016, que se explicará a detalle en el Capítulo 3.3.

3.2.4 Interpretación del Análisis del Ciclo de Vida

Esta es la última etapa del ACV. Consiste en analizar y discutir los resultados obtenidos en el ICV y el AICV (ISO, 2006b). Se debe de interpretar los objetivos planteados inicialmente y relacionarlos con los resultados obtenidos para poder establecer conclusiones pertinentes. Esta etapa debe de ser consistente y debe de estar acorde al alcance planteado, para posteriormente poder plantear sugerencias y modificaciones al sistema estudiado.

En síntesis, la etapa de interpretación debe de identificar problemas, evaluar la consistencia y analizar la complejidad de los resultados, y proveer conclusiones y recomendaciones.

Sin embargo, como se explicó anteriormente el ACV es una metodología iterativa, por lo que es posible, e incluso necesario, que esta interpretación final lleve a una modificación o redefinición de cualquiera de las etapas anteriores, como el AICV o incluso el ICV.

3.3 Metodología ReCiPe 2016

El presente análisis se realizó bajo la metodología ReCiPe, que tiene se enfoca en organizar y transformar todos los datos obtenidos en el ICV en indicadores ambientales cuantitativos denominados categorías de impacto (Huigbregts et al., 2016). Se utilizan factores de caracterización para calcular el impacto ambiental de cada categoría.

Dichas categorías permiten cuantificar los impactos de cada contaminante presente dentro del sistema y compararlos con un contaminante de referencia, y estos deben de relacionar los efectos de actividades humanas con áreas naturales a través de mecanismos ambientales (ISO, 2006b). La etapa final de estos mecanismos se denomina de punto final (endpoint) y se elige de acuerdo a la relevancia del área de protección.

Los puntos que se obtienen en el intermedio de estos procesos también pueden ser utilizados como indicadores ambientales y se les llamada de punto medio (midpoint). La metodología ReCiPe utiliza 18 indicadores de punto medio y 3 indicadores de punto final, como se muestran en la Figura 5 (Huigbregts et al., 2016):

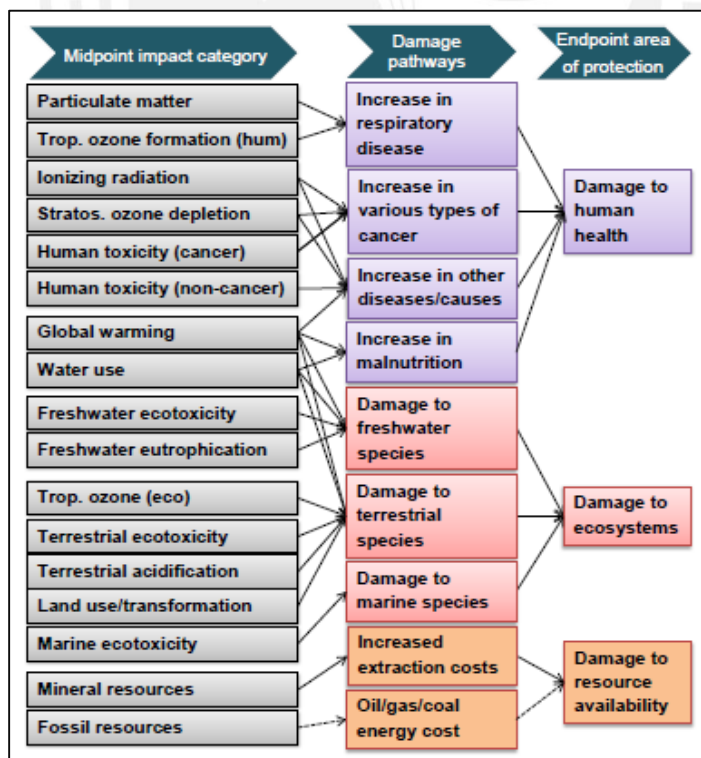


Figura 5 ICV Indicadores de punto medio, patrones de daño e indicadores de punto final (Huigbregts et al., 2016)

Las categorías de impacto relacionadas con los indicadores de nivel medio son:

1. Cambio climático: El indicador de nivel medio de esta categoría es el de potencial de calentamiento global (GWP en sus siglas en inglés). El GWP expresa la cantidad de reforzamiento radiativo adicional integrado a lo largo del tiempo causado por la emisión de 1 kg de gases de efecto invernadero en relación con el de 1 kg de CO₂. Dicho reforzamiento tiene como consecuencia el aumento de la temperatura media global (°C), lo que tiene como consecuencia daños en la salud humana y ecosistemas (Huijbregts et al., 2016).

De acuerdo a la NASA, la temperatura global el 2020, al igual que el 2016 fueron los más altos registrados desde 1880, con una anomalía de 1.02°C. En La figura 6 se observa un comparativo de la temperatura global.

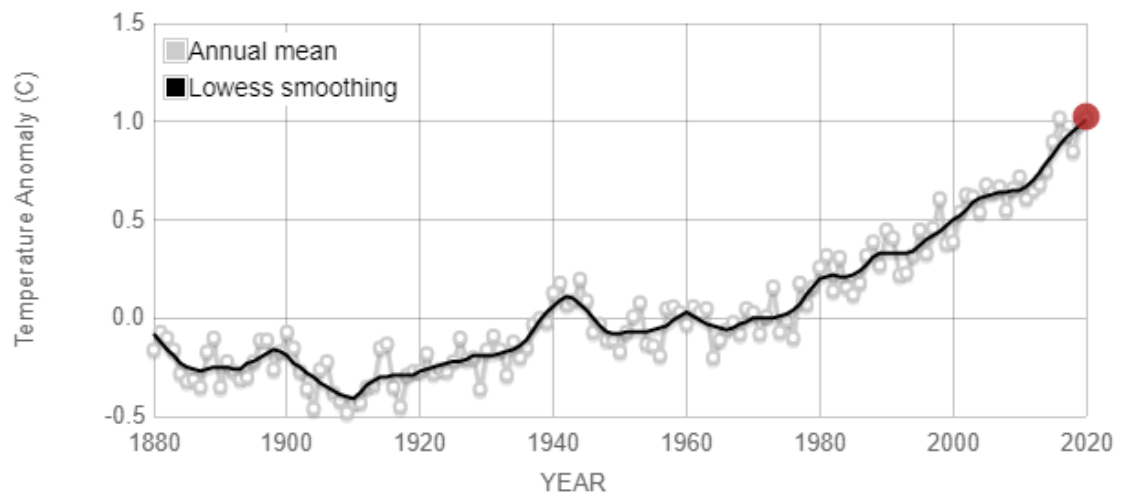


Figura 6 Temperatura global desde 1880 hasta 2020 (NASA/GISS, 2021)

Los efectos son potencialmente mortales alrededor del mundo. De acuerdo a un estudio realizado en Perú los principales efectos del cambio climático serían (Vargas, 2009):

- Retroceso glaciar, que se viene manifestando con una disminución del 22% de la superficie en los últimos 35 años.

- Agudización del periodo de estiaje y disminución de la disponibilidad de agua para consumo humano y otros usos.
- Aumentos del riesgo de desastres naturales como huaycos, deslizamientos, etc.
- Aumento de la frecuencia e intensidad del Fenómeno del Niño
- Disminución de la disponibilidad del fitoplancton en el mar
- Sabanización de bosques tropicales
- Pérdida de biodiversidad y extinción de especies

2. Potencial de agotamiento de la capa de ozono: Esta categoría (ODP por sus siglas en inglés) se usa como indicador de punto medio, y se expresa en kg equivalentes de CFC-11. El ODP cuantifica la cantidad de ozono que una sustancia puede agotar en relación con el CFC-11, durante un horizonte de tiempo específico. Los ODP son calculados por la Organización Meteorológica Mundial (Huijbregts et al., 2016).

El principal compuesto que debilita la capa de ozono son los clorofluorocarbonos (CFC), que se encuentra presentes principalmente en refrigerantes y sistemas de aire acondicionado del siglo XIX (Yañez, 2014). A finales del año 1974 se dio a conocer por primera vez de manera pública en USA el efecto nocivo que causaban las partículas de cloro presentes en los CFC en la capa de ozono, alterándola de manera masiva. Después de diversas investigaciones a nivel global se firma el Protocolo de Montreal, donde participaron más de 55 países y entra en rigor desde el año 1989. Su objetivo fue eliminar todas las sustancias agotadoras de ozono (SAO) emitidas por los diversos sectores. Debido a este tratado se logró reducir más del 98% de las SAO controladas, y como efecto colateral se redujo las emisiones acumuladas de CO₂ en más de 135 000 millones de toneladas para el año 2013 (PNUD, 2014).

La emisión de SAO conduce en última instancia a daños a la salud humana debido al aumento resultante de la radiación UV (Huijbregts et al., 2016). Esta radiación trae como consecuencia un aumento las probabilidades de tener cáncer de piel, formación de cataratas, daños genéticos en el sistema inmune, alteración de procesos fisiológicos en las plantas, muerte de fitoplancton en los océanos, etc (Alcántara, 2017).

3. Radiación Ionizante: Las emisiones antropogénicas de radionúclidos se generan en el ciclo del combustible nuclear (minería, procesamiento y eliminación de desechos), así como durante otras actividades humanas. El Potencial de Radiación Ionizante (IRP por sus siglas en inglés), es relativo a la emisión de la sustancia de referencia Cobalto-60 al aire, produciendo un factor de punto medio en Co-60 a equivalentes de aire, y se usa como un indicador de punto medio (Huijbregts et al., 2016).

La exposición a la radiación ionizante causada por estos radionúclidos puede provocar daños en las moléculas de ADN, rompiendo alguno de sus enlaces e impidiendo que la célula pueda reproducirse, lo que podría llevar a un caso de infertilidad. Otra consecuencia importante es la mutación de la célula, lo que puede conducir a desordenes somáticos y a carcinomas (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020).

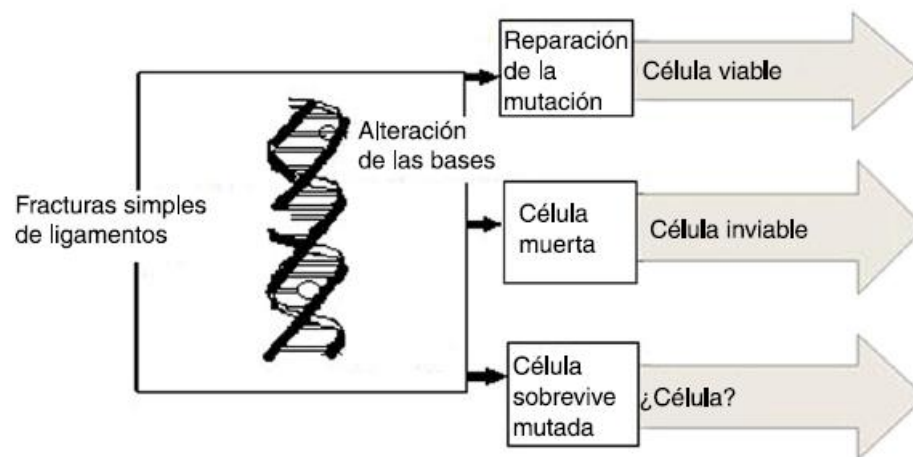


Figura 7 Consecuencias de los daños causados al ADN (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020).

Entre los principales efectos determinísticos, los que están en función de la dosis y tienen un umbral por debajo del cual el efecto no se manifiesta, se tienen lesiones celulares en tejidos y órganos, pérdida de capacidad reproductiva, descamación y ulceración crónica en la piel, revestimiento epitelial del intestino delgado, lesión del sistema nervioso central, necrosis cerebral, opacidad y producción de cataratas, anemia, entre otros. Adicionalmente, también pueden existir efectos en los descendientes del individuo irradiado (Puerta-Ortiz & Morales-Aramburo, 2020).

4. Formación de partículas finas: El material particulado fino con un diámetro de menos de $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas. $\text{PM}_{2,5}$ causa problemas de salud humana ya que alcanza la parte superior de las vías respiratorias y los pulmones cuando se inhala como se observa en la Figura 8. Los aerosoles secundarios de $\text{PM}_{2,5}$ se forman en el aire a partir de emisiones de dióxido de azufre (SO_2), amoníaco (NH_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Los potenciales de formación de partículas (PMFP por sus siglas en inglés) se expresan en equivalentes de $\text{PM}_{2,5}$, y se usa como un indicador de punto medio (Huijbregts et al., 2016).

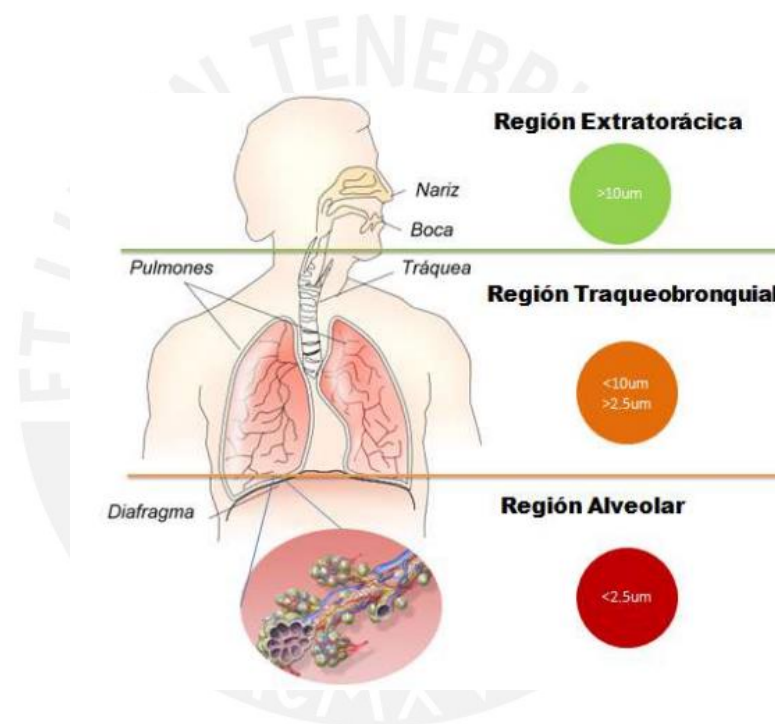


Figura 8 Órganos afectados en función del tamaño particulado (Betetta, 2021)

Los principales efectos del material particulado en el medio ambiente son aumento de la probabilidad y reincidencia de infecciones pulmonares, reducción del ritmo cardiaco, vasoconstricción y vasodilatación (Graff et al., 2004), rinoconjuntivitis aguda, daño pulmonar permanente, leucemia, etc. Asimismo, genera importantes efectos en el medio ambiente como lluvias acidas, eutrofización, reducción del rendimiento en cosechas y bosques, etc. (Betetta, 2021).

5. Formación de ozono fotoquímico: El ozono no se emite directamente a la atmósfera, pero se forma como resultado de reacciones fotoquímicas de NO_x y compuestos orgánicos volátiles no metano (NMVOCs por sus siglas en inglés). Tiene dos indicadores de nivel medio: uno para daño en la salud humana y otro para daño en los ecosistemas terrestres, y se mide en equivalentes de NO_x (Huijbregts et al., 2016).

Los efectos que se producen en los seres humanos varían de acuerdo a las concentraciones de ozono y al tiempo de exposición al elemento, como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2 Indicador de calidad de aire para ozono troposférico y problemas para la salud. *Adaptado de EPA, 2021*

VALORES µg/m ³	DESCRIPCIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	PROBLEMAS PARA LA SALUD
0 – 125	Buena	Probablemente ninguno
126 – 165	Moderada	Usualmente los individuos sensibles pueden experimentar efectos respiratorios debido al prolongado esfuerzo al aire libre especialmente cuando es extraordinariamente sensible al ozono
166 – 204	No saludable para grupos sensibles	Miembros de grupos sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios (tos, dolor al respirar profundamente)
205 – 243	Insalubre	Miembros de grupos sensibles tienen más posibilidades de experimentar síntomas respiratorios (tos y dolor agravados), reducción de la función de los pulmones.
244 - 793	Muy insalubre	Miembros de grupos sensibles experimentan síntomas respiratorios severos y respiración débil.

Además, el ozono puede tener un impacto negativo en la vegetación, incluida una reducción del crecimiento y la producción de semillas, una aceleración de la senescencia de las hojas y una capacidad reducida para resistir los factores estresantes (Huijbregts et al., 2016).

6. Acidificación terrestre: El potencial de acidificación (AP por sus siglas en inglés), es expresado en kg de equivalentes de SO₂, y se usa como un indicador de punto medio. La deposición atmosférica de sustancias inorgánicas, como sulfatos, nitratos y fosfatos,

provoca un cambio en la acidez del suelo. Para casi todas las especies de plantas, existe un nivel óptimo de acidez claramente definido. Una desviación grave de este nivel óptimo es perjudicial para ese tipo específico de especie y se denomina acidificación. Como resultado, los cambios en los niveles de acidez causarán cambios en la ocurrencia de una especie. Las principales emisiones acidificantes son NO_x , NH_3 o SO_2 (Huijbregts et al., 2016).

La acidificación de ecosistemas genera cambios en los niveles e importancia procesos de interacción que controlan la composición iónica de las precipitaciones atmosféricas, el nivel iónico del suelo y la composición química de las aguas subterráneas. Muchos estudios han concluido que la acidificación de las precipitaciones influye directamente en el incremento de la acidez de los suelos provocando una alteración en los nutrientes disponibles de las plantas, cambiando la composición del suelo, promoviendo una reducción en el proceso y nivel de composición de minerales, pudiendo provocar hasta necrosis (Del Rosario, 1992).

7. Eutrofización de agua dulce: La eutrofización del agua dulce se produce debido a la descarga de nutrientes en el suelo o en cuerpos de agua dulce y el consiguiente aumento de los niveles de nutrientes, es decir, fósforo y nitrógeno. Estos impactos de las emisiones al agua dulce se basan en la transferencia de fósforo del suelo a los cuerpos de agua dulce, su tiempo de residencia en los sistemas de agua dulce y en la fracción potencialmente desaparecida tras un aumento en las concentraciones de fósforo en el agua dulce. La eutrofización de agua dulce es expresada en kg equivalentes de fosforo, y se usa como un indicador de punto medio (Huijbregts et al., 2016).

Los impactos ambientales relacionados con la eutrofización del agua dulce son numerosos, y todos estos conducen a una pérdida relativa de biodiversidad. Entre las principales consecuencias se tiene (Moreta, 2011):

- Cambios biológicos: Aumento considerable del fitoplancton, donde las plantas acuáticas que se desarrollan en las partes más profundas desaparecen por las plantas

de la superficie. Además, se tiene un aumento de la actividad bacteriana y una reducción de las especies acuáticas.

- Cambios físicos: Los restos de animales y plantas muertos se acumulan en los fondos, frenando la circulación del agua, y el agua se cambia de color y emite un mal olor, siendo no apta para el consumo humano.
 - Cambios químicos: El oxígeno disuelto en el agua disminuye lo que afecta negativamente a los organismos, y generando un desequilibrio ecológico.
8. Toxicidad: El factor de la toxicidad humana y la ecotoxicidad explica la persistencia ambiental (destino), la acumulación en la cadena alimentaria humana (exposición) y la toxicidad (efecto) de una sustancia química. El potencial de toxicidad (TP por sus siglas en inglés), expresado en kg equivalentes de 1,4-diclorobenceno (1,4DCB-eq), se utiliza como un indicador de punto medio para la toxicidad humana, ecotoxicidad acuática de agua dulce, ecotoxicidad marina y ecotoxicidad terrestre (Huijbregts et al., 2016).
9. Consumo de agua: El consumo de agua es el uso de agua de tal manera que el agua se evapora, se incorpora a los productos, se transfiere a otras cuencas hidrográficas o se desecha en el mar. El agua que se ha consumido ya no está disponible en la cuenca de origen para los seres humanos ni para los ecosistemas. Este factor se utiliza como factor de punto medio, y se mide como m³ de agua consumida por m³ de agua extraída, es decir, es la cantidad de agua que está perdiendo la cuenca de origen (Huijbregts et al., 2016).

De acuerdo a la Agencia de la ONU para los refugiados, las principales causas son la contaminación tanto de agua, tierra o aire; sequías por el calentamiento global y un uso descontrolado de agua a nivel mundial. Las consecuencias que trae esta escasez a gran escala son:

- Enfermedad: La escasez de agua y la falta de sistemas de potabilización obliga a que se recurran a fuentes de agua contaminadas, que pueden transmitir enfermedades

como diarrea, cólera o poliomielitis, produciendo más de 500 mil muertes por diarrea al año.

- Hambre: Puede afectar a la agricultura por un riego insuficiente, al igual que a la ganadería y las industrias, provocando desabastecimiento de alimentos y hambre.
- Desaparición de especies vegetales
- Conflictos por el uso del agua y desplazamiento de miles de personas a países más seguros para vivir.

10. Uso del suelo: La vía de impacto del uso de la tierra como incluye el impacto local directo del uso de la tierra sobre las especies terrestres, el cambio de cobertura del suelo y el uso real de la nueva tierra. El cambio de cobertura terrestre afecta directamente el hábitat original y la composición original de las especies en consecuencia. El uso de la tierra en sí (es decir, actividades agrícolas y urbanas) descalifica aún más la tierra como un hábitat adecuado para muchas especies. Este factor se utiliza como factor de punto medio, y se mide en unidades crop equivalentes (Huijbregts et al., 2016).

El suelo constituye uno de los reservorios más importantes de carbono, que funciona como fuente y sumidero de CO₂, con un papel muy importante en el cambio climático global. Es por esto que es muy relevante analizar la cantidad que se libera de este cuando ocurre algún cambio en el uso del suelo (De la Rosa, 2008). El cambio de uso del suelo puede alterar la cubierta vegetal en cortos lapsos de tiempo de manera radical, provocando alteraciones en las propiedades físicas, química y microbianas del suelo (Huang et al., 2006). Un estudio realizado en México demuestra las alteraciones que sufre el suelo, analizando los factores de materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total y relación carbón-nitrógeno, para usos como pastizal, matorral, plantación y agrícola. Estos factores están directamente relacionados con el pH del suelo, niveles de nutrientes, retención de agua, porosidad, calidad para funciones agrícolas, crecimiento microbiano, etc (Cantú & Yañez, 2018).

11. Escasez de recursos minerales: Para la categoría de impacto de la escasez de recursos minerales, el modelado de daños se subdivide en varios pasos. La extracción primaria de un recurso mineral conducirá a una disminución general de la ley del mineral, lo que a su vez aumentará el mineral producido por kilogramo de recurso mineral extraído. El factor de punto medio para la escasez de recursos minerales es el potencial de mineral excedente (SOP por sus siglas en ingles), y se expresa en kg de cobre (Cu) equivalente, considerando toda la producción futura de cobre (Huijbregts et al., 2016).
12. Escasez de recursos fósiles: Para la categoría de impacto escasez de recursos fósiles, el modelado de daños se subdivide en varios pasos. Se asume en el modelado de punto final que los combustibles fósiles con los costos más bajos se extraen primero. En consecuencia, el aumento en la extracción de combustibles fósiles provoca un aumento en los costos debido a un cambio en la técnica de producción o al abastecimiento de una ubicación más costosa. El potencial de combustibles fósiles se utilizó como indicador de punto medio, y se mide en kg de combustible fósil del recurso fósil (kg petróleo-eq) equivalente (Huijbregts et al., 2016).

Actualmente, los combustibles fósiles son un aspecto esencial para el funcionamiento de nuestra economía, por lo que analizar su extracción a través de modelos estadísticos es algo necesario. Se realizó un estudio en la Universidad de Barcelona para determinar las curvas de extracción y posible agotamiento de petróleo convencional, gas natural, y petróleo más gas natural usando 5 funciones matemáticas, proyecto hasta el año 2100. La Tabla 3 resumen los años de máxima extracción de los diferentes recursos (Salaet & Roca, 2010).

Tabla 3 Máxima extracción de los diferentes recursos (Salaet & Roca, 2010).

ESCENARIO	PETRÓLEO CONVENCIONAL	GAS NATURAL	PETRÓLEO + GAS NATURAL
Simétrico bajo	2005	2019	2010
Simétrico alto	2022	2041	2030
Meseta alto	2016-2036	2037-2057	2036
Asimétrico bajo	2011	2031	2013
Asimétrico alto	2031	2052	2034

Por lo tanto, de acuerdo a todos los supuestos realizados, el máximo de energía primaria que procede del petróleo y gas natural se situaría en el periodo 2010-2034. Asumieron desde ese punto que la extracción de carbón aumentaría para compensar la caída, con valores tan altos que serían nefastos desde el punto de vista ambiental. El estudio concluye que el agotamiento del petróleo y del gas natural no solo será un reto para el cambio del modelo energético, sino que puede ir acompañado de escenarios de emisiones con efectos dramáticos (Salaet & Roca, 2010).

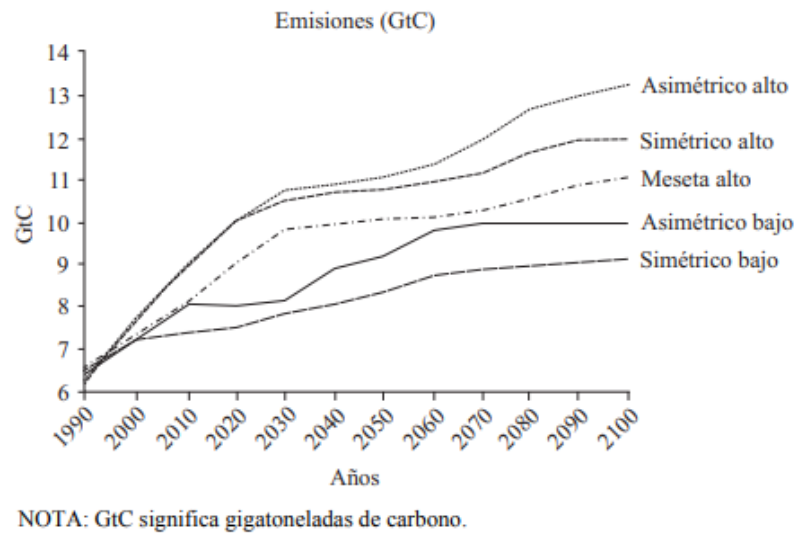


Figura 9 Emisiones de CO₂ derivadas del uso de combustibles fósiles en los diferentes escenarios (Salaet & Roca, 2010).

Para aplicar esta metodología existen 3 perspectivas incluidas dentro de ReCiPe2016 (Huijbregts et al., 2016):

1. La perspectiva individualista (*Individualist*) está basada en el interés a corto plazo, las categorías de impacto que son indiscutibles y tiene un enfoque de optimismo tecnológico respecto a la adaptación humana. Tiene un tiempo horizonte de 20 años.
2. La perspectiva jerarquista (*Hierarchist*) está basada en un consenso científico con respecto a un marco temporal y la plausibilidad de los mecanismos de impacto. Tiene un tiempo horizonte de 100 años.

3. La perspectiva igualitaria (*Egalitarian*) es la perspectiva más conservadora, ya que toma en cuenta el marco de tiempo más largo y todas las categorías de impacto para las que hay datos disponibles. Tiene un tiempo horizonte de 1000 años a infinito.

Para el análisis a realizar dentro de la presente investigación se tomará en cuenta el Método ReCiPe 2016 Midpoint (H), es decir el que utiliza los indicadores ambientales en el punto medio (midpoint) con una perspectiva jerarquista.



CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO

El ACV que se realizará en el presente trabajo de investigación está orientado al proyecto de la construcción de un centro de mantenimiento de maquinarias, denominado *Truckshop*. El proyecto se encuentra ubicado dentro de una unidad minera, en el distrito de Marcona, departamento de Ica.

Se eligió el proyecto en cuestión debido a que la unidad minera se encuentra actualmente en etapa de construcción, por lo que se puede obtener con mayor exactitud la información durante la etapa de recopilación de datos, para poder generar el Inventario de Ciclo de Vida (ICV). Para los procesos en los que no se consiguieron datos de fuentes primarias se recurrió a fuentes de datos secundarias.

A continuación, se presentará el caso de estudio con mayor detalle, las consideraciones para las etapas de ciclo de vida del mismo y las limitaciones del proyecto.

4.1 Definición del sistema

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Ica, provincia de Nazca, distrito de San Juan de Marcona. Abarca un área de 4612 m², donde se incluyen todas las áreas definidas, pases vehiculares, veredas, áreas de almacenes, etc; y se encuentra a una altitud de 835.5 m.s.n.m.

Las áreas en las que se divide el proyecto se muestran en la Tabla 4, y su distribución en planta se encuentra en la Figura 10. Para el presente estudio solo se considera la Fase 1, desarrollada durante todo el 2019, puesto que la ingeniería de las otras fases aún se encuentra en una etapa inicial, por lo que recopilar información para incluirla dentro del inventario de ciclo de vida puede generar incertidumbre dentro de los resultados obtenidos.

Tabla 4 Listado de áreas dentro del *Truckshop*.

Ítem	Código de Área	Área	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
1	1610	Área de administración	Todo			
2	1621	Taller principal	3 bahías		1 bahía	
3	1622	Almacén de taller	Todo			
4	1623	Área de ensamble de neumáticos	Todo			
5	1624	Área de almacenamiento de lubricantes	Todo			
6	1625	Taller de soldadura	Todo			
7	1626	Taller de mantenimiento de equipos livianos		2 bahías		1 bahía
8	1628	Lavado de camiones	Todo			
9	1631	Sala de compresores	Todo			
10	1633	Sistema de agua desalinizada	Todo			
11	1636	Sala eléctrica	Todo			

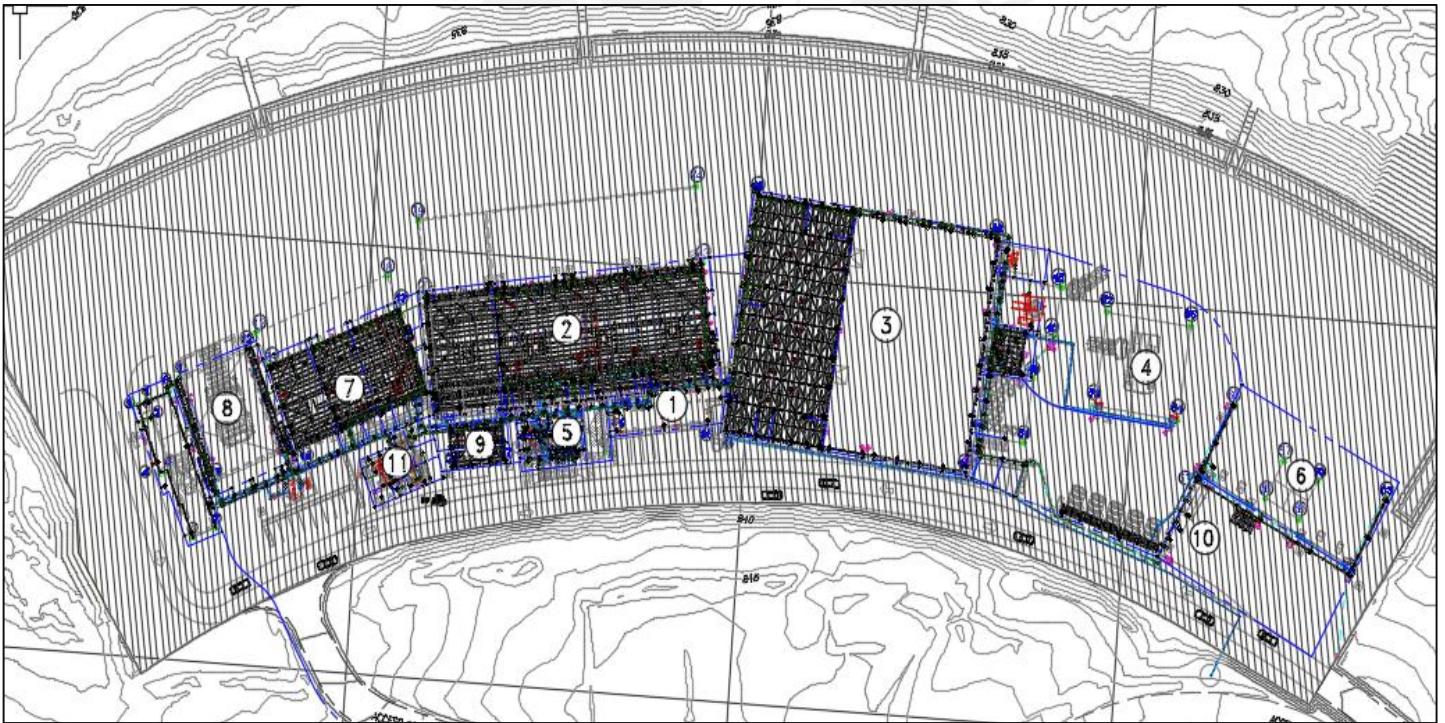


Figura 10 Plano de planta del *Truckshop*.

El proyecto se dividía en diversas especialidades, las cuales son:

- Movimiento de tierras: Todo lo concerniente a las excavaciones para zapatas, losas, líneas de tuberías, cerco perimétrico, manholes, buzones sanitarios, etc.

- Obras de concreto armado: Incluye todos los elementos de concreto armado, que son las zapatas, losas, topes de neumáticos, muros, manholes, buzones sanitarios, ductos para tuberías, etc.
- Estructuras metálicas: Incluye todos los perfiles de las estructuras metálicas que se encuentran en las diferentes áreas.
- Arquitectura: Incluye todos los recubrimientos de las estructuras metálicas, techos, accesorios de coberturas, elementos de drywall.
- Mecánica: Incluye todos los equipos mecánicos, entre los que se encuentran las bombas, tanques, puente grúa, portones eléctricos, compresores, etc.
- Tuberías: Incluye todo el sistema de tuberías para agua potable y desalinizada, aire comprimido, lubricantes, agua contra incendio.
- Eléctrica e Instrumentación: Incluye la sala eléctrica prefabricada, así como todos los cables, instrumentos, tableros eléctricos del sistema eléctrico y de instrumentación.

Cada especialidad tiene un alcance distinto dentro de cada área del proyecto, dependiendo de los requerimientos y las funciones que cumplen, por lo que se explicará cada área del proyecto a continuación:

- Área 1610 – Área de administración

El área administrativa está conformada por un ambiente para oficinas administrativas, formada por 2 contenedores de 40' ST, sala de reuniones con capacidad para 20 personas, formada también por 2 contenedores de 40' ST. Todos estos ambientes incluyen sistema de comunicación de voz y datos. Además, cuenta con servicios higiénicos para el personal administrativo y operativo, formado por 1 contenedor de 20' ST, y una zona de parqueo para 10 camionetas.



Figura 11 Modelo 3D Área de Administración.

- Área 1621 – Taller principal

El taller de mantenimiento consta de una nave industrial que alojará 4 bahías de mantenimiento de 22 m de largo x 18 m de ancho entre ejes. La estructura se compone de un sistema aporticado de vigas y columnas metálicas dispuestas sobre pedestales de concreto armado. El taller está proyectado para construirse en 2 etapas, donde la Fase 1 tiene como alcance la construcción de 3 bahías, donde se realizará el mantenimiento de los equipos gigantes.

Cada bahía tendrá suministro de servicios (lubricantes, refrigerante, aire, agua, energía, desagüe, etc), un portón enrollable con mecanismo de apertura para el ingreso del equipo minero de 13 m de ancho x 9 m de alto, y un ventilador hidráulico en el techo de cada uno de ellas.



Figura 12 Modelo 3D Taller principal

El taller incluye un puente grúa de 20 t. de capacidad del gancho principal y con un gancho auxiliar de 5 t., que permiten el retiro del motor, transmisión y otros componentes mayores de los equipos, el recorrido del puente grúa es perpendicular a la dirección de ingreso de los camiones y su recorrido cubre solo las primeras tres bahías del taller.

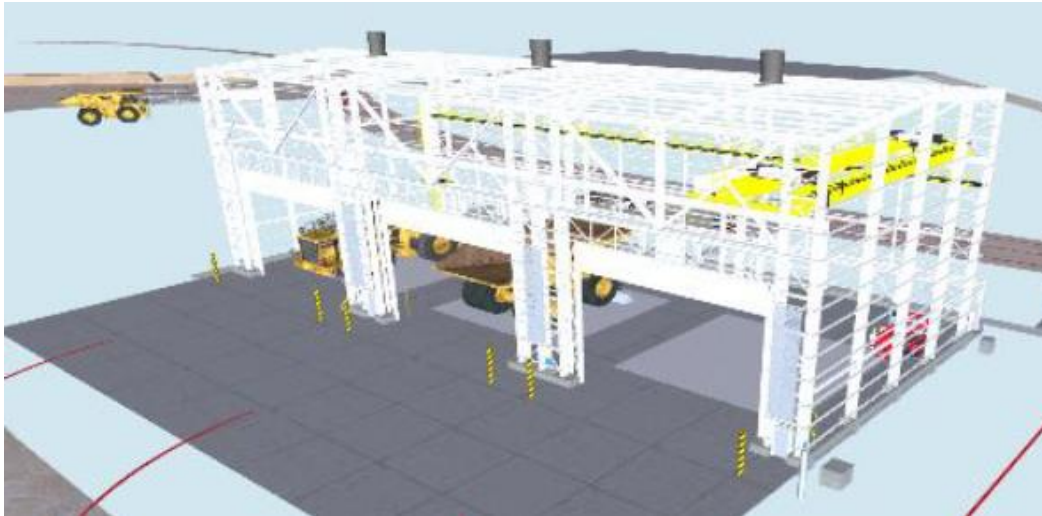


Figura 13 Modelo 3D Ubicación del puente grúa.

- Área 1622 – Almacén de taller

El almacén del taller consta de 2 áreas: 01 almacén sin techar delimitado por cerco perimétrico de 55.00 m de largo x 34.00 m de ancho y 01 almacén techado de 55.00 m de largo x 25.00 m de ancho.

- I. Almacén sin techar delimitado por cerco metálico

Se compone de un espacio abierto a manera de patio donde se almacenan piezas de grandes dimensiones, dispuestas de forma lineal, manteniendo pasajes de circulación para montacargas de 4.00 m de ancho para el acceso al almacén principal.

El área se encuentra delimitada por un cerco de malla metálica olímpica y alambre de púas. El acabado del piso es terreno natural nivelado y compactado.

II. Almacén de partes y componentes – Almacén principal

Se compone de una nave industrial de 55.00 m x 25.00 m y 10.40 m de alto. El sistema estructural es aporticado, formado por columnas tubulares y vigas de acero, y techo reticular con forma de arco. Al interior se encuentran racks metálicos para almacenar herramientas y repuestos de maquinaria pesada.



Figura 14 Modelo 3D Almacén de taller.

- Área 1623 – Área de ensamble de neumáticos

El área de ensamblaje de neumáticos se compone de 06 sub-áreas. No presenta cerramientos laterales ni cobertura. Ocupa un área de terreno de 50.00 x 55.00 m.

I. Área de cambio de neumáticos

Consta de una losa de concreto de 22.00 x 22.00 m donde se posiciona el camión para el proceso de cambio de neumáticos. El perímetro incluye tomas de conexión de aire y agua. Esta área cuenta con 02 carretes retráctiles de agua, 02 carretes retráctiles de aire y 04 carretes retráctiles de aire para inflado.

II. Área de reparación de neumáticos

Consta de una losa de concreto de 7.00 x 6.00 m y un soporte giratorio para neumáticos. No incluye cerramiento ni cobertura. Sobre dicha losa se instaló un el soporte giratorio de neumáticos.

III. Área de armado de neumáticos

Consta de una losa de concreto de 15.00 x 11.70 m. No incluye cerramiento ni cobertura. Sobre dicha losa se instaló un tire press, dicho equipo se usa para desarmar y armar los componentes del neumático para luego ser instalados en los camiones o vehículos. Esta área cuenta con un carrete retráctil de agua, un carrete retráctil de aire y un carrete retráctil de aire para inflado.

IV. Sala de compresor

Consta de una nave industrial de 10.35 x 8.20 m, compuesta por columnas y vigas metálicas formando un sistema aporticado. La estructura se emplaza sobre pedestales de concreto armado. La sala del compresor cuenta con 01 acceso de 3.00 m x 3.00 m. En el interior el área se ubica 01 compresor de aire, 01 secador de aire y 02 acumuladores de aire.

V. Almacén de aros

Consta de una losa de concreto de 14.95 m x 11.00 m. No presenta cobertura ni cerramientos laterales.

VI. Almacén de herramientas

Consta de un contenedor de 20' estándar, adaptado para su uso como almacén. Incluye una puerta de acceso de 1.00 x 2.10 m y 02 ventanas altas para ventilación e iluminación. En el interior se disponen 10 racks de acero de 0.54 x 1.20 x 1.83 m.



Figura 15 Modelo 3D Área de ensamble de neumáticos.

- Área 1624 – Almacenamiento de Lubricantes

El área de almacenamiento de lubricantes no presenta cerramientos laterales ni cobertura. Ocupa un área de terreno de 16.80 x 20.80 m. La función de estas instalaciones es recibir, filtrar, almacenar y distribuir los lubricantes y refrigerantes necesarios para las operaciones de mantenimiento al interior del Taller principal, vehículos livianos y el suministro a los camiones lubricadores.

El área cuenta con 04 zonas, un andén de descarga, una plataforma de recepción, un área de almacenamiento de cilindros y un área de tanques de almacenamiento (1 tanque de refrigerantes y 4 de aceite usado).

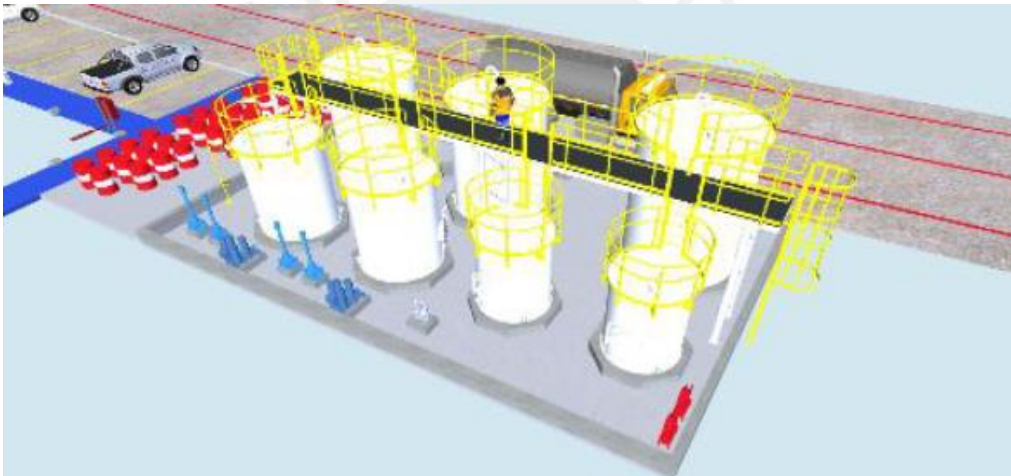


Figura 16 Modelo 3D Almacenamiento de lubricantes.

Para los sistemas de recepción de lubricantes y refrigerantes se utilizarán 5 bombas de recepción; y el sistema de despacho de lubricantes utiliza 5 bombas neumáticas de despacho de aceite.

- Área 1625 – Taller de soldadura

El taller de soldadura es el área donde se van a realizar los trabajos de preparación y soldadura de los componentes estructurales de los equipos como tolvas, hojas de corte, brazos de soporte y chasis, entre otros.

El proyecto comprende el habilitado de 3 bahías de soldadura de 15 x 20 m, solo la bahía central contará con una losa de 10 x 10 m. Se incluye un Almacén de materiales de aproximadamente 600 m² ubicado a un costado del taller.

Los cerramientos laterales se disponen como medio de seguridad, formando la disposición de “U” en planta, con el acceso abierto desde la parte posterior.

El taller de soldadura cuenta con 02 carretes retráctiles de agua y 08 carretes retráctiles de aire los cuales están ubicados cerca del cerco del taller.

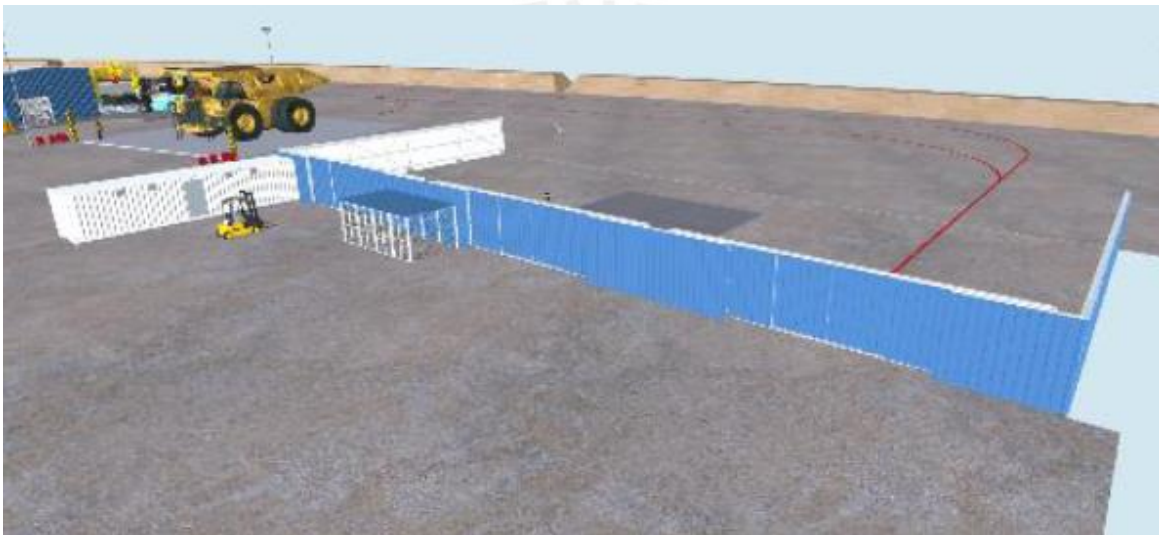


Figura 17 Modelo 3D Taller de soldadura.

- Área 1628 – Lavadero de camiones

El área incluye 2 zonas, el área de lavado de camiones de 9.50 x 13.00 m, y el área de lavado de retroexcavadoras, de 4.50 x 16.50 m. Ambas zonas cuentan con losas de concreto con inclinación para derivar el agua del proceso.

En el área de lavado se colocaron rieles al ras de la losa que la protegerá contra el desgaste producido por el tránsito de equipos con orugas. Dicha losa cuenta con muros o barreras laterales frente a las estructuras para protección contra los chorros de agua proveniente de los cañones del lado opuesto de la bahía.

El taller de lavado de camiones constará de estructuras para facilitar el lavado de camiones mineros y equipos auxiliares. Para lo cual se considera la ubicación estratégica de 6 monitores manuales de lavado distribuidos en dos niveles, operando dos monitores a la vez, es decir uno a cada lado de la losa de lavado.

Cuenta con un tanque es de una capacidad de 66 m³, fabricado con planchas de acero estructural. Para el proceso de lavado con agua caliente, el sistema cuenta con una hidrolavadora.

También se tiene el sistema de separador de aceite, que es un equipo que remueve el aceite, grasa, grasas animales y aceites vegetales de la superficie de los procesos industriales o de aguas residuales para luego el aceite pueda ser recolectado. El separador a usar en este proyecto será un Oil Skimmer del tipo Tubo colector.

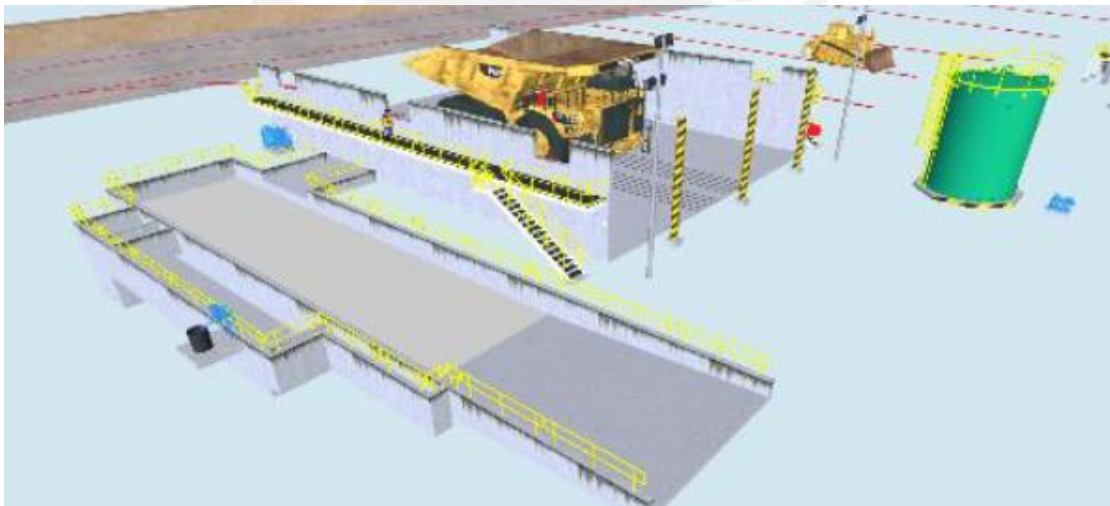


Figura 18 Modelo 3D Lavadero de camiones.

- Área 1631 – Sala de compresores

La sala de compresores suministrará aire comprimido mediante una red de tuberías de acero al carbono al área de almacenamiento de lubricantes, taller de mantenimiento de camiones mineros, lavadero de camiones, y demás talleres.

Esta área cuenta con 02 compresores, donde una estará en operación y otro en reposo. A la descarga de cada compresor se instaló un secador de aire, el aire seco será almacenado en el acumulador de aire.

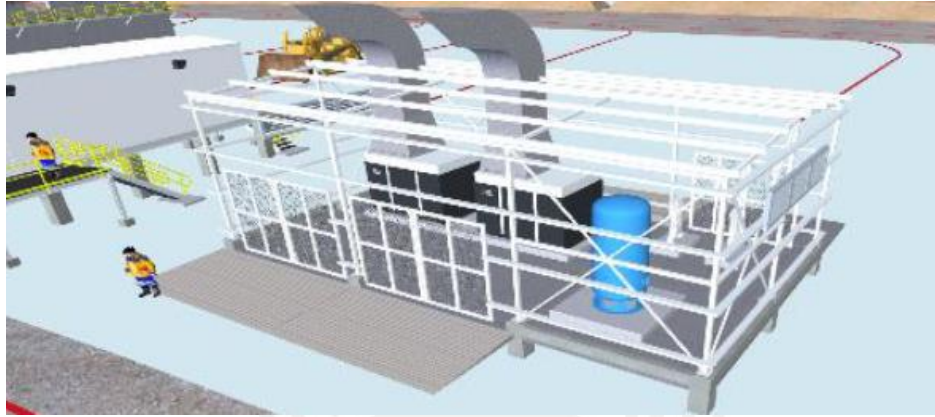


Figura 19 Modelo 3D Sala de compresores.

Los compresores, secador de aire y tanque de almacenamiento están alojados en una losa de concreto cubierto por una nave techada, donde el aire fresco ingresa a través de los louvers ubicados en las paredes de la nave y la evacuación del aire caliente proveniente del sistema de enfriamiento de aire del compresor será a través de ductos de ventilación



Figura 20 Modelo 3D Sala de compresores.

- Área 1633 – Sistema de agua desalinizada

Dentro del proyecto se requiere agua industrial, el cual se distribuirá a las diferentes áreas. Se suministrará agua desalinizada desde esta área al área administrativa, almacén de lubricantes,

taller de mantenimiento de camiones mineros, taller de mantenimiento de vehículos livianos, lavadero de camiones, ensamblaje de neumáticos y taller de soldadura.

El sistema de agua desalinizada consta de 02 sistemas, el primero distribuirá a las diferentes áreas y el segundo será derivada al tanque de almacenamiento de agua desalinizada a través de una tubería de 2 pulgadas de acero al carbono.

El tanque de almacenamiento de agua desalinizada fue fabricado con planchas de acero estructural y una capacidad neta de 66.4 m³.



Figura 21 Modelo 3D Gabinete contra incendios.

- Área 1636 – Sala eléctrica y subestación

La sala eléctrica consta de una estructura pre-fabricada tipo shelter de 4.00 m de largo x 11.00 m de ancho, que alberga los tableros eléctricos del Taller de mantenimiento de equipos de mina. Anexo a la sala eléctrica se ubica la sub-estación eléctrica, aislada por un muro de concreto cortafuego.

La sub-estación eléctrica se delimita por un cerco de malla metálica galvanizada y alambre de púas. Además, se realizó la instalación de un gabinete de comunicación, que se interconecta con los que se encuentran en el Taller principal y el Almacén de Taller.

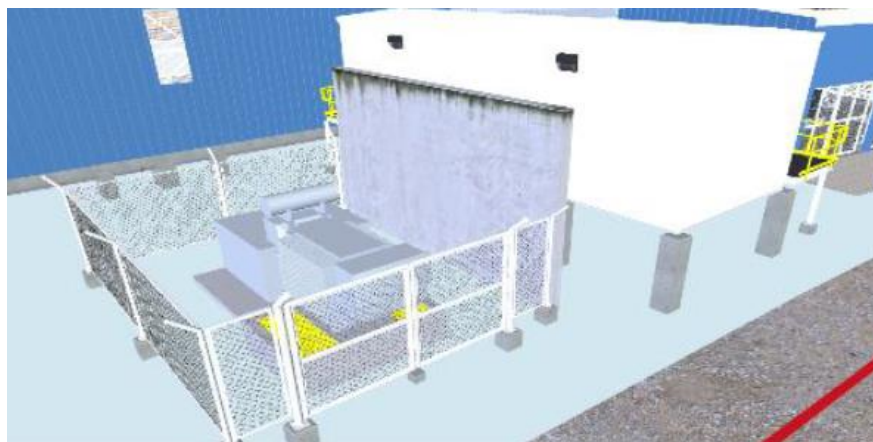


Figura 22 Modelo 3D Sala eléctrica y subestación.

4.2 Alcance y límites del sistema

Las consideraciones de cada etapa del Ciclo de Vida para el caso de estudio son:

- Pre-uso: Se consideran todos los materiales dentro del metrado del proyecto, donde se considera el concreto, acero estructural, estructuras metálicas, tuberías, cables eléctricos y de instrumentación, coberturas, contenedores, entre otros; así como el combustible consumido por la maquinaria que se utilizó para los procedimientos constructivos y los procesos de excavación.
- Uso: Se considera la energía eléctrica para el funcionamiento de todas las áreas del proyecto, así como el uso agua potable y desalinizada, lubricantes y refrigerantes para el uso y mantenimiento de equipos propios e instalaciones.
- Fin de Vida: Para el alcance de este proyecto se realiza una estimación de los desechos después de una demolición y su posterior movilización a un relleno sanitario autorizado.

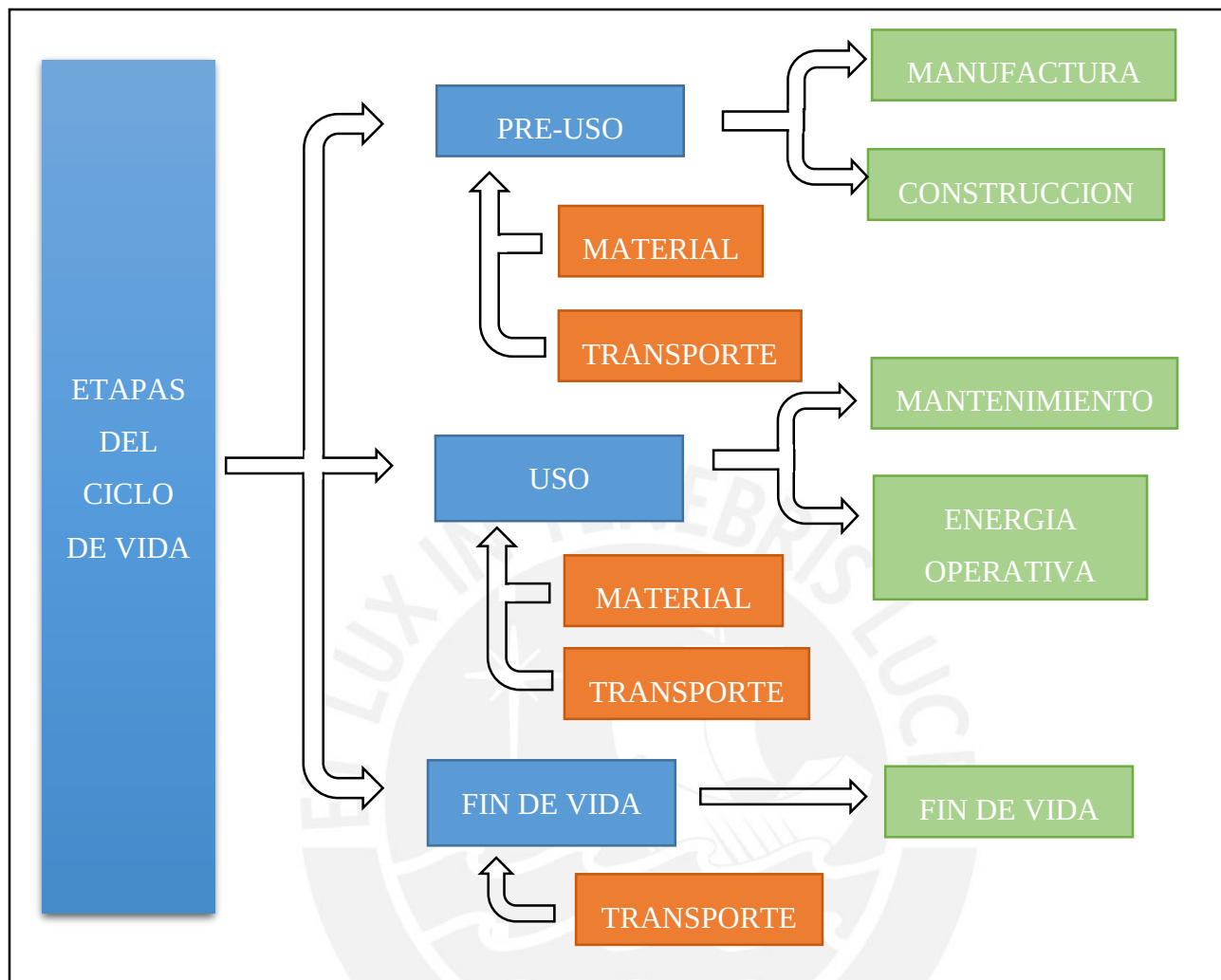


Figura 23 Etapas del Ciclo de vida. *Adaptación propia (García, 2014).*

La recolección de datos es la obtención de información técnica del proyecto de construcción a ser evaluado. La incertidumbre de los resultados obtenidos depende en gran medida de la calidad y la precisión de los datos correspondientes a los procesos constructivos y demás actividades relacionadas al mismo.

Para obtener el metrado de los materiales que se utilizaron durante la construcción se recurrió al expediente de inicio del proyecto, donde se indicaba toda esa información de la ingeniería inicial. Durante el proyecto hubo cambios dentro de la ingeniería por coordinaciones con el cliente y por incompatibilidades dentro de las especialidades, por lo que toda la información se contrastó con los reportes diarios de construcción que eran entregados por todos los supervisores de producción. Asimismo, el detalle de los procesos constructivos y los cambios que se realizaron fueron

consultados de manera directa. La Tabla A1 del anexo muestra la equivalencia de los materiales usados en la manufactura de la etapa de pre-uso del proyecto con la base de datos de Ecoinvent, y la Tabla A2 del anexo muestra el inventario de dichos materiales para cada área del proyecto acorde a la base de datos del Ecoinvent.

Los equipos mecánicos instalados dentro de las diferentes áreas fueron inventariados por el área de logística al inicio del proyecto, como el puente grúa, los portones eléctricos, compresores de aire y la sala eléctrica.

Asimismo, otros reportes consideran los equipos existentes, la cantidad de combustible mensual usado por cada maquinaria durante todo el proyecto y el tipo de combustible, que se detalla en la Tabla 5. De esta forma es posible calcular la cantidad real del combustible utilizado, y consecuentemente el impacto que tiene tanto su producción como su combustión. Dichos equipos se subdividen en:

- Equipos eléctricos: La energía eléctrica necesaria durante la etapa de pre-uso se obtuvo de grupos electrógenos, y la iluminación cuando se requería se obtuvo de torres de iluminación, todos a base de diésel.
- Equipos mecánicos: La maquinaria necesaria para los procesos constructivos de la etapa de pre-uso se encuentra en esta sección, como retroexcavadoras, grúas telescópicas, manlifts, bomba de concreto, etc.
- Equipos de transporte: Los equipos de transporte, como camionetas, buses y minibús, se encuentran dentro de esta sección. Cabe resaltar que solo consideran el transporte del personal dentro de la unidad minera; el traslado externo hacia la unidad minera no está considerado por no contar con esa información.

Se utilizó un modelado diferente para analizar los impactos de la producción y el consumo de combustible, debido a que las emisiones al aire generadas por la quema de combustibles fósiles tienen una gran relevancia dentro de distintas categorías de impacto. El detalle del modelo y los resultados se encuentran especificados en la Sección 4.3.

Tabla 5 Consumo total de combustible de los equipos electromecánicos para toda la etapa de construcción y transporte.

CANT	EQUIPOS	COMBUSTIBLE	CONSUMO (gal)
EQUIPOS ELECTRICOS			
5	Grupo electrógeno MP - 281	Diésel	3604.6
5	Torre Iluminación TEREX	Diésel	1535.1
EQUIPOS MECANICOS			
1	Retroexcavadora JHON DEERE RE-003	Diésel	1790.5
1	Retroexcavadora JBC RE-005	Diésel	1790.5
1	Excavadora sobre orugas HYUNDAI EX007	Diésel	3600
4	Manlift S-125 MLH-001	Diésel	3360
1	Cargador sobre llantas	Diésel	720
1	Martillo Hidráulico	Diésel	2400
1	Martillo Neumático	Diésel	2400
1	Minicargador	Diésel	600
1	Motoniveladora	Diésel	840
1	Rodillo liso vibrador	Diésel	1920
1	Vibroapisonador	Diésel	2880
1	Grúa telescópica 90 ton	Diésel	2100
1	Grúa telescópica 160 ton	Diésel	1440
1	Bomba de concreto	Diésel	1920
1	Camión Grúa FREIGHTLINER CG-002	Diésel	1896.0
1	Cisterna de agua	Diésel	722.1
EQUIPOS TRANSPORTE			
1	Camión Furgón Mercedes Benz	Gasolina	1653.9
2	Minibús Mitsubishi Fuso	Gasolina	1545.4
1	Minibús Mercedes	Gasolina	720
2	Bus Iveco	Gasolina	360
4	Camioneta Toyota	Gasolina	2285.8

Para la etapa de uso, se utiliza la red de energía que proviene de la red eléctrica nacional. Para calcular el consumo eléctrico de la edificación se obtiene la potencia (kW) total de los diagramas unifilares de la sala eléctrica, como se muestra en la Tabla 6. Esta potencia multiplicada por la cantidad de horas anuales para un tiempo de vida de 20 años, que es el utilizado para el diseño estructural de la infraestructura, da como resultado el consumo total de energía eléctrica, de manera nominal. Se asume un consumo paralelo de todos los terminales por un tiempo estimado de 48 horas semanales, debido a que no se cuenta con la información específica de la cantidad de energía consumida durante la etapa de uso.

Tabla 6 Potencia total en kW de la sala eléctrica.

Terminal	Descripción	Potencia (kW)
C2	Tablero de fuerza y control (bomba de agua desalinizada)	4.5
C6	Puente grúa	26.4
C7	Bomba sumidero	7.5
C8	Portón eléctrico	4.2
C9	Portón eléctrico	4.2
C10	Portón eléctrico	4.2
C11	Extractor centrifugo	5.6
C12	Extractor centrifugo	5.6
C13	Extractor centrifugo	5.6
C15	Equipo de aire acondicionado	3.5
C16	Compresor de aire	88.4
C17	Secador de aire	8.3
C18	Soporte girador de neumáticos	11
C19	Equipo tire press	43
C20	Sistema de microfiltrado de aceite SAE 10W	3
C21	Sistema de microfiltrado de aceite SAE 15W40	3
C22	Sistema de microfiltrado de aceite SAE 30	3
C23	Sistema de microfiltrado de aceite SAE XDF60	3
C24	Calefactor de inmersión de tanque de mantenimiento	10
C25	Calefactor de inmersión de tanque de almacenamiento	10
C26	Bomba de agua de lavado	37.28
C27	Bomba de agua de lavado auxiliar	14.91
C28	Bomba de recuperación de agua	37.28
C29	Hidrolavadora	9.3
C30	Desnatadora de aceite	0.5
C31	Filtro autolimpiante	0.5
C32	Compresor de aire	184.1
C33	Compresor de aire	184.1
C34	Secador de aire	30
C35	Secador de aire	30
C46	Tablero de alumbrado sala eléctrica	15
C47	Tablero de distribución de alumbrado	100
C49	Tablero de climatización HVAC	10
C50	Tablero de UPS	10
C51	Tomacorriente soldadura, taller principal y equipos menores	60
C52	Tomacorriente soldadura, taller principal y equipos menores	60
C53	Tomacorriente soldadura, taller principal y equipos menores	60
C55	Tomacorriente soldadura reparación de neumáticos	60

C56	Tomacorriente soldadura reparación de neumáticos	60
C57	Tomacorriente soldadura almacenamiento de lubricantes	30
C58	Tomacorriente soldadura almacenamiento de lubricantes	60
C59	Tomacorriente soldadura taller de soldadura	60
C60	Tomacorriente soldadura taller de soldadura	60
C61	Tomacorriente soldadura área de lavado	60
C62	Tomacorriente soldadura sala de compresores	60
C66	Tomacorriente soldadura subestación eléctrica	30
C68	Tablero de HVAC	14.1
C71	Bomba de agua desalinizada	5.6

Asimismo, para la etapa de uso los materiales a usar dentro del modelo son: agua potable, agua desalinizada, aceite lubricante y refrigerante. Para el agua potable y agua desalinizada se presenta los flujos de diseño en la Tabla 7, y para el aceite lubricante y el refrigerante se presenta los volúmenes de los tanques donde se encuentran almacenados en la Tabla 8. Para el aceite lubricante y refrigerante se asume que se utilizaran 1 tanque de cada liquido al año.

Tabla 7 Flujo de diseño para el agua desalinizada y agua potable.

Línea	Flujo de diseño	Unidad
Sistema de agua desalinizada – Taller principal	60	(m ³ /h)
Sistema de agua desalinizada - Hidrolavadora	1.8	(m ³ /h)
Agua potable	1.33	litros por segundo (lps)

Tabla 8 Capacidad neta de los tanques de aceite lubricante y refrigerante.

Tanque	Liquido	Volumen neto (m3)
1624-TK-001	Aceite lubricante SAE 10W	18
1624-TK-002	Aceite lubricante SAE 15W40	18
1624-TK-003	Aceite lubricante SAE 30	9
1624-TK-004	Aceite lubricante XFD60	9
1624-TK-005	Refrigerante	5

Para la etapa de fin de vida no se cuenta con información sobre el destino final de la infraestructura, si será demolida o tendrá un reforzamiento estructural, la maquinaria utilizada para tal fin, el tratamiento de los residuos sólidos, etc. Por tal motivo, para efectos del modelamiento de la etapa de fin de vida del presente caso de estudio, se asumirá que la estructura será demolida en su totalidad después de culminar su tiempo de vida de 20 años, tiempo que se consideró durante la etapa de diseño estructural. También se asumirá que los residuos sólidos serán trasladados al relleno sanitario Loma Ondulado, en la región de Ica, ya que es el más cercano a la unidad minera.

Para tal fin, es necesario conocer las características de los escombros que se van a generar producto de la demolición. Ya que no se cuenta con ningún tipo de información al respecto es posible estimarla a través de valores teóricos y métodos ya establecidos. Para el presente estudio se empleará el método propuesto en el *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste* (Pacheco-Torgal *et al.*, 2013). En la Tabla 9 y 10 se presentan las tasas medias de masa y volumen necesarios para los cálculos:

Tabla 9 Tasas medias de generación de Residuos de Construcción y Demolición en masa (kg/m²). *Adaptado de Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste (Pacheco-Torgal et al., 2013).*

Tipo de Construcción	Construcción pesada (albañilería, concreto, etc.)		Construcción Ligera (prefabricados, drywall, madera, etc.)	
	Residencial	No residencial	Residencial	No residencial
Edificaciones Nuevas	120-140	100-120	20-22	18-20
Rehabilitación	300-400	250-350	90-120	80-90
Demolición	800-1000	1000-1200	500-700	700-800

Tabla 10 Tasas medias de generación de Residuos de Construcción y Demolición en volumen (m³/m²). *Adaptado de Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste (Pacheco-Torgal et al., 2013).*

Tipo de Construcción	Construcción pesada (albañilería, concreto, etc.)		Construcción Ligera (prefabricados, drywall, madera, etc.)	
	Residencial	No residencial	Residencial	No residencial
Edificaciones Nuevas	0.12-0.14	0.10-0.12	0.02-0.03	0.02-0.03
Rehabilitación	0.3-0.4	0.25-0.35	0.1	0.09-0.10
Demolición	0.80-1.00	1.00-1.20	0.50-0.70	0.70-0.80

De los planos de arquitectura se puede obtener el área total de toda la infraestructura del *Truckshop*, que se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11 Área de ambientes del *Truckshop*

Código de área	Ambiente	Área (m2)
1610	Área de administración	250.00
1621	Taller principal	1167.70
1622	Almacén de taller	1352.80
1623	Área de ensamble de neumáticos	986.32
1624	Área de almacenamiento de lubricantes	349.44
1625	Taller de soldadura	100.00
1628	Lavado de camiones	197.75
1631	Sala de compresores	121.50
1635	Sistema de agua desalinizada	42.50
1636	Sala eléctrica	44.00
		4612.01

Con el área total calculada se puede estimar, usando un factor de 1.2 para masa y volumen por ser una construcción pesada no residencial, un valor de 5534.41 toneladas y el mismo valor para metros cúbicos de escombros generados. Usando este valor se puede realizar un modelado de transporte de escombros desde la unidad minera hasta relleno sanitario Loma Ondulado, que es de 150 km. Asumiendo un camión con un volumen de transporte estándar se calcula las toneladas-kilómetros que serán transportadas hacia el relleno sanitario, que son de 830161.80 tkm. La base de datos de Ecoinvent calcula los transportes para un factor de carga medio e incluyen viajes de ida y vuelta vacíos. Cabe resaltar que la etapa de fin de vida solo contempla el transporte, mas no contempla el tratamiento de los residuos sólidos dentro del relleno sanitario.

Con todo lo calculado anteriormente para el inventario de ciclo de vida se puede definir los límites del sistema del caso de estudio, como se puede ver en la Figura 24.

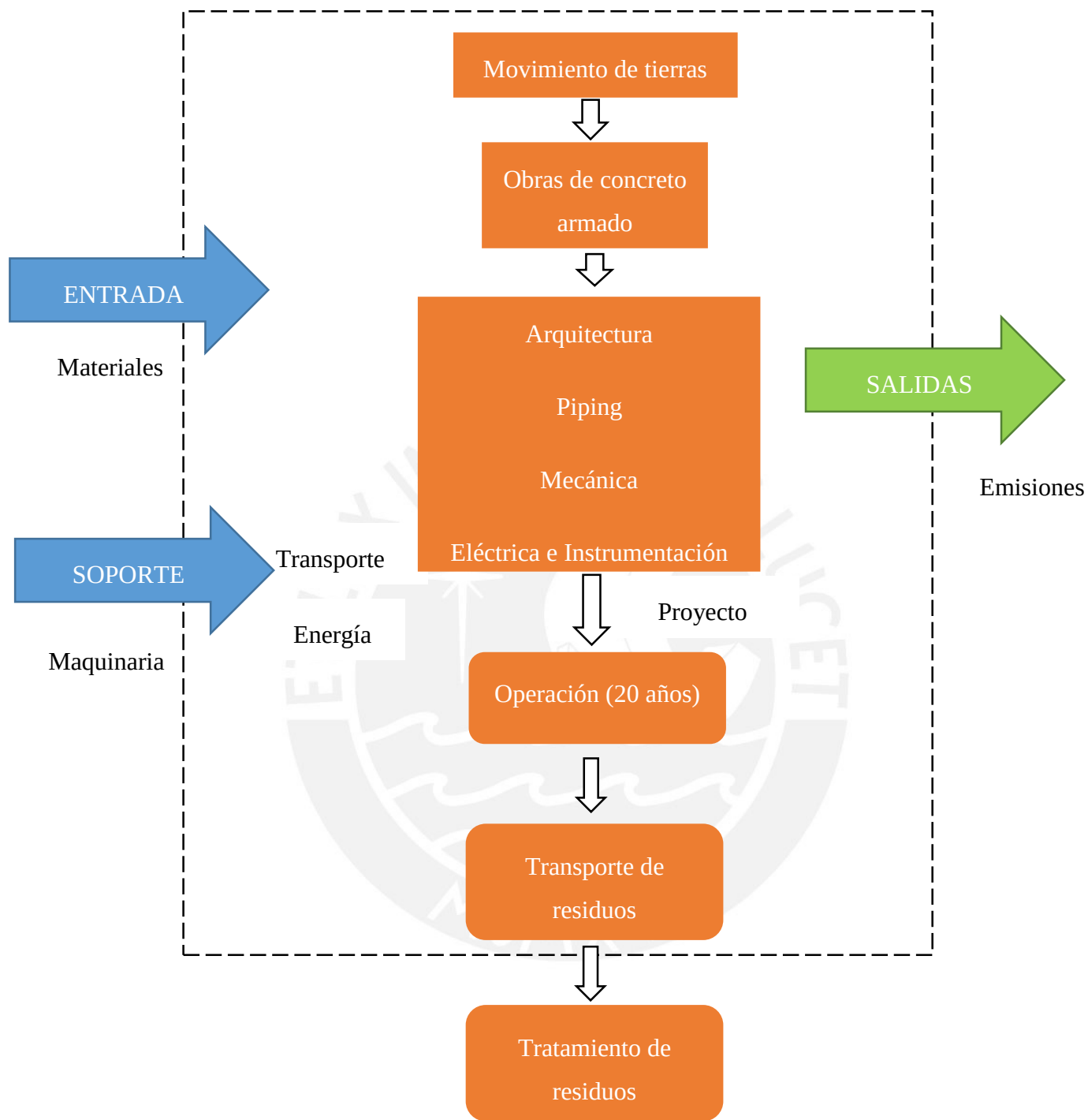


Figura 24 Límites del sistema del caso de estudio.

4.3 Producción y consumo de combustible

La producción del combustible genera emisiones que pueden ser obtenidas de la base datos del Ecoinvent. Tanto para el diésel como para la gasolina se consideró un combustible de bajo sulfuro, es decir, que tiene un límite máximo de 50 ppm de sulfuro en un 1 kg de combustible, que es el valor máximo indicado por Petroperú para Diésel B5, Gasolina de 80 y 90.

Las emisiones al aire que se generan por la quema de combustibles fósiles tienen una gran importancia dentro de las categorías de impacto. Por este motivo se usó un modelo de emisiones producto de la combustión, basándonos en el capítulo 1.A.3.b del EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2013. Esta guía propone 3 niveles de modelación, de acuerdo a los datos disponibles: Tier 1, Tier 2 y Tier 3. El Tier 1 es el nivel más básico y solo toma como parámetro el consumo de combustible. El Tier 2 y 3 son más complejos, ya que toman en cuenta los kilómetros recorridos y las velocidades medias de cada maquinaria (EMEP, 2019). Para nuestro caso de estudio se utiliza el Tier 1 tanto para la maquinaria pesada (HDV) como para las camionetas pick-up (LDV) que se utilizaron durante todo el proyecto, como se indica en la Tabla 12.

Tabla 12 Resumen de galones utilizados por tipo de vehículo de acuerdo a las categorías de la guía EMEP/EEA.

Tipo de vehículo según EMEP/EEA	Galones
Passengers' cars - Gasolina	2285.8
Light Commercial Vehicles - Gasolina	4279.3
Light Commercial Vehicles - Diésel	5139.7
Heavy-duty Vehicles - Diésel	30379.1

La Tabla 13 muestra los resultados de los modelos para 1 kg de combustible de diésel o gasolina, para cada tipo de vehículo.

Tabla 13 Emisiones correspondientes a 1 kg de combustible para cada tipo de vehículo según la guía EMEP/EEA.

Tipo de vehículo		Passengers cars	Light Commercial Vehicles	Light Commercial Vehicles	Heavy-Duty Vehicles
Tipo de combustible		Gasolina	Gasolina	Diésel	Diésel
Carbon Monoxide (CO)	g	49.00	68.70	6.37	5.73
NM VOC	g	5.55	3.91	1.29	1.33

Nitrogen Oxides (Nox)	g	4.48	3.24	13.36	28.34
Particulates (PM)	g	0.02	0.02	1.10	0.61
Dinitrogen monoxide (N2O)	g	0.13	0.10	0.03	0.03
Ammonia (NH3)	g	0.33	0.32	0.02	0.01
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	g	5.90E-06	3.90E-06	8.70E-06	7.30E-06
Benzo(k)fluoranthene	g	3.90E-06	2.60E-06	2.40E-06	3.18E-05
Benzo(b)fluoranthene	g	5.40E-06	3.60E-06	7.50E-06	2.84E-05
Benzo(a)fluoranthene	g	4.80E-06	3.20E-06	7.90E-06	4.70E-06
Lead (Pb)	g	1.70E-05	1.70E-05	1.60E-05	1.60E-05
Carbon Dioxide	kg	3.17	3.17	3.17	3.17
Carbon Dioxide (lubricant oil)	g	7.83	4.76	5.41	1.99
Sulfur dioxide	g	0.05	0.05	0.05	0.05
Typical fuel consumption (valor asumido de g de combustible por km).	g/km	70	100	80	240
indeno(1,2,3-cd)pyrene	ug	14.71	10.30	8.75	5.83
benzo(ghi)perylene	ug	4.29	3.00	2.38	25.38
fluoranthene	ug	260.29	182.20	225.00	89.13
benzo(a)pyrene	ug	6.86	4.80	7.88	3.75
pyrene	ug	82.57	57.80	153.75	131.63
perylene	ug	1.57	1.10	5.88	0.83
benzo(e)pyrene	ug	1.71	1.20	59.38	8.50
benzo(a)anthracene	ug	12.00	8.40	41.25	9.96
acenaphthylene	ug	0.00	0.00	324.00	0.00
acenaphthene	ug	0.00	0.00	433.13	0.00
fluorene	ug	0.00	0.00	0.00	166.63
chrysene	ug	6.14	4.30	30.00	67.67
phenanthrene	ug	881.71	617.20	1.07E03	95.83
napthalene	ug	160.00	112.00	26.25	236.08
anthracene	ug	109.43	76.60	42.50	36.04
Cd	ug	0.20	0.20	0.05	0.05
Cu	ug	4.50	4.50	5.70	5.70
Cr	ug	6.30	6.30	8.50	8.50
Ni	ug	2.30	2.30	0.20	0.20
Se	ug	0.20	0.20	0.10	0.10
Zn	ug	33.00	33.00	18.00	18.00
Hg	ug	8.70	8.70	5.30	5.30
As	ug	0.30	0.30	0.10	0.10

4.4 Limitaciones del modelado del proyecto

Los límites o fronteras del sistema son los que definen los procesos unitarios que se incluirán dentro del sistema del caso a evaluar. Además, considera todas las fases de los procedimientos unitarios mencionados y su nivel de detalle (Red Peruana de Ciclo de Vida, 2019). El presente proyecto toma en cuenta los impactos ambientales de todo el ciclo de vida del proyecto, considerando una vida útil de diseño de 20 años, el que incluye las dos primeras etapas de ciclo de vida (pre-uso y uso).

Para los límites del sistema en evaluación, no se consideró la fabricación de las maquinarias para realizar la construcción ni la fabricación de los camiones que se utilizaron para transportar todos los materiales al lugar del proyecto. Debido a que este se encuentra en una zona inhóspita por las condiciones propias de la unidad minera, si se consideró las emisiones ocasionadas por los combustibles para el transporte de materiales.

La mano de obra directa también se encuentra fuera del alcance de este estudio. Esto se debe a que según estudios previos realizados a través de la metodología del ACV se cuantifica los impactos de la mano de obra para diversos rubros (Rugani, Panasiuk y Benetto, 2012). Debido a la complejidad del desarrollo del mismo no será considerado. Tampoco se consideró los equipos de protección personal (casco, guantes, botas, chalecos, gafas, barbiquejo, arneses, etc) ni los equipos para los trabajos colectivos (andamios, líneas de vida, etc) utilizados por la mano de obra directa.

No se consideró dentro los límites la fabricación y transporte de todos los equipos mecánicos que se necesitan dentro del proyecto (puente grúa, portones enrollables, compresores, extractores de aire). Sin embargo, sí se consideraron la fabricación de todas las líneas de tuberías (aire, agua, lubricantes, etc.), la fabricación de los tanques tanto del área de lubricantes como para la planta de tratamiento de agua desalinizada, y la fabricación de todas las estructuras metálicas del proyecto por la disponibilidad de información.

Además, no se consideraron los procesos constructivos (corte, relleno, compactado) de la construcción del plataformado donde se realizó la construcción del proyecto. Esto se debe a que la

construcción de dicha plataforma fue ejecutada como un proyecto previo, por lo que no se cuenta con la información necesaria para incluirla dentro del ACV.

También se han tomado en cuenta los límites geográficos y temporales del proyecto. El ACV abarca exclusivamente proyectos de similares características dentro de unidades mineras en la región de la costa. Durante el proceso de búsqueda de información se obtuvieron datos reales de Energiminas para la etapa de uso, y el uso de generadores eléctricos para la etapa de pre-uso.

Para efectos de simplificación del sistema, tampoco se consideró la fabricación de los contenedores, que sirvieron como oficinas y almacenes del proyecto. Solo se consideró el transporte de los mismos a la obra y la energía que se utilizó durante toda la etapa de construcción del proyecto, que provenía de generadores eléctricos. Además, no se consideró las pruebas que se dieron durante la etapa de comisionamiento del proyecto (pruebas hidrostáticas, pruebas eléctricas, flushing de tuberías, etc).

Por último, durante la etapa de fin de vida no se consideró el impacto ocasionado por la maquinaria empleada ni los equipos manuales utilizados para la demolición de la infraestructura. Asimismo, se excluye el tratamiento de fin de vida de todas las estructuras metálicas, solo se considera una estimación del escombros generado, basado en el método propuesto en el *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*, y el traslado al relleno sanitario Loma Ondulado, en la región de Ica. Tampoco se considera el tratamiento de los residuos sólidos dentro del relleno sanitario.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

La evaluación de impacto ambiental tiene por objetivo el identificar e interpretar los niveles de impacto ambiental producidos por el ciclo de vida del *Truckshop*. El objetivo de estos valores es conocer los problemas ambientales generados y proponer mejoras y optimización de procesos durante el ciclo de vida.

En el presente capítulo mostraremos los resultados obtenidos del diseño en el software SimaPro de un *Truckshop* dentro de una unidad minera en el distrito de Marcona, en Ica, y se discutirán los mismos.

5.1 Evaluación del impacto ambiental

Para analizar el impacto ambiental se presenta los resultados obtenidos en la Tabla 14. Esta contiene la cuantificación de los niveles de impacto ambiental en la etapa de pre-uso, uso (considerando unos 20 años de vida útil) y etapa de fin de vida para cada indicador. Los indicadores analizados son los indicadores de punto medio de la metodología ReCiPe 2016, descritos en la sección 3.3.

En primera instancia se puede observar que la etapa de uso tiene un mayor porcentaje del total del indicador en 14 categorías de impacto ambiental, superando el 90% en las categorías de agotamiento de ozono estratosférico, escasez de recursos fósiles y consumo de agua, debido al gran consumo de energía eléctrica, los lubricantes y refrigerantes que se usan durante todo su tiempo de vida, como se analizará en la sección 5.3.

Por otro lado, la etapa de pre-uso tiene más del 60% del total del indicador de impacto en 4 categorías, como toxicidad cancerígena y no cancerígena y escasez de recursos minerales, principalmente por las estructuras metálicas y acero de refuerzo necesarios para la etapa de construcción del proyecto; y ecotoxicidad terrestre, debido principalmente a la producción e instalación de cables eléctricos, como se puede verificar en la Tabla A3 del Anexo.

Tabla 14 Impactos ambientales por categoría de impacto, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m²) de construcción.

Indicador de punto medio	Unidad	Pre Uso		Uso		Fin de Vida	Total
		Manufactura	Construcción	Mantenimiento	Energía Operativa		
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	718.48	108.81	784.34	6489.65	30.40	8131.67
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC11 eq	2.39E-04	3.90E-05	1.75E-02	2.93E-03	1.02E-05	2.07E-02
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	39.88	1.14	34.03	17.16	6.07E-01	92.82
Formación de ozono, salud humana	kg NO _x eq	1.74	7.32E-01	2.22	6.56	2.07E-01	11.46
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	1.62	1.24E-01	1.11	3.15	4.93E-02	6.06
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg Nox eq	1.80	7.41E-01	2.81	6.85	2.10E-01	12.41
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	3.28	3.85E-01	2.63	6.65	1.16E-01	13.06
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	6.06E-01	2.02E-03	1.70E-01	2.12E-01	2.31E-03	0.99
Eutrofización marina	kg N eq	3.67E-02	2.53E-04	1.24E-02	2.23E-02	1.87E-04	0.07
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	1.10E+04	24.10	1.50E+03	3.64E+03	392.27	16591.51
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	93.53	1.55E-01	15.71	85.07	4.43E-01	194.90
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	134.18	2.70E-01	22.47	109.88	7.97E-01	267.59
Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	233.85	3.62E-01	20.52	45.99	6.59E-01	301.37
Toxicidad no cancerígena humana	kg 1,4-DCB	3.09E+03	4.78	4.69E+02	1.02E+03	18.28	4601.43
Uso del suelo	m ² a crop eq	21.44	2.05E-01	8.50	112.87	1.28	144.29
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	25.27	2.72E-02	1.71	3.97	5.49E-02	31.03
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	138.11	35.86	3.76E+02	2.38E+03	1.05E+01	2935.78
Consumo de agua	m ³	7.90	1.73E-01	8.07	289.45	8.45E-02	305.67

5.2 Análisis de impacto de ciclo de vida: Pre-uso

Los valores obtenidos dentro del área de pre uso se subdividen en manufactura, que considera la fabricación y transporte de todos los materiales que se utilizaron, y la etapa de construcción del proyecto, donde se analizó principalmente todo el combustible consumido por la maquinaria pesada y los generadores eléctricos.

El área que tiene un mayor porcentaje del total por cada indicador ambiental es el Área 1625 - Taller de soldadura, ya que tiene más del 20% en 7 categorías de impacto ambiental, como eutrofización, ecotoxicidad, toxicidad no cancerígena y uso del suelo, como se puede ver en la Figura 25. Esto se da principalmente por la magnitud de cables eléctricos y conductor de cobre de cable desnudo en comparación con los metros cuadrados del área. La segunda área con mayor impacto ambiental es el Área 1633 – Agua desalinizada, superando también el 20% en 6 categorías, como calentamiento global, formación de ozono en salud humana y ecosistemas, formación de partículas finas, toxicidad cancerígena humana y escasez de recursos fósiles, y más del 35% en la categoría de escasez de recursos minerales, debido a la gran cantidad de tuberías de acero al carbono que tienen que ser instaladas para abastecer de agua a esta área. En la Tabla A.4 del Anexo se encuentran todos los valores de impacto ambiental para cada categoría de impacto en la etapa de pre-uso subdividida en cada área del proyecto.

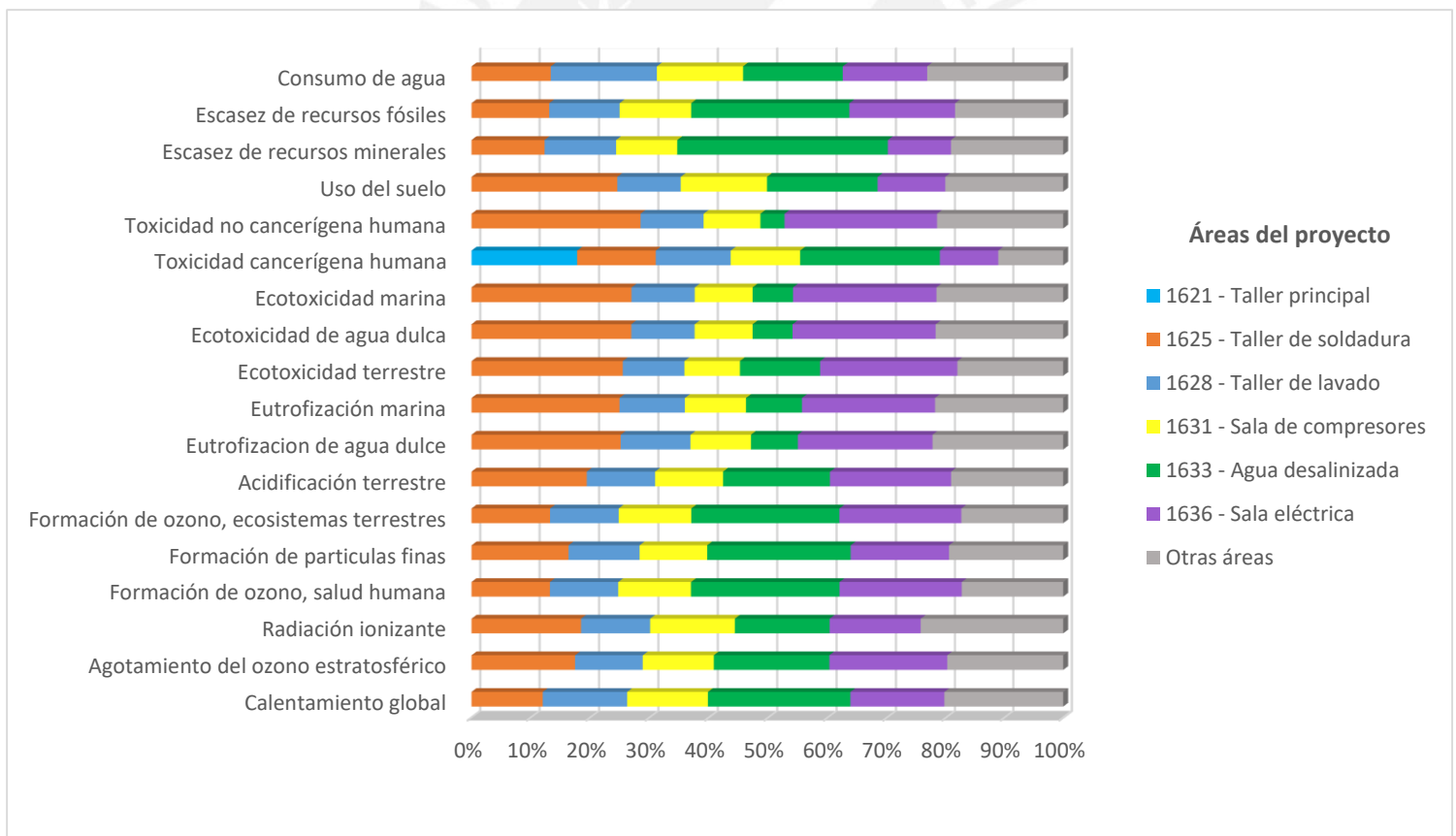


Figura 25 Áreas con mayor impacto ambiental para cada categoría de impacto en la etapa de pre-uso, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m²) de construcción.

La variación porcentual de la categoría de impacto ambiental del calentamiento global para cada área del proyecto se presenta en la Figura 26, donde se puede observar que las áreas del proyecto con mayor impacto ambiental por metro cuadrado son el Área 1633 - Agua desalinizada con 23.98%, principalmente por la gran magnitud de producción e instalación de tuberías de acero al carbono para su funcionamiento, y el Área 1636 – Sala eléctrica con 15.87%, debido a la cantidad de cables de cobre multiconductor instalados en esa área.

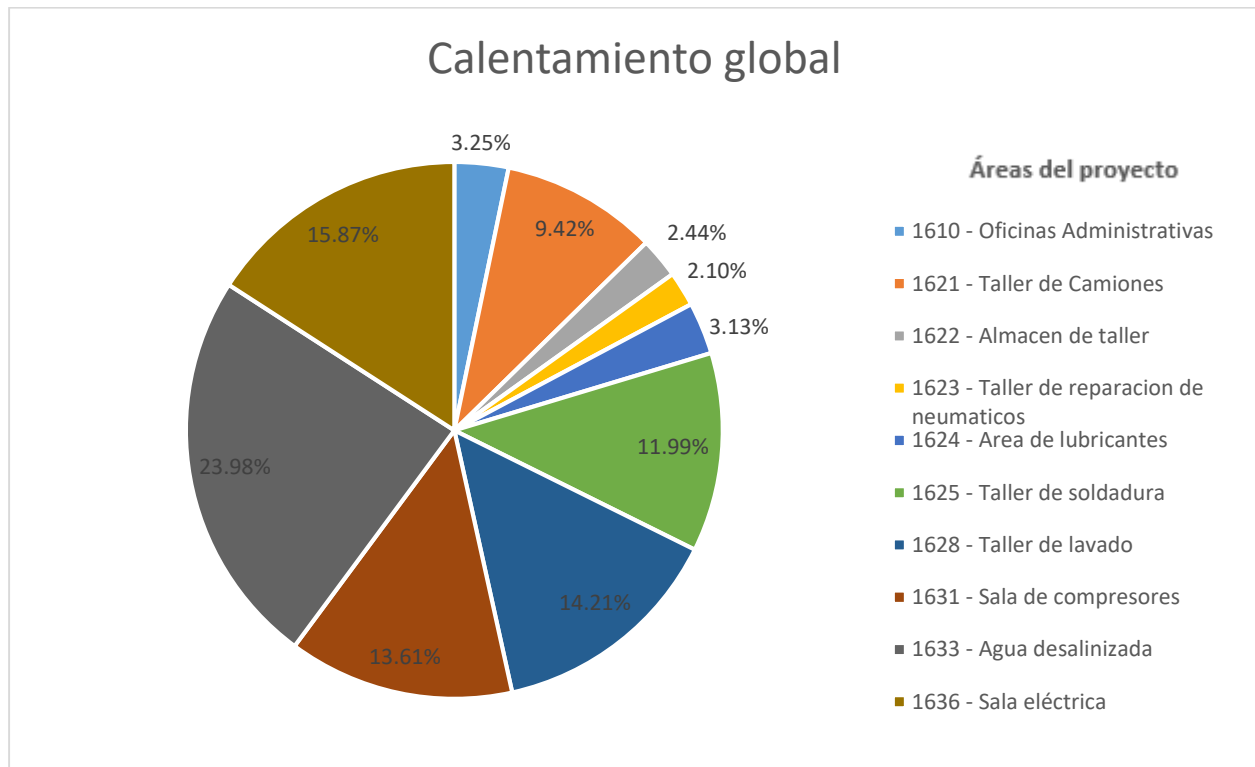


Figura 26 Porcentaje del impacto ambiental por áreas de construcción de la categoría de calentamiento global (kg CO₂ eq) en la etapa de pre-uso.

5.3 Análisis de impacto de ciclo de vida: Uso

Los impactos ambientales en la etapa de uso del *Truckshop* están relacionados con los materiales necesarios, como el agua potable y desalinizada, lubricantes, refrigerantes; así como toda la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento y mantenimiento de la infraestructura durante todo su tiempo de vida de 20 años.

Como se analizó anteriormente, esta etapa de ciclo de vida es predominante en la mayoría de las categorías. Para ello es necesario analizar a detalle todos los elementos considerados dentro de la etapa de uso. En la Figura 27 se muestra la variación porcentual del impacto ambiental de cada elemento para todas las categorías de impacto. Se puede apreciar que en casi todas las categorías de impacto existe una predominancia del impacto originado por el consumo de electricidad, teniendo más del 80% en las categorías de ecotoxicidad de agua dulce y marina, calentamiento global y escasez de recursos fósiles, y más del 90% en el consumo de agua y uso del suelo.

Por otro lado, en la categoría de agotamiento del ozono estratosférico el refrigerante tiene un 84.5%, y en la categoría de radiación ionizante predomina el aceite lubricante con un 42.6%. Cabe resaltar que los valores obtenidos para el agua potable y agua desalinizada asumidos durante la etapa de uso son insignificantes en comparación con la magnitud de impacto obtenidos por el aceite lubricante, el refrigerante y la energía eléctrica, por lo que no se consideran en la Figura 27. En la Tabla A4 del Anexo se presenta de manera disgregada el impacto ambiental de todas las categorías de impacto de todos los elementos asumidos para la etapa de Uso.

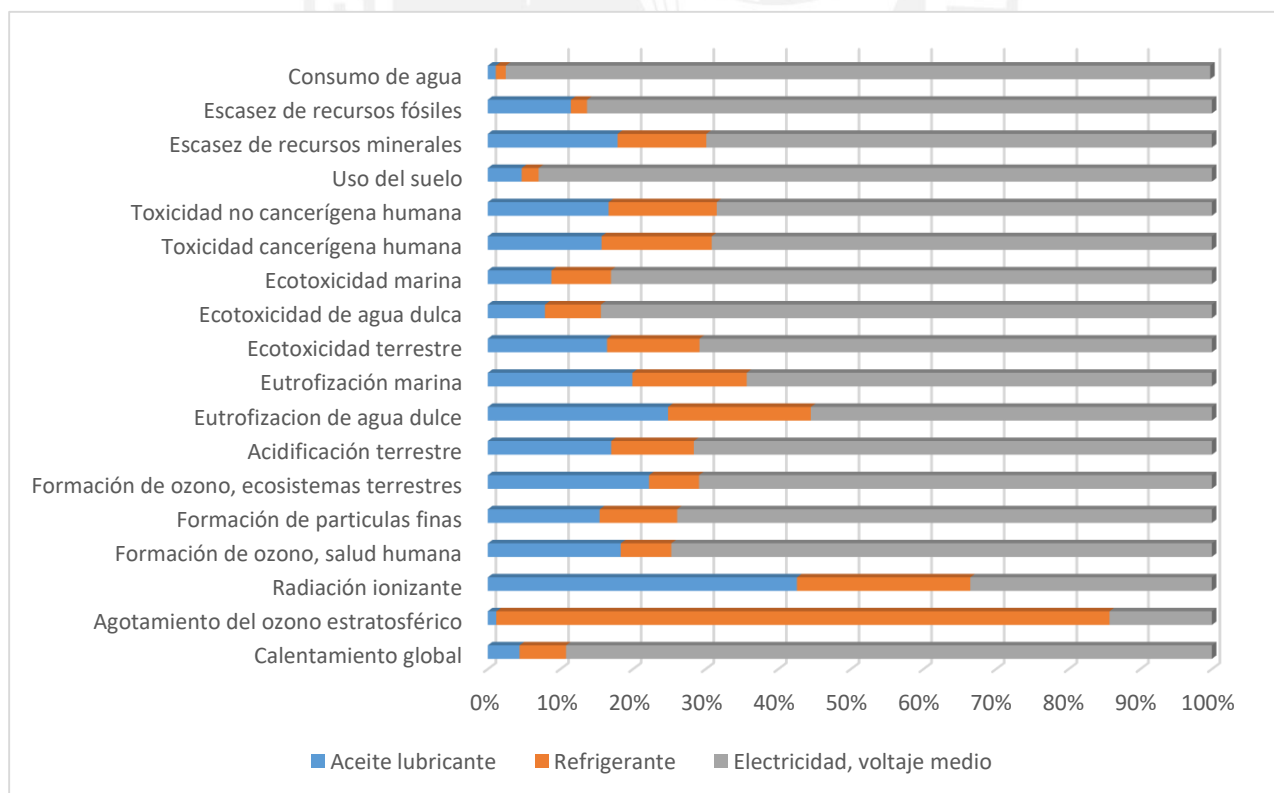


Figura 27 Porcentaje del impacto ambiental para cada elemento para cada categoría de impacto en la etapa de uso

Debido a que muchos de los datos para esta etapa solo fueron estimados, y viendo que tiene una gran influencia dentro de las magnitudes de impacto ambiental dentro de la etapa de uso y en todo el ACV, es necesario hacer un análisis de sensibilidad para el uso de electricidad durante la etapa de uso. Para el escenario inicial se planteó un uso constante de 48 h semanales de la potencia total de la sala eléctrica para calcular un consumo nominal total de electricidad durante los 20 años de tiempo de vida. Sin embargo, para modelar nuevos escenarios se modificará este consumo total de 48 horas semanales en 60, 80 y 100 horas semanales, denominándolos como escenario A, B, C y D; y se modificará el consumo de 100% en 60% y 80%, denominándolos como escenario 1, 2 y 3. En la Figura 28 se presenta los resultados obtenidos para cada escenario en la categoría de calentamiento global.

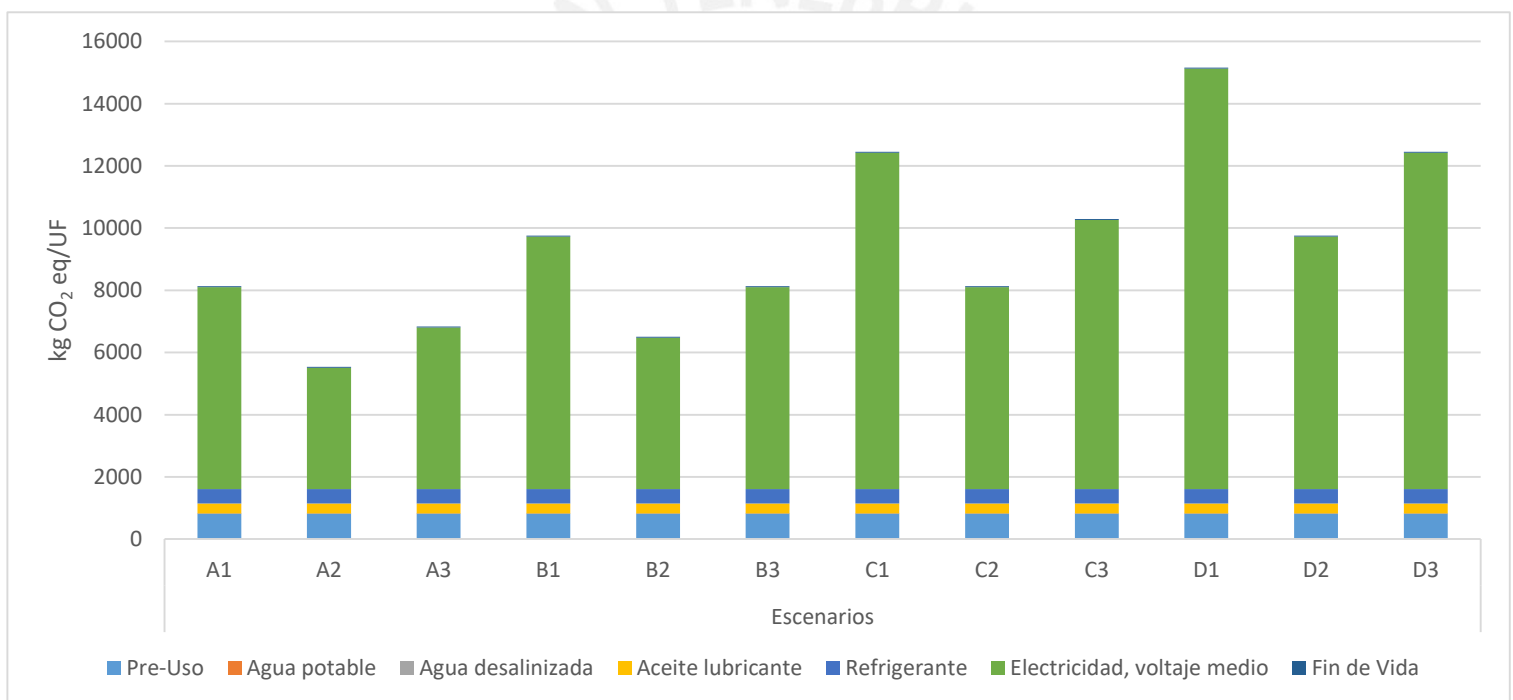


Figura 28 Variación del impacto ambiental del calentamiento global para diferentes escenarios de consumo de energía eléctrica en la etapa de uso, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m²) de construcción.

Se puede observar que para la categoría de impacto ambiental el consumo de electricidad es determinante dentro de todo el ACV. Con respecto al escenario base (A1), se observa que el escenario D1 es el que tiene mayor incremento, con una variación porcentual de 186%, mientras que el escenario A2 es el que tiene menor descenso, con una variación porcentual de 68%. Esto confirma que para poder tener un valor representativo con la realidad es necesario conocer con mayor detalle cual es el consumo real de electricidad dentro del proyecto, o poder tener una mayor

información sobre el uso de las instalaciones, como cantidad de camiones que utilizarán las instalaciones, frecuencia de uso, etc, para poder estimar de manera más precisa dicho consumo.

5.4 Análisis de impacto de ciclo de vida: Fin de vida

Durante la etapa de fin de vida se analizó exclusivamente el traslado de los escombros de la demolición de las estructuras hacia el relleno sanitario Loma Ondulado. Se puede observar en la Tabla 14 que el impacto ambiental en las diferentes categorías es insignificante en comparación con las etapas de pre-uso y eso, solo superando el 1% en las categorías de impacto ambiental de formación de ozono, salud humana y ecosistemas terrestres, y superando el 2% en la categoría de ecotoxicidad terrestre.

Esta diferencia de impacto ambiental tan abrupta con respecto a las otras etapas se puede deber principalmente a la falta de información sobre los procesos y maquinaria utilizada para la demolición de las estructuras, la exclusión de algún tipo de tratamiento de fin de vida para las estructuras metálicas por su gran magnitud, siendo elementos estructurales predominantes dentro la construcción de todas las áreas del proyecto, y el conocimiento sobre el tipo de tratamiento de los residuos sólidos dentro del relleno sanitario. Esto conlleva a una falta de información que conlleva a resultados que no son representativos con la realidad.

5.5 Análisis en comparación con Estudio de Impacto Ambiental

La normativa peruana exige, a través del artículo 15 del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, aprobado a través del Decreto Supremo N° 19-2009-MINAM, que “Toda persona natural o jurídica, de derecho público o privado que pretenda desarrollar un proyecto de inversión susceptible de generar impactos ambientales negativos de carácter significativo, debe gestionar una Certificación Ambiental ante la autoridad Competente que corresponda, de acuerdo a la normatividad vigente y lo dispuesto en el Reglamento” (MINAM, 2009). La EIA realizada para el proyecto de este trabajo de investigación no pudo ser revisada debido a que fue elaborada y gestionada por la propia unidad minera. Sin embargo, analizando todo el marco normativo y los requerimientos que exige el Estado para la elaboración del mismo se puede concluir varios puntos.

En el artículo 36 del mismo reglamento señala que las autoridades competentes clasifican a los proyectos de acuerdo a las siguientes categorías (MINAM, 2009)

- Categoría I – Declaración de Impacto Ambiental (DIA): Estudio ambiental mediante el cual se evalúan los proyectos de inversión respecto a los cuales se prevé la generación de impactos ambientales negativos leves
- Categoría II – Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-sd): Estudio ambiental mediante el cual se evalúan los proyectos de inversión respecto a los cuales se prevé la generación de impactos ambientales negativos moderados
- Categoría III – Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA-d): Estudio ambiental mediante el cual se evalúan los proyectos de inversión respecto a los cuales se prevé la generación de impactos ambientales negativos significativos

Un Estudio de Impacto Ambiental (EIA). se define como un documento que contiene la “evaluación y descripción de los aspectos físico-químicos, naturales, biológicos, socioeconómicos y culturales del área de influencia de un proyecto, con la finalidad de determinar las condiciones existentes y capacidades del medio, analizar la naturaleza y magnitud del proyecto, midiendo y previendo los efectos de su realización; indicando prioritariamente las medidas de prevención de la contaminación, y por otro lado, las de control de la contaminación para lograr un desarrollo armónico entre las actividades de la industria manufacturera y el ambiente”, de acuerdo al Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), a través de su Guía para elaboración de EIA.

Existen diversas metodologías para la identificación y evaluación de los impactos ambientales, que se detallan en la “Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental” (MINAM, 2019).

- a) Listas de chequeo o verificación: Listas exhaustivas de factores físicos, biológicos y sociales que pueden afectar un proyecto y permite identificar los impactos.
- b) Matrices: Consisten en tablas de doble entrada, donde en un lado se encuentran las características y componentes ambientales y por el otro lado las actividades previstas del

proyecto. En las respectivas intersecciones se identifican los impactos correspondientes. Los métodos más clásicos que utilizan este tipo de matrices son:

- Método de Leopold: que busca la interacción entre componentes ambientales y acción que pueden causar efectos, basando su valoración en los criterios de signo, intensidad, extensión, momento, persistencia, recuperabilidad y certidumbre.
 - Método de Batlle-Columbus: Consiste en 4 categorías ambientales (ecología, contaminación, aspectos estéticos y aspectos de interés humano), y mide las unidades de impacto ambiental (UIA) del proyecto como la diferencia de las UIA con proyecto y las UIA sin proyecto.
- c) Matrices causa efecto: Son como las matrices simples que relacionan la variable ambiental afectada y la acción humana que lo provoca.
- d) Superposición de mapas: Consiste en utilizar mapas donde se encuentran representados los componentes ambientales. Los cuales pueden superponerse para lograr la caracterización de la zona de influencia de un proyecto, compatibilidad o vulnerabilidad de la zona, ayudando a la identificación de potenciales impactos.
- e) Modelos de simulación: Son modelos matemáticos destinados a la representación de la estructura y funcionamiento de los sistemas ambientales, a partir de un conjunto de hipótesis y suposiciones por las acciones de un proyecto. Los modelos pueden usar datos cualitativos y cuantitativos, incorporar medidas de las magnitudes e importancia de los impactos y considerar las interacciones de los componentes ambientales.
- f) Panel de expertos: Consiste en buscar la interacción e intercambio de ideas entre expertos o panelistas representativos de grupos de interés.

Adicionalmente, la guía considera un importante diseñar un programa de monitoreo ambiental y social como parte de las medidas de manejo en el estudio ambiental, que permita identificar desviaciones en la caracterización de los impactos debido a la incertidumbre que se adquiere por la metodología usada. Esto se debe a diversos factores como imprecisiones en la información primaria vigente, elevado número de componentes ambientales a ser caracterizados y valorados de manera cualitativa, cambios no previstos dentro de la dinámica del proyecto, errores no previstos en los modelos matemáticos, conocimiento insuficiente sobre el ambiente al momento de predecir los impactos ambientales (MINAM, 2019)

El primer punto es que la mayoría de las metodologías para elaborar un EIA son de forma cualitativa, basándose en gran medida en la opinión de profesionales y expertos en el tema ambiental, contrastando en gran medida con el ACV que analiza de forma cuantitativa todos los impactos ambientales, utilizando bases de datos elaboradas a nivel global y modelando todo el proyecto dentro de un software.

El segundo punto es que un EIA analiza exclusivamente los impactos ambientales producidos por las actividades del proyecto de construcción. Sin embargo, un ACV por su naturaleza considera todo el ciclo de vida de los componentes utilizados, ya sea materiales, maquinaria, combustibles, etc, desde su extracción y fabricación hasta su fin de vida, dando un resultado mucho más cercano a la realidad, y utiliza una unidad funcional para poder estandarizar los resultados y que sean comparables con estudios similares.

El último punto es que como la normativa lo indica los términos de referencia en que tienen que ser elaborados los EIA depende de una evaluación de las autoridades competentes, siendo este relativo a su criterio de posible impacto ambiental del proyecto y categorización dentro de la normativa, como se explicó anteriormente. Sin embargo, un ACV tiene una metodología definida globalmente, basada en estándares como el ISO 14040 y 14044 con requisitos pre establecidos que deben de cumplirse para poder aplicar esta metodología, que hace que los resultados puedan ser universales y comparables.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

La presente investigación estimó los impactos ambientales para diferentes categorías de impacto para un *Truckshop* dentro de una unidad minera en la ciudad de Ica, utilizando la herramienta del análisis de ciclo de vida. Esta investigación no solo busca brindar información cuantitativa, sino influenciar en decisiones futuras que tomen todas las personas relacionadas a este rubro.

Los resultados obtenidos muestran una predominancia absoluta en la etapa de uso para la mayoría de categorías de impacto ambiental, siendo el consumo de energía eléctrica el que generó el mayor impacto ambiental durante todo el ciclo de vida, seguido de los lubricantes y el refrigerante. Esto se demuestra en un estudio realizado en Estados Unidos, aplicado en el caso de una vivienda unifamiliar, donde se concluye que se debe tener una importante reducción de impacto en la etapa de uso, aplicando técnicas de conservación de la energía eléctrica (Keolian et al, 2001). Se sugiere un control más exhaustivo del consumo de energía eléctrica con el fin de reducir su impacto ambiental a corto y largo plazo.

Por otro lado, la etapa de pre-uso también tiene una influencia notable dentro de los resultados, por lo que es necesario optimizar y/o replantear los procedimientos constructivos y los materiales a utilizar, con el objetivo de reducir los niveles de impacto ambiental. Para esto se sugieren aplicar nuevas técnicas que superen las actuales, reducir las mermas de los materiales y tener una evaluación continua para su optimización y reducción de impacto ambiental.

Un efecto no analizado dentro de la presente investigación fue la adaptación del terreno donde se realizó la construcción del *Truckshop*, por lo que se recomienda un estudio más exhaustivo en términos de uso de suelo, pérdida de biodiversidad y emisiones de gases de efectos invernadero, ya que se presume que el impacto ambiental podría ser significativo porque la unidad minera se encuentra en un terreno natural de la costa peruana.

Asimismo, el impacto generado por la fabricación de todos los equipos mecánicos tampoco fue analizado dentro de la presente investigación, puesto que la información con la que se cuenta

de los procesos para su fabricación es muy limitada y no sería relevante para la presente investigación. Sin embargo, se sugiere la promoción de la técnica del ACV en este rubro.

Por otro lado, los requerimientos mínimos del EIA no son suficientes para realizar un análisis que genere valores comparables con los obtenidos en un ACV. Esto se debe principalmente a que la mayoría de sus metodologías son cualitativas, basados principalmente en opiniones de expertos; solo analizan las actividades propias de los procesos constructivos y no todo el ciclo de vida; los estándares en los que se basan son subjetivos, ya que dependen de los términos de referencia elaborados por las autoridades competentes; y no utilizan una unidad funcional como unidad métrica para sus resultados.

Finalmente, se concluye que la herramienta del análisis de ciclo de vida es útil para poder medir el impacto ambiental de cualquier tipo de construcción dentro de Perú. Estudios como el analizado deben de ser fomentados en todos los niveles dentro de la industria de la construcción para optimizar la fabricación de materiales y los procesos de construcción en sí mismos. Los valores de impacto obtenidos de aplicar el ACV a diversos proyectos pueden generar una gran base de datos que puede servir como una línea base inicial de datos a nivel nacional. La disponibilidad de datos para realizar esta investigación fue crucial, por lo que también se sugiere una mayor rigurosidad en políticas públicas para que estudios similares puedan ser desarrollados, y poder tomar medidas que realmente mitiguen los impactos ambientales y no solo quede como documentación requerida, ya que el planeta se encuentra en grave riesgo y es nuestra responsabilidad como ingenieros e investigadores hacer todo lo que está a nuestro alcance para evitarlo.

REFERENCIAS

- ALCANTARA, M. (2017) La capa de ozono: Un escudo natural.
- ALJUNDI, K., RODRIGUEZ, F., PINTO, A., & DIAS, A. (2019). LCA Integration in the Construction Industry: A Case Study of a Sustainable. Sustainability in Energy and Buildings: Proceedings of SEB 2019.
- BARE, J. C., HOFSTETTER, P., PENNINGTON, D. W., & DE HAES, H. A. U. (2000). *Midpoints versus endpoints: the sacrifices and benefits*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 5(6), 319-326.
- BARTL, K. (2014). Análisis de Ciclo de Vida en el sector construcción. CIV Civilizate, 46-48.
- BCRP (2020). Series Anuales. Disponible en <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales> [Último acceso: 02 de abril de 2020].
- BERLAN, R., GILARDINO, A., ITA, D., QUISPE, I. (2018) Avanzando y midiendo consumo y producción sostenible para una economía baja en carbono en economías de ingresos medios y nuevos países industrializados en Perú – Actividad 6: Reporte final de Inventarios de Ciclo de Vida para refinerías. Red Peruana Ciclo de Vida.
- BETETTA, J. L. (2021). Los efectos de la polución ambiental por micropartículas PM2. 5 y PM10 en la presencia de enfermedades respiratorias en los pobladores del distrito de Ate. Repositorio Universitario de la Universidad Inca Garcilazo de la Vega.
- BIBEROS, B. (2018) Análisis del ciclo de vida comparativo de la carretera Tingo-Kuélap (AM-111) y el sistema de telecabinas hacia la zona arqueológica monumetal Kuélap. CONCYTEC.

- BISHOP, P. (2000). Pollution Prevention: Fundamentals and Practice. Long Grove: McGraw- Hill Science.
- CACERES, Ana (2016). Análisis de Ciclo de Vida comparativo de edificaciones multifamiliares en Lima. Repositorio de Tesis PUCP.
- CANTU, I., & YAÑEZ, M. I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. Revista mexicana de ciencias forestales, 9(45), 122-151.
- CHO, Y.S.; KIM, J.H.; HONG, S.U.; & KIM, Y (2012) LCA application in the optimum design of high rise steel structures. Renewable and Sustainable Energy Reviews
- CURRAN, Marry Ann (2012). Life cycle assessment handbook: a guide for environmentally sustainable products. Publicado en línea. John Wiley & Sons, pp. 1-41
- DE LA ROSA, D. (2008). Evaluación agro-ecológica de suelos, para un desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 404 p.
- DEL ROSARIO, M. (1992). Efectos de la acidificación sobre la vegetación. Revista de Ciencias Ambientales, 8(1), 32-37.
- EACNUR (2021) Escasez de agua en el mundo: causas y consecuencias. Disponible en: https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/ [Último acceso: 22 de junio de 2021].
- EMEP (2019) EMEP/EEA emission inventory guidebook 2019. European Union Road Federation. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019> [Último acceso: 10 de mayo de 2020].
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (2006) Life cycle assessment: principles and practice.

- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA (2021) What is ozone? Disponible en: http://airinnow.org/html/ed_ozone.html [Último acceso: 22 de junio de 2021].
- FAVA, J. (2004) Why Take a Life Cycle Approach?. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/846Why_take_a_life_cycle_approach_EN.pdf>
- FINKBEINER, M., INABA, A., TAN, R., CHRISTIANSEN, K., & KLUPPEL, H. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. The International Journal of Life Cycle Assessment, 80-85.
- GRAFF, D. W., CASCIO, W. E., BRACKHAN, J. A., & DEVLIN, R. B. (2004). Metal particulate matter components affect gene expression and beat frequency of neonatal rat ventricular myocytes. Environmental Health Perspectives, 112(7), 792–798.
- HUANG, B., XING, K., PULLEN, S. (2015) Energy and carbon performance evaluation for buildings and urban precincts: review and a new modelling concept. J. Clean. Prod.
- HUANG, Z. L., L. D. CHEN, B. J. FU, Y. H. LU, Y. L. Huang and J. Gong. (2006). The relative efficiency of four representative cropland conversions in reducing water erosion: evidence from long-term plots in the loess Hilly Area, China. Land Degradation & Development 17: 615-627.
- HUIJBREGTS M., STEINMANN Z., ELSHOUT P., STAM G., VERONES F., VIEIRA M., HOLLANDER A., ZIJP M., VAN ZELM R., (2016) ReCiPe 2016, A harmonized life cycle impact assessment method at the midpoint and the endpoint level; Report I: Characterisation. National Institute for Public Health and the Environment
- JONSSON, A., BJORKLUND, T. & TILLMAN, A (1998) LCA of concrete and steel building frames. Int. J.
- GARCIA TORRES, Samy (2014). Evaluacion ambiental durante el ciclo de vida de una vivienda unifamiliar. Repositorio de Tesis PUCP.

- ISO. (2006). International Standard ISO 14040 -Environmental management - life cycle assessment - Principles and Framework.
- ISO. (2006). International Standard ISO 14044 - Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines.
- KEOLIAN, G.; BLANCHARD, S., REPPE, P. (2001) Life-cycle energy, costs, and strategies for improving a single-family house. Journal of Industrial Ecology. Vol4, Número 2, pp. 135 – 156.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (2020). Perú: País Minero. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159> [Último acceso: 10 de mayo de 2020].
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2005). Ley General del Ambiente.
- MINAM (2009) Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. Decreto Supremo N°019-2009-MINAM.
- MINAM (2019) Guía para la identificación y caracterización de impactos ambientales en el marco del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental – SEIA. Resolución Ministerial N°455-2018-MINAM.
- MORETA, J. C. (2011). La eutrofización de los lagos y sus consecuencias. Ibarra 2008. Tesis de Bachiller, Universidad Técnica del Norte.
- NASA/IGCC (2021) Global temperatura. Página principal. Disponible en: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> [Último acceso: 23 de junio de 2021].
- PACHECO-TORGAL, F., TAM, V., LABRINCHA, J., DING, Y., & DE BRITO, J. (Eds.). (2013). Handbook of recycled concrete and demolition waste. Elsevier.

- PARRA, M. A. G., & LEGUIZAMON, N. Z. P. (2019). Análisis del ciclo de vida de las publicaciones sobre la producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), a través de curvas en S. *Revista de Investigación Desarrollo e Innovación: RIDI*, 9(2), 13.
- PARATSCHA, R., VON DER THANNEN, M., SMUTNY, R. et al. (2019) Screening LCA of torrent control structures in Austria. *Int J Life Cycle Assess* 24, 129–141
- PELCAN – RED PERUANA DE CICLO DE VIDA Y ECOLOGIA INDUSTRIAL (2020) Página principal. Disponible en: <https://red.pucp.edu.pe/cicludevida/> [Último acceso: 15 de mayo de 2020].
- PRÉ CONSULTANTS (2016) Introduction to LCA with SimaPro. Amsterdam, Holanda
- PRÉ CONSULTANTS (2016) SimaPro Tutorial. Amsterdam, Holanda
- PRÉ CONSULTANTS (2019) SimaPro 9.0.0.49 Programa Informático
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (2014). Página principal. Disponible en: <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development/environment-and-natural-capital/montreal-protocol.html> [Último acceso: 20 de junio de 2021].
- PUERTA, J. A., & MORALES, J. (2020). Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. *Revista Colombiana de Cardiología*, 27, 61-71.
- REED, D. (2012). Life-Cycle Assessment in Government Policy in the United States. Knoxville: Trace: Tennessee Research and Creative.
- RODRIGUEZ, B., GILARDINO, A., ITA, D., & QUISPE, I. (2018) Proyecto IKI-PNUMA. Actividad 6: Reporte final de Inventarios de Ciclo de Vida para refinerías. Red Peruana Ciclo de Vida y Ecología Industrial
- RODRIGUEZ LLONTOP, Y. (2019). Análisis cuantitativo de los impactos ambientales de edificios multifamiliares con dos sistemas estructurales diferentes, asociados a los

materiales de construcción en su etapa de extracción y producción, aplicando la base de datos del instituto de tecnología de la construcción de Cataluña (itec) en Chiclayo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, entre 2012-2016.

- RUGANI, B.; PANASIUK, D. y BENETTO, E. (2012). An input-output based framework to evaluate human labour in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.
- SALAET, S., ROCA, J. (2010) Agotamientos de los combustibles fósiles y emisiones de CO₂: Algunos posibles escenarios futuros de emisiones. Universidad de Barcelona.
- TILLMAN, A.M., EKYALL, T., BAUMANN, H., RYDBERG, T. (1994). Choice of system boundaries in life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2, 21-29.
- UNEP. (1996). *Life Cycle Assessment: What is and How to Do It*. Paris.
- VARGAS, P. (2009). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú.
- VERAN, D., & VÁZQUEZ, I. (2019). Life cycle assessment of run-of-river hydropower plants in the Peruvian Andes: a policy support perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(8), 1376-1395.
- YAÑEZ, G (2014). *Buenas Prácticas en el uso de Sustancias Alternativas a los Hidroclorofluorocarbonos*. Mexico DF, Semarnat.
- ZAPATA, P (2005). Energy Consumption of Asphalt and Reinforced Concrete Pavement Materials and Construction. *Journal of Infrastructure Systems*, 9-20.
- ZIEGLER, K., VAZQUEZ, I., KAHHAT, R., MARGALLO, M. (2019) Avanzando y midiendo consumo y producción sostenible para una economía baja en carbono en economías de ingresos medios y nuevos países industrializados en Perú – Actividad 9: Rellenos Sanitarios. Red Peruana Ciclo de Vida.

ANEXOS

Tabla A1. Equivalencia de materiales de la manufactura de la etapa del pre-uso del proyecto con la base de datos de Ecoinvent

Material	Base de datos de Ecoinvent
Solados	Lean concrete
Concreto de 210 kg/cm ²	Concrete, 20MPa
Concreto de 280 kg/cm ³	Concrete, 25MPa
Concreto dramix de 350 kg/cm ⁴	Concrete, 30-32MPa
Acero de refuerzo	Reinforcing steel
Estructuras metálicas	Steel, low-alloyed, hot rolled
Planchas, barandas, grating, bandejas portacable	Steel, unalloyed
Grout	Concrete, sole plate and foundation
Cerramiento metálico TR4	Aluminium, cast alloy
Cerramiento translucido TR4	Polycarbonate
Puertas de aluminio	Door, outer, wood-aluminium
Drywall	Gypsum plasterboard
Tubería de acero al carbono	Chromium steel pipe
Tubería HDPE	Polyethylene, high density, granulate
Cable de cobre multiconductor	Cable, three-conductor cable
Conductor de cobre desnudo	Copper
Cables de instrumentación	Cable, data cable in infrastructure
Canalización para instrumentación	Polyvinylchloride, emulsion polymerised

Tabla A2. Inventario de ciclo de vida de los materiales de la manufactura de la etapa de pre-uso del proyecto acorde a la base de datos de Ecoinvent

MATERIAL	UNIDAD	METRADO
1610 - Oficinas Administrativas		
Lean concrete	m ³	3.11
Concrete, 20MPa	m ³	41.86
Reinforcing steel	ton	3.10
Concrete, sole plate and foundation	m ³	0.27
Steel, unalloyed	ton	0.20
Chromium steel pipe	kg	12.23
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	16.29
Copper	kg	285.93
Cable, three-conductor cable	m	1900.00
Polyethylene, high density, granulate	kg	305.38
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	133.90
Cable, data cable in infraestructure	m	1368.00
1621 - Taller principal		
Lean concrete	m ³	28.15
Concrete, 20MPa	m ³	234.88
Concrete, 25MPa	m ³	44.72
Concrete, 30-32MPa	m ³	784.00
Reinforcing steel	ton	19.54
Concrete, sole plate and foundation	m ³	1.35
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	368.18
Steel, unalloyed	ton	53.44
Chromium steel pipe	ton	12.82
Aluminium, cast alloy	ton	24.67
Polycarbonate	ton	0.85
Door, outer, wood-aluminium	m ²	20.00
Copper	kg	714.53
Cable, three-conductor cable	m	6087.00
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	354.25
Cable, data cable in infraestructure	m	1213.00

1622 - Almacén de taller		
Lean concrete	m ³	20.82
Concrete, 20MPa	m ³	106.27
Concrete, 25MPa	m ³	22.01
Concrete, 30-32MPa	m ³	285.95
Reinforcing steel	ton	10.64
Concrete, sole plate and foundation	m ³	0.58
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	56.97
Steel, unalloyed	ton	7.68
Chromium steel pipe	ton	5.07
Aluminium, cast alloy	ton	13.56
Gypsum plasterboard	ton	1.23
Door, outer, wood-aluminium	m ²	70.92
Copper	kg	481.58
Cable, three-conductor cable	m	2675.00
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	1205.75
Cable, data cable in infrastructure	m	2883.00
1623 - Taller de reparación de neumáticos		
Lean concrete	m ³	55.94
Concrete, 20MPa	m ³	101.01
Concrete, 25MPa	m ³	23.05
Concrete, 30-32MPa	m ³	303.54
Reinforcing steel	ton	6.51
Concrete, sole plate and foundation	m ³	0.34
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	15.65
Steel, unalloyed	ton	1.92
Chromium steel pipe	ton	3.04
Polyethylene, high density, granulate	kg	200.86
Aluminium, cast alloy	ton	2.03
Door, outer, wood-aluminium	m ²	12.00
Copper	kg	393.54
Cable, three-conductor cable	m	4135.00
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	710.78

Cable, data cable in infraestructure	m	1605.00
1624- Área de Lubricantes		
Lean concrete	m ³	10.99
Concrete, 20MPa	m ³	88.29
Concrete, 25MPa	m ³	8.66
Concrete, 30-32MPa	m ³	49.00
Reinforcing steel	ton	7.42
Concrete, sole plate and foundation	m ³	0.23
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	4.42
Steel, unalloyed	ton	4.47
Copper	kg	235.80
Chromium steel pipe	ton	3.51
Cable, three-conductor cable	m	1540.00
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	561.34
Cable, data cable in infraestructure	m	2167.00
1625 - Taller de Soldadura		
Lean concrete	m ³	6.35
Concrete, 20MPa	m ³	49.85
Concrete, 25MPa	m ³	15.13
Concrete, 30-32MPa	m ³	30.00
Reinforcing steel	ton	4.40
Concrete, sole plate and foundation	m ³	0.16
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	14.71
Steel, unalloyed	ton	0.22
Polyethylene, high density, granulate	ton	0.11
Aluminium, cast alloy	ton	1.46
Door, outer, wood-aluminium	m ²	83.70
Copper	kg	265.15
Cable, three-conductor cable	m	4790.00
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	471.90
Chromium steel pipe	ton	0.75
Cable, data cable in infraestructure	m	540.00
1628 - Taller de lavado		

Lean concrete	m ³	87.64
Concrete, 20MPa	m ³	198.13
Concrete, 25MPa	m ³	365.49
Reinforcing steel	ton	56.58
Concrete, sole plate and foundation	m ³	0.13
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	5.46
Steel, unalloyed	ton	2.88
Chromium steel pipe	ton	4.84
Copper	kg	364.19
Cable, three-conductor cable	m	2453.00
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	192.08
Chromium steel pipe	ton	1.40
Cable, data cable in infraestructure	m	1148.00
1631 - Sala de compresores		
Lean concrete	m ³	9.65
Concrete, 20MPa	m ³	77.54
Concrete, 25MPa	m ³	34.19
Reinforcing steel	ton	7.62
Concrete, sole plate and foundation	m ³	1.62
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	14.30
Steel, unalloyed	ton	0.64
Chromium steel pipe	ton	4.30
Polyethylene, high density, granulate	kg	89.98
Aluminium, cast alloy	ton	2.72
Polycarbonate	kg	32.26
Door, outer, wood-aluminium	m ²	31.80
Copper	kg	344.69
Cable, three-conductor cable	m	995.00
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	199.88
Cable, data cable in infraestructure	m	487.00
1633 - Agua desalinizada		
Lean concrete	m ³	4.61
Concrete, 30-32MPa	m ³	33.92

Reinforcing steel	ton	3.48
Steel, unalloyed	ton	0.29
Chromium steel pipe	ton	13.59
Polyethylene, high density, granulate	ton	2.64
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	10.99
Cable, data cable in infrastructure	m	1964.00
1636 - Sala eléctrica		
Lean concrete	m ³	7.61
Concrete, 20MPa	m ³	56.73
Concrete, 25MPa	m ³	19.20
Reinforcing steel	ton	5.95
Concrete, sole plate and foundation	m ³	0.13
Steel, low-alloyed, hot rolled	ton	2.52
Copper	kg	320.17
Cable, three-conductor cable	m	1530.00
Polyvinylchloride, emulsion polymerised	kg	97.83
Chromium steel pipe	ton	0.10
Cable, data cable in infrastructure	m	425.00
Steel, unalloyed	ton	0.24

Tabla A3. Impactos ambientales por categoría de impacto de la manufactura de la etapa de pre-uso del proyecto, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m²) de construcción, de acuerdo a la base de datos de Ecoinvent

Categoría de impacto	Unidad	Lean concrete	Concrete, 20MPa	Concrete, 25MPa	Concrete, 30-32MPa	Reinforcing steel	Concrete, sole plate and foundation	Steel, low-alloyed, hot rolled	Steel, unalloyed	Chromium steel pipe
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	8.90	51.11	28.97	108.38	68.48	0.39	244.38	35.83	58.67
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC11 eq	1.89E-06	1.02E-05	4.94E-06	2.17E-05	1.41E-05	5.70E-08	6.21E-05	5.72E-06	1.63E-05
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	1.83E-01	1.48E+00	8.45E-01	2.98E+00	1.69E+00	5.78E-03	8.63E+00	4.94E-01	2.31E+00
Formación de ozono, salud humana	kg NO _x eq	2.43E-02	1.19E-01	6.83E-02	2.28E-01	1.46E-01	8.26E-04	5.54E-01	6.98E-02	1.44E-01
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	9.40E-03	4.52E-02	2.56E-02	8.87E-02	1.19E-01	3.24E-04	5.06E-01	5.56E-02	1.95E-01
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg Nox eq	2.47E-02	1.21E-01	6.94E-02	2.32E-01	1.54E-01	8.38E-04	5.81E-01	7.39E-02	1.47E-01
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	2.16E-02	1.02E-01	5.72E-02	2.01E-01	1.96E-01	7.65E-04	7.66E-01	9.58E-02	2.36E-01
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	1.22E-03	7.25E-03	4.08E-03	1.48E-02	3.18E-02	4.25E-05	1.81E-01	1.19E-02	2.03E-02
Eutrofización marina	kg N eq	8.09E-05	1.24E-03	2.75E-04	3.84E-03	1.22E-03	2.78E-06	5.75E-03	5.27E-04	1.36E-03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	30.31	129.19	74.79	216.73	212.52	0.77	1354.72	61.82	958.10
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	1.25E-01	6.02E-01	3.35E-01	1.14E+00	3.13E+00	3.58E-03	2.60E+01	5.11E-01	2.94E+00
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	1.87E-01	8.81E-01	4.97E-01	1.63E+00	4.42E+00	5.30E-03	3.65E+01	7.27E-01	4.30E+00
Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	1.92E-01	9.42E-01	5.34E-01	1.76E+00	2.21E+01	5.73E-03	1.60E+02	4.57E+00	2.15E+01
Toxicidad no cancerígena humana	kg 1,4-DCB	4.13	19.47	10.98	35.76	87.66	0.12	751.97	13.31	49.42
Uso del suelo	m ² a crop eq	1.84E-01	1.24E+00	4.66E-01	3.02E+00	8.85E-01	4.79E-03	3.93E+00	3.77E-01	1.81E+00
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	4.01E-02	2.48E-01	1.40E-01	5.31E-01	2.29E+00	1.82E-03	1.01E+01	1.17E+00	5.28E+00
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	1.47E+00	7.25E+00	4.20E+00	1.41E+01	1.25E+01	4.87E-02	4.85E+01	5.72E+00	1.23E+01
Consumo de agua	m ³	1.71E-01	7.77E-01	4.22E-01	1.32E+00	6.00E-01	3.76E-03	2.33E+00	2.10E-01	4.20E-01

Categoría de impacto	Unidad	Aluminium, cast alloy	Polycarbonate	Door, outer, wood- aluminium	Copper	Cable, three- conductor cable	Polyvinylchloride, emulsion polymerised	Cable, data cable in infrastructure	Polyethylene, high density, granulate	Gypsum plasterboard
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	2.70E+05	58.47	1.65	6.60	6.13	35.75	2.28	0.80	1.58
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC11 eq	1.41E-01	3.06E-05	5.80E-07	1.88E-06	1.29E-05	5.42E-05	6.98E-07	9.88E-07	2.89E-08
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	59218.36	1.28E+01	5.87E-04	2.12E-01	1.51E+00	6.58E+00	2.42E-03	1.10E-01	2.01E-03
Formación de ozono, salud humana	kg NO _x eq	643.77	1.40E-01	2.56E-03	1.56E-02	3.78E-02	1.79E-01	5.31E-03	3.44E-03	3.30E-03
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	563.61	1.22E-01	1.52E-03	1.35E-02	8.20E-02	3.50E-01	1.61E-03	5.52E-03	1.34E-03
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg Nox eq	655.04	1.42E-01	2.65E-03	1.59E-02	3.86E-02	1.84E-01	5.92E-03	3.55E-03	3.65E-03
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1318.37	2.86E-01	3.84E-03	3.49E-02	2.38E-01	1.01E+00	4.89E-03	1.57E-02	4.03E-03
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	97.29	2.11E-02	4.17E-05	2.38E-03	5.97E-02	2.47E-01	1.02E-04	3.63E-03	2.70E-05
Eutrofización marina	kg N eq	15.65	3.39E-03	1.18E-06	1.66E-04	3.60E-03	1.49E-02	2.79E-05	2.21E-04	2.23E-06
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	1.07E+06	231.65	0.46	38.46	1490.97	6141.95	1.79	89.39	0.65
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	1.17E+04	2.53E+00	3.40E-03	2.23E-01	1.08E+01	4.46E+01	1.60E-02	6.48E-01	4.20E-03
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	1.63E+04	3.54E+00	4.78E-03	3.32E-01	1.56E+01	6.45E+01	2.26E-02	9.39E-01	6.04E-03
Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	3.26E+04	7.06E+00	3.31E-02	1.06E+00	2.70E+00	1.14E+01	1.62E-01	1.74E-01	3.32E-02
Toxicidad no cancerígena humana	kg 1,4-DCB	2.82E+05	61.08	0.09	7.25	395.34	1628.68	0.42	23.69	0.11
Uso del suelo	m ² a crop eq	1.67E+04	3.62E+00	8.97E-04	2.47E+00	6.17E-01	2.76E+00	3.89E-03	4.48E-02	3.03E-03
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	3.99E+03	8.66E-01	1.28E-04	1.09E-01	8.68E-01	3.58E+00	7.48E-04	5.24E-02	3.25E-04
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	6.06E+04	1.31E+01	4.21E-01	1.37E+00	1.67E+00	1.29E+01	1.05E+00	3.09E-01	1.15E+00
Consumo de agua	m ³	3.37E+03	7.32E-01	1.01E-02	5.33E-02	1.03E-01	5.21E-01	2.00E-01	9.75E-03	9.20E-03

Tabla A4. Impactos ambientales por categoría de impacto divididos por áreas para la etapa de pre-uso, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m²) de construcción.

Categoría de impacto	Unidad	1610 - Oficinas Administrativas	1621 - Taller principal	1622 - Almacén de taller	1623 - Taller de reparación de neumáticos	1624 - Área de lubricantes	1625 - Taller de soldadura	1628 - Taller de lavado	1631 - Sala de compresores	1633 - Agua desalinizada	1636 - Sala eléctrica
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	483.58	1400.74	362.59	312.40	465.96	1782.94	2113.12	2023.60	3566.21	2360.68
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC11 eq	2.18E-04	4.22E-04	1.29E-04	1.20E-04	1.70E-04	9.30E-04	6.09E-04	6.39E-04	1.04E-03	1.06E-03
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	20.82	72.20	25.02	15.60	16.71	113.78	71.80	87.90	98.46	94.60
Formación de ozono, salud humana	kg NO _x eq	2.15	3.44	1.03	1.01	1.79	7.17	6.25	6.65	13.59	11.24
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	1.23	2.86	0.75	0.68	1.01	5.44	3.99	3.79	8.05	5.54
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg Nox eq	2.20	3.56	1.06	1.03	1.83	7.34	6.42	6.79	13.85	11.45
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	3.09	5.32	1.60	1.64	2.32	14.14	8.40	8.33	13.12	14.90
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	5.61E-01	9.72E-01	2.46E-01	2.82E-01	3.48E-01	2.70E+00	1.27E+00	1.10E+00	8.49E-01	2.45E+00
Eutrofización marina	kg N eq	3.14E-02	5.39E-02	1.73E-02	2.00E-02	2.24E-02	1.65E-01	7.29E-02	6.81E-02	6.24E-02	1.48E-01
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	11723.02	13327.39	4371.53	6278.64	7916.30	61281.43	24971.54	22497.35	32477.64	55823.29
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	95.25	141.96	37.23	46.54	56.00	464.70	184.24	168.43	116.28	416.77
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	137.31	202.13	53.38	67.20	80.97	671.46	265.77	242.73	169.73	602.93
Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	128.32	550.07	91.36	50.00	74.43	409.92	390.72	362.02	729.07	309.63
Toxicidad no cancerígena humana	kg 1,4-DCB	3349.48	4436.85	1217.15	1634.71	1937.80	16571.80	6186.15	5571.48	2363.12	14973.52
Uso del suelo	m ² a crop eq	8.91	33.97	13.06	9.07	9.28	90.32	39.36	53.44	68.58	42.13
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	13.62	47.11	9.94	7.73	13.18	58.59	57.40	49.08	168.95	50.93
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	129.93	272.22	75.13	65.23	109.29	460.42	417.97	424.30	938.28	629.44
Consumo de agua	m ³	3.67	14.07	3.85	3.36	4.04	16.60	22.26	18.06	20.91	17.69

Tabla A5. Impactos ambientales por categoría de impacto para la etapa de uso, referido a la unidad funcional: 1 metro cuadrado (m²) de construcción.

Categoría de impacto	Unidad	Agua potable	Agua desalinizada	Aceite lubricante	Refrigerante	Electricidad, voltaje medio	TOTAL
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	3.14E-02	5.50E-03	318.61	465.69	6489.65	7273.99
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC11 eq	1.79E-08	1.56E-09	2.38E-04	1.73E-02	2.93E-03	2.04E-02
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	3.89E-03	1.76E-04	21.80	12.22	17.16	51.19
Formación de ozono, salud humana	kg NO _x eq	6.66E-05	1.32E-05	1.61	0.61	6.56	8.78
Formación de partículas finas	kg PM2.5 eq	6.39E-05	8.77E-06	0.66	0.46	3.15	4.27
Formación de ozono, ecosistemas terrestres	kg Nox eq	6.78E-05	1.36E-05	2.14	0.66	6.85	9.65
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	1.14E-04	1.61E-05	1.58	1.06	6.65	9.28
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	1.49E-05	1.73E-06	9.49E-02	7.52E-02	2.12E-01	3.82E-01
Eutrofización marina	kg N eq	1.06E-06	2.73E-07	6.92E-03	5.47E-03	2.23E-02	3.47E-02
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	5.60E-02	2.67E-02	844.46	654.24	3641.90	5140.68
Ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4-DCB	8.60E-04	2.48E-04	7.94	7.77	85.07	100.78
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	1.20E-03	3.50E-04	11.61	10.86	109.88	132.35
Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	6.36E-03	7.17E-04	10.42	10.09	45.99	66.51
Toxicidad no cancerígena humana	kg 1,4-DCB	1.93E-02	6.38E-03	247.86	221.53	1019.42	1488.84
Uso del suelo	m ² a crop eq	5.36E-04	1.67E-04	5.67	2.83	112.87	121.37
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	2.02E-04	1.06E-04	1.01	0.69	3.97	5.68
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	7.31E-03	1.16E-03	314.63	61.63	2375.07	2751.34
Consumo de agua	m ³	5.20E-02	6.57E-01	3.26	4.10	289.45	297.52